

Б.Б. Бобович

*Переработка
промышленных
отходов*

Учебник для вузов

twirpx.com

Б.Б. Бобович

***Переработка
промышленных отходов***

Рекомендовано Министерством общего и профессионального образования Российской Федерации в качестве учебника для студентов технологических специальностей высших учебных заведений



Москва “СП ИНТЕРМЕТ ИНЖИНИРИНГ” 1999

УДК 669.002.68.

Рецензенты: кафедра физико-химического материаловедения Московской Государственной академии приборостроения и информатики (зав. кафедрой докт. хим. наук, проф. А.И. Крашенинников) и докт. техн. наук, проф. В.С.Ерофеев.

Переработка промышленных отходов. Бобович Б.Б. Учебник для вузов. — М.: “СП Интермет Инжиниринг”, 1999. — 445 с.

Рассмотрены вопросы рационального ресурсопользования, подробно описаны технологии переработки промышленных отходов и получения из них ценного сырья и материалов.

Изложены механические, гидродинамические, физико-механические, химические и биохимические процессы, используемые при измельчении, агрегировании, сортировке, сепарации и других методах переработки различных отходов. Приведены технологические схемы и характеристики оборудования, применяемого при переработке отходов. Описаны способы захоронения и термического обезвреживания отходов с утилизацией образующихся материальных и энергетических ресурсов.

Для студентов технологических специальностей вузов. Может быть полезен работникам промышленности, занимающимся переработкой отходов. Ил. 130. Табл. 67. Библиогр. 135 назв.

Издание финансировано Федеральным экологическим фондом РФ.

ISBN 5-89594-018-8

© Б.Б. Бобович,
“СП Интермет Инжиниринг”,
1999.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	7
Глава 1. Экологические аспекты ресурсопользования	9
1.1. История возникновения отходов и характеристика современной экологической обстановки	9
1.2. Экологический паспорт предприятия.....	22
1.3. Загрязнение окружающей среды и его влияние на качество жизни человека.....	26
1.4. Автомобиль и окружающая среда	29
1.5. Новые подходы к проблеме устойчивого развития общества	38
Контрольные вопросы	41
Глава 2. Отходы — источник вторичных материальных ресурсов.....	43
2.1. Классификация отходов.....	44
2.2. Объемы образования отходов в промышленности	49
2.3. Паспортизация и планирование сбора отходов на предприятии	55
2.4. Ресурсосберегающие технологические процессы.....	57
2.5. Комплексное использование сырья и материалов в условиях территориально-промышленных комплексов.....	62
2.6. Зарубежный опыт рационального использования вторичных материальных ресурсов.....	63
2.7. Возможности и пределы утилизации отходов.....	70
Контрольные вопросы	73
Глава 3. Транспортирование промышленных отходов	75
3.1. Трубопроводный транспорт промышленных отходов	76
3.2. Подъемно-транспортное оборудование для перемещения твердых промышленных отходов	80
3.3. Использование автомобильного, железнодорожного и водного транспорта. Контейнерные перевозки промышленных отходов	85
Контрольные вопросы	88

Глава 4. Основы технологических процессов переработки промышленных отходов	89
4.1. Измельчение и разделение отходов по крупности	91
4.2. Агрегирование отходов	99
4.3. Физические методы сепарации отходов	105
4.4. Гидродинамические процессы, используемые при переработке отходов	108
4.5. Теплообменные процессы, используемые при переработке отходов	126
4.6. Диффузионные процессы	129
4.7. Химические процессы переработки отходов	136
4.8. Биохимические процессы	142
Контрольные вопросы	145
Глава 5. Термические способы переработки отходов	146
5.1. Беспламенные термические способы утилизации отходов	146
5.2. Плазменный способ утилизации отходов	154
5.3. Сжигание отходов	156
5.4. Промышленные установки для сжигания отходов	163
Контрольные вопросы	167
Глава 6. Захоронение отходов	168
6.1. Полигоны для захоронения отходов	168
6.2. Использование биогаза из захоронения отходов	176
6.3. Захоронение отходов в море	180
Контрольные вопросы	181
Глава 7. Переработка отходов металлов	182
7.1. Образование металлолома и значение использования вторичных металлов	182
7.2. Классификация металлических отходов	187
7.3. Технология и оборудование для подготовки металлолома к переплаву	191
7.4. Сепарация лома и отходов цветных металлов	214
7.5. Технологические схемы переработки лома и отходов металлов	229
Контрольные вопросы	240

Глава 8. Утилизация шлаков, золы, огнеупоров и горелой земли	242
8.1. Производство строительных материалов из металлургических шлаков	244
8.2. Утилизация золы и топливных шлаков	259
8.3. Производство удобрений из шлаков	262
8.4. Утилизация отработанных огнеупорных материалов.....	262
8.5. Регенерация горелой земли	266
Контрольные вопросы	267
Глава 9. Переработка отходов полимерных материалов	268
9.1. Особенности строения полимеров.....	268
9.2. Изготовление композиций на основе полимеров.....	272
9.3. Методы изготовления изделий из пластмасс.....	274
9.4. Утилизация отходов пластмасс.....	280
9.5. Особенности переработки отходов некоторых термопластов	293
9.6. Использование отходов реактопластов	312
9.7. Классификация резиновых отходов и способов их переработки	316
9.8. Изготовление и применение резиновой муки.....	320
9.9. Производство регенерата.....	326
9.10. Термические методы утилизации резиновых отходов	331
9.11. Другие способы использования изношенных шин	334
Контрольные вопросы	335
Глава 10. Переработка текстильных отходов.....	337
10.1. Образование и классификация текстильных отходов.....	338
10.2. Использование отходов при получении пряжи из первичного сырья.....	339
10.3. Первичная обработка и разволокнение текстильных отходов	340
10.4. Производство пряжи из разволокненных текстильных отходов	346
10.5. Производство нетканых материалов из вторичных волокон.....	349
Контрольные вопросы	359

Глава 11. Переработка отходов древесины	360
11.1. Образование, классификация и использование отходов древесины	360
11.2. Переработка кусковых отходов древесины в технологическую щепу	363
11.3. Производство строительных и конструкционных материалов из отходов древесины	370
11.4. Использование опилок	377
11.5. Химическая технология переработки древесных отходов	379
11.6. Другие методы переработки древесных отходов	381
Контрольные вопросы	385
Глава 12. Использование макулатуры	386
12.1. Преимущества и возможности использования макулатуры	386
12.2. Деагрегация макулатуры	389
12.3. Очистка макулатурной массы	391
12.4. Роспуск агрегированных волокон	393
12.5. Сортировка волокнистой массы	394
12.6. Облагораживание целлюлозной массы	397
Контрольные вопросы	400
Глава 13. Переработка жидких и пастообразных отходов	401
13.1. Переработка нефтесодержащих отходов	401
13.2. Переработка отходов гальванических производств	415
13.3. Утилизация шламов различных производств	417
13.4. Регенерация отработанной серной кислоты	421
13.5. Регенерация моющих растворов	425
13.6. Переработка отходов растворителей	426
13.7. Регенерация лакокрасочных материалов	431
13.8. Утилизация смазочно-охлаждающих жидкостей	433
Контрольные вопросы	436
Рекомендательный библиографический список	437

ВВЕДЕНИЕ

Ухудшение качества жизни, наметившееся в развитых странах в конце нашего столетия вследствие обострения экологической обстановки, вызвано воздействием на биосферу все увеличивающихся и по объему, и по ассортименту промышленных отходов. Россия не является исключением из перечня стран с ухудшающейся экологической обстановкой. Однако в отличие от других стран, немало сделавших в 70—80-е годы для развития малоотходных технологий, утилизации образующихся отходов и рационального отношения к природным ресурсам, в России продолжается расточительное использование богатств нашей земли и ухудшение качества среды обитания.

В значительной мере это связано с низкой экологической грамотностью населения, с неудовлетворительным экономическим положением страны, обострившимся в результате сложностей переходного периода в хозяйственной и политической жизни.

Важнейшим элементом всей деятельности по изменению экологической обстановки в стране является коренное улучшение экологического образования.

Основополагающее значение для природоохранной деятельности в нашей стране имеет “Закон Российской Федерации об охране окружающей природной среды” от 19 декабря 1991 г., а также Указ Президента Российской Федерации от 4 февраля 1994 г., № 236 “О государственной стратегии Российской Федерации по охране окружающей среды и обеспечению устойчивого развития”. Согласно этим документам рациональное использование природных ресурсов относится к основным принципам охраны окружающей среды. Закон 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 и Указа Президента

принято Постановление Правительства Российской Федерации от 03.11.94 г. № 1208 “О мерах по улучшению экологического образования населения”.

До 1993 г. высшая профессиональная школа готовила специалистов-экологов в основном по специальности 320700 “Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов”. С утверждением Правительством России Государственного образовательного стандарта высшего профессионального образования (Постановление от 12.08.94 г. № 940) в структуре высшего экологического образования произошли существенные изменения, которым не вполне соответствует имеющаяся учебно-методическая база.

Автором предпринята попытка восполнить пробел в области улучшения экологического образования, связанный с отсутствием в стране учебника для студентов технических вузов по курсу “Переработка промышленных отходов”.

Учебник написан на основе курса, читаемого автором в Московском государственном индустриальном университете. В нем обобщен накопленный в различных отраслях промышленности опыт рационального использования промышленных отходов. В работе над учебником использован ряд источников, в которых рассмотрены отдельные технологии утилизации отходов в различных отраслях промышленности.

Г Л А В А 1

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РЕСУРСОПОЛЬЗОВАНИЯ

Грандиозные масштабы научно-технического прогресса привели к созданию мощного промышленного и сельскохозяйственного потенциала, интенсивному развитию всех видов транспорта, строительству гидротехнических сооружений, а также созданию систем искусственного климата. 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.

Однако так было не всегда.

1.1. История возникновения отходов и 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 носили обратимый характер и проходили без каких-либо серьезных последствий для развития жизни на Земле.

С появлением промышленного производства металлов, гончарных и стекольных изделий, соды, мыла, красителей, текстильных материалов, пороха количество образующихся промышленных отходов резко возросло, т.к. создававшиеся технологии были рассчитаны на максимальное получение товарного продукта при минимальной его стоимости.

Экономическое несовершенство этих технологий оказалось унаследованным современным производством. Например, без принципиальных изменений более 80 лет сохраняется технология получения азотной кислоты, 90 лет — аммиака, 100 лет — соды, 115 лет — сульфатной целлюлозы, 130 лет — мартеновской и бессемеровской стали. Некоторые применяемые до сих пор технологии (выплавка чугуна, выделка кожи, стекловарение) известны давно, но в сущности не претерпели значительных изменений.

Развитие капитализма способствовало появлению новых отраслей промышленности при одновременной концентрации уже существующих производств. Промышленные монополии в погоне за прибылью интенсифицировали производство различной продукции, не задумываясь о вредном воздействии отходов производства на окружающую среду.

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

Начиная с древнейших цивилизаций, с появлением крупных поселений и городов человек уделял внимание обработке твердых отходов.

Еще в древние времена на Крите (от 3000 до 1000 г. до н.э.) твердые отходы помещали в большие ямы и пересыпали через определенные промежутки слоями земли. Сбор и удаление отходов на свалки в основных чертах просуществовали до XIX в. Конечно, выбрасывалось на свалку только то, что невозможно было использовать. В Европе отходы применяются в течение нескольких веков. В России текстильные отходы используются с начала XVIII в.: в 1714 г. Петр I издал Указ о сборе и доставке в Санкт-Петербург холщевого вторичного сырья для производства бумаги.

В 1874 г. в Англии появилась первая печь для сжигания мусора. Это было связано с последствиями промышленной революции и появлением отходов с высокой теплотворной способностью. В 1914 г. в этой стране было построено уже 200 печей для сжигания отходов, из них 65 были снабжены парогенераторами для получения энергии, т. е. уже тогда тепло, выделяющееся при сжигании отходов, утилизировалось.

Впервые сортировка отходов, их обработка и максимальное извлечение из них полезных материалов были организованы в США в 1898 г. Отходы начали классифицировать, собирать и складировать отдельно по видам.

На пороге третьего тысячелетия научно-техническая революция определила гигантский рост материальных и духовных возможностей человека, качественный скачок в развитии производительных сил, но она же “наделила” человечество проблемами, от решения которых зависит существование человека, выживание его как биологического вида. Развитие науки и техники, транспорта и сельского хозяйства привело к тому, что экологические катастрофы создают кризисные ситуации для всего человечества. Противоречия между развитием человеческого общества и ограниченными ресурсами среды, ее возможностями саморегенерации становятся все более существенными, долговременными и труднопреодолимыми.

В настоящее время необходим переход к качественно новому решению вопросов, связанных с охраной природы и рациональным использованием природных ресурсов. Это требует коренной перестройки практики природопользования и управления развитием потребностей в незагрязненной среде.

Глобальный характер деградации окружающей среды позволяет рассматривать этот процесс как результат действия объективных законов взаимодействия природы и общества.

Регулирование использования природных ресурсов осложняется еще и противоречием между сегодняшними задачами и проблемами будущего развития.

Решая сегодняшние задачи, человек использует природные ресурсы на благо современному обществу неизбежно в ущерб будущему развитию. Развитие современного общества входит в противоречие с выживанием будущих поколений. Осознание противоречий есть необходимое условие их разрешения.

Представления об экстенсивном и интенсивном характерах развития экономики и производительных сил, об экологической безопасности, о связи проблем окружающей среды с экономическим развитием можно рассматривать как важнейшие признаки этого осознания. Но одного осознания проблем недостаточно для их решения.

Сегодня производственная деятельность человека связана с использованием разнообразных природных ресурсов, которое сопровождается изменением их состояния и объемов. Снижение их качества и (или) уменьшение их количества означает ухудшение состояния ресурсов.

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. тонн кислорода, что составляет 12 % от вырабатываемого биосферой планеты. Усиление техногенного воздействия на природную среду уже породило ряд экологических проблем, связанных с состоянием атмосферы, гидросферы и литосферы.

Ежегодно промышленные предприятия всех стран мира выбрасывают в атмосферу: углекислого газа — 20 млрд. т; оксида углерода — 200 млн. т; диоксида серы — 200 млн. т; оксидов азота — 50 млн. т; фреонов — 1 млн. т; свинца — 0,4 млн. т; пыли — 250 млн. т; золы — 200 млн. т.

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 разнообразного сырья из районов добычи в районы переработки, сопровождающимся его рассеиванием и расширением регионов загрязнения.

3. Интенсивным 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 происходящее антропогенное загрязнение атмосферы в обозримом будущем окажет большое влияние на генетические процессы многих видов. Но уже сейчас оно является причиной таких заболеваний человека, как бронхит, астма, аллергия, рак и др.

Одной из основных глобальных проблем 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 году 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, но со значительными отклонениями, что приведет к подъему уровня мирового океана на 1 м.

Россия не является лидером по потреблению энергии в пересчете на одного человека. Больше всех энергии потребляет Канада: 14 т условного топлива на человека в год. Далее со значительным отрывом идут США — 11 т. Россия же потребляет только 6,5 т условного топлива на душу населения в год, что составляет всего 40 % от необходимого ей количества с учетом более северного положения большинства ее территорий по сравнению с другими странами. Для того, чтобы сохранить роль великой державы, Россия должна наращивать энергооборуженность.

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, она необходима везде, где существуют земные формы жизни. Вместе с тем вода — незаменимый технологический материал для промышленного производства, например, для выплавки 1 т стали требуется более 100 т воды. Человечество ежегодно расходует 7—8 млрд. т минеральных ресурсов и такое же количество воды ежедневно.

Учитывая, что объемы неконтролируемого сброса загрязненных промышленными стоками вод в реки и закрытые водоемы составляют 600 — 700 млрд. м³ в год, можно понять, 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. Загрязнение мирового океана нефтью и нефтепродуктами достигло уже 1/5 его общей поверхности. 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 оплодотворенной икры, нарушает процессы фотосинтеза и выделения кислорода, осуществляемого фитопланктоном, 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 отходов и сточных вод в результате несоблюдения правил складирования и захоронения отходов наносят большой ущерб флоре и фауне этих регионов, влияя на динамическое равновесие биосферы.

Нерациональное использование удобрений (особенно азотных) и пестицидов в некоторых регионах приводит к необратимым изменениям всей биосферы.

В почву, самоочищение которой происходит медленно, попадает огромное количество отходов. 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.

Антропогенные факторы ускоряют протекание многих биосферных процессов в окружающей среде по сравнению с их ходом в естественных природных условиях.

Обобщая вышеизложенное, следует отметить, что антропогенное воздействие на природу вызывает следующие проблемы, связанные с загрязнением окружающей среды:

1. Возможное изменение климата вследствие поступления в атмосферу техногенного тепла, углекислого газа и аэрозолей.

2. Нарушение озонового слоя Земли за счет поступления в атмосферу фреонов, оксидов азота и других соединений.

3. Биологические последствия загрязнения биосферы радиоактивными веществами, тяжелыми металлами и другими вредными веществами.

4. Биологические последствия, связанные с загрязнением мирового океана речными стоками, морским транспортом, продуктами техногенного происхождения, содержащимися в атмосферных осадках.

Мы стоим на пороге очередного важного эволюционного события, которое определит развитие жизни на Земле: либо произойдет дальнейшее ухудшение существующего состояния биосферы, следствием которого будет вымирание большинства видов, либо мы научимся контролировать свои потребности и сохраним существующую экологическую систему, в которой будет соблюдаться равновесие между всеми обитающими на Земле видами, и пойдем по пути совершенствования своих духовных и интеллектуальных способностей.

События, изменяющие ход эволюции на Земле, происходят в среднем раз в 100 млн. лет. Мы живем именно в такую переломную эпоху, и земляне должны сделать выбор: либо создать

условия для сохранения экологической системы, либо в ближайшие 50 лет стать очевидцами и участниками катастрофы.

Экологический кризис, переживаемый человечеством в конце XX в., требует критического пересмотра ценностей научно-технической революции и определения приоритетных задач предстоящего периода общественного развития с целью более рационального природопользования.

Настоящий период войдет в историю как эпоха перелома в общественном сознании, заключающегося в осознании факта ограниченности природных ресурсов и уязвимости окружающей среды. Реальная угроза истощения материальной основы хозяйства и разрушения биосферы должна определять наши действия и на местном, и на мировом уровнях.

Необходимо, чтобы природоохранная деятельность стояла наряду со здравоохранением на первом месте в ряду приоритетов политики государства. Это по сути дела означает сформулированный акад. Н.Н.Моисеевым “экологический императив” общественного развития. Его выполнение необходимо в плане как выживания нации, так и реализации стратегии ускорения научно-технического прогресса. Не решая эффективно экологические проблемы, мы разрушаем природный, а значит, продовольственный, сырьевой и вообще экономический потенциал общества.

Понимание возникающих противоречий между производительными силами и производственными отношениями является основой устойчивого развития человеческого общества и создания совместимой с развитием окружающей среды материально-технической базы общества.

Центральной проблемой такой стратегии остается роль человека во взаимоотношениях общества и природы. Необходимо особо выделить в качестве одного из приоритетов 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 может считаться одной из самых неблагоприятных в экономически развитой части планеты. Достаточно отметить, что 16 % территории, занятой населением 50—70 млн. человек, признано зоной экологического бедствия. Каждый десятый город имеет высокий уровень заг-

рязнения основных природных сред, причем среди них все города, включая Москву и Санкт-Петербург, с населением больше 1 млн. человек. В России ежегодно образуется 270 млн. т газообразных отходов, более 60 млрд. т сточных вод, из которых около 41 % относятся к категории загрязненных, и 7 млрд. т твердых отходов. Только бытовых твердых отходов ежегодно вывозится на свалки и полигоны более 130 млн. т, под складирование которых занято 250 тыс. гектаров земельных угодий. А всего на учтенных свалках накоплено 65 млрд. т твердых отходов.

Как известно, в последние годы произошел значительный спад объемов производства и в промышленности, и в сельском хозяйстве. Несмотря на это, качественного изменения экологической обстановки в стране не произошло, а по ряду показателей она продолжает ухудшаться. В частности, все более острой становится проблема утилизации и обезвреживания токсичных отходов: более половины из них вывозится в необработанном виде на свалки, которые зачастую для этого не приспособлены и не отвечают природоохранным требованиям.

Около половины населения России используют для питья воду, не соответствующую санитарным нормам. Концентрации токсичных веществ в атмосферном воздухе 208 городов страны, в которых проживает 43 % населения, превышают предельно допустимые нормы.

Наибольший вклад в загрязнение среды обитания вносят предприятия черной и цветной металлургии, химической и нефтехимической промышленности, стройиндустрии, целлюлозно-бумажной промышленности и т.д.

При бездумном расхищении потенциала, дарованного нам природой, мы находимся в состоянии хронического сырьевого и топливно-энергетического дефицита, особенно обострившегося в последнее время из-за заметного сокращения добычи нефти и перерасхода материальных ресурсов на единицу конечного общественного продукта.

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 широкое рециклирование большинства промышленных материалов.

Особо тяжелая экологическая обстановка сложилась в Москве. К настоящему времени 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 %, гормональных и иммунных расстройств — на 24 %, постоянно растет число врожденных уродств, по которым Москва держит первое место в стране.

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 переработки промышленных и бытовых отходов. Площадь, занимаемая в черте города несанкционированными свалками, оценивается в 900 га, в ближайшем Подмосковье — 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 сильно действующие ядовитые вещества, в конце концов попадают в грунтовые воды и канализацию.

Правительством Москвы проводится значительная работа по улучшению экологической обстановки в городе. В Москве действует 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 академических и отраслевых институтов проанализированы различные аспекты экологических проблем города и подготовлена Комплексная экологическая программа, утвержденная постановлением правительства Москвы. Началось строительство современного завода по обезвреживанию и утилизации токсичных промышленных отходов, запланировано строительство еще нескольких таких заводов, много внимания уделяется улучшению дорожного строительства и правильной организации дорожного движения.

Важнейшей задачей государства является создание нормативно-правового, экономического и общественно-политического механизмов управления природопользованием.

Нормативно-правовой механизм должен обеспечить развитие всех сфер общественного производства в соответствии с реальным состоянием ресурсов и условий окружающей среды. Основными средствами его реализации являются система норм состояния и допустимых воздействий на окружающую среду, система норм и стандартов использования ресурсов, экологическая экс-

пертиза, система законодательных актов, определяющих правовую ответственность ресурсопользователя.

Современный уровень нормирования и контроля за состоянием природной среды неэффективен. Контрольные органы и предприятия не обеспечены современными нормами, приборами и средствами контроля, что резко снижает его надежность и достоверность. Существующие стандарты, определяющие контроль за состоянием природной среды и допустимые воздействия на нее, не имеют достаточного социально-экономического обоснования, а для многих предприятий и видов воздействий нормативы и стандарты не установлены вообще. Поэтому необходимо создание системы современных стандартов качества природной среды и предельно допустимых воздействий на нее, а также сети стационарных и передвижных постов экологического мониторинга, оснащенных приборами и системами автоматизированного контроля за расходом природных ресурсов, выбросами и сбросами вредных веществ, их содержанием в атмосфере, водных источниках, почве, растениях и продуктах питания. Организационной основой нормативно-правового механизма должна стать единая государственная система нормирования, контроля и управления природопользованием.

Экономический механизм рационального природопользования и охраны окружающей среды должен обеспечить прогрессивное развитие и внедрение ресурсосберегающих, малоотходных технологических процессов, комплексных безотходных производств. Он должен способствовать созданию и внедрению экологичной техники, экологически обоснованному размещению производительных сил, перераспределению материально-технических и трудовых ресурсов в приоритетные сферы рационального природопользования, развитию адекватных научных знаний и образования. Основными средствами реализации такого механизма должны стать: политика в области ценообразования, плата за пользование природными ресурсами, экономическое стимулирование предприятий через систему налогообложения и государственных дотаций и инвестиций.

Общественно-политический механизм должен обеспечить решение вопросов рационального природопользования и охраны окружающей среды путем воспитания и экологического обра-

зования населения страны, повышения личной ответственности каждого гражданина за состояние окружающей среды.

В качестве обобщенных целевых эколого-экономических показателей программы восстановления отечественной природной среды могут быть приняты: повсеместное достижение, а затем и ужесточение нормативных уровней чистоты окружающей среды по всем сферам (атмосфера, гидросфера, литосфера); стабилизация забора воды из природных источников по стране в целом на уровне 320—340 куб. км в год, что обеспечивается примерно двухкратным снижением водоемкости общественного производства; снижение потерь почв от антропогенной эрозии на всей площади государственного земельного фонда до уровня, соответствующего масштабам естественного состояния почв (0,5—3,0 т/га в год в зависимости от типов почв); сокращение площади пашни в районах интенсивной распашки до экологически допустимых пределов (40—60 % всей территории); снижение площади нарушенных земель до технологически допустимого минимума (1,5—2 млн. га, включая торфоразработки); создание около 8 млн. га полезащитных и противоэрозионных и 8 млн. га пастбище-защитных и мелиоративно-кормовых насаждений; комплексное, малоотходное и безотходное использование минерально-сырьевых ресурсов, обеспечивающее размер потерь при добыче и переработке не более 2—25 % (в зависимости от вида ресурса); доведение площади природных охраняемых территорий всех видов до 10—15 % (в том числе 6 % строго охраняемых) всей земельной площади России с созданием экологически обоснованной системы таких территорий во всех регионах страны; увеличение и улучшение ресурсов дикой флоры и фауны и других биологических ресурсов на территории России, включая повышение лесистости в малолесных районах, повышение доли хвойных и других ценных лесных пород и размера среднего запаса леса на лесопокрытых площадях, увеличение видового разнообразия животного и растительного мира, обеспечение условий для естественного воспроизводства редких и исчезающих биологических видов и других дикорастущих растений, наземных позвоночных и беспозвоночных, а также рыб и других биологических объектов в естественных подоемах и водохранилищах; осуществление комплекса мероприятий по резкому снижению риска и ущерба от катастро-

фических социально-экологических ситуаций (аварий на экологически опасных объектах, стихийных бедствий и т.д.).

Достижение указанных целей могло бы стабилизировать состояние окружающей среды и ее санитарно-гигиенические показатели. Естественно, что осуществление этих целей потребует увеличения капиталовложений на охрану окружающей среды и рациональное природопользование.

Полномасштабная программа восстановления природной среды и внедрения природоохранных, ресурсо- и энергосберегающих технологий в России требует сотни триллионов рублей.

Проект одобренной правительством России федеральной целевой программы “Отходы” нацелен пока только на то, чтобы хотя бы сдержать дальнейшее ухудшение экологической обстановки.

Цель программы — проведение единой государственной политики в сфере комплексной переработки, транспортировки, утилизации, безопасного хранения и обезвреживания производственных и бытовых отходов.

Программа пока 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. В среднем проекты могут окупиться за три года. Реализация этой программы и эффективность коренной перестройки в деле охраны природы и рационального природопользования во многом зависят от политики распределения государственных капиталовложений.

1.2. 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 (Госком-

экология). 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 состоит из:

- общих сведений о предприятии и его реквизитов;
- краткой природно-климатической характеристики района расположения предприятия;
- краткого описания технологии производства и сведений о продукции и балансовой схемы материальных потоков;
- сведений об использовании земельных ресурсов;
- характеристик сырья, а также используемых материальных и энергетических ресурсов;
- характеристик выбросов в атмосферу;
- характеристик водопотребления и водоотведения;
- характеристик отходов;

- сведений о рекультивации нарушенных земель;
- сведений о транспорте предприятия;
- сведений 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 приведенными качественными и количественными характеристиками потоков.

В описание земельных ресурсов наряду с землями, отведенными под здания и сооружения, включают земельный отвод под полигоны для отходов, накопители сточных вод, а также размер санитарно-защитной зоны и озелененных участков.

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

Хактеристика 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 норма-

тивные, сверхнормативные и залповые выбросы. Кроме того, информация 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 приводят данные о залповых и аварийных сбросах (сливах) загрязняющих веществ, в том числе в почву, водные объекты, канализационные сети, на очистные сооружения, отстойники, отдельные емкости и т. д.

На основании данных этого раздела рассчитывают величины ущерба от загрязнения гидросферы и размер платежей за сбросы 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, представляющее собой своеобразную природоохранную ревизию, проводимую с целью объективного анализа сложившейся ситуации и установления направлений развития деятельности рассматриваемого объекта.

1.3. Загрязнение окружающей среды и его влияние на качество жизни человека

Загрязнение окружающей среды — это такое изменение ее качества, которое способно 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 они являются сильнодействующими ядами. Это относится и к другим видам воздействия: звуковому, радиационному и т. п.

В связи с большим загрязнением биосферы во многих странах приняты ограничения на выброс вредных веществ промышленными предприятиями, в частности путем установления предельно допустимых концентраций (ПДК) этих веществ в воздухе. Под ПДК понимают такую концентрацию химического соединения, которая при ежедневном воздействии на человека в течение длительного времени не вызывает в его организме каких-либо патологических изменений или заболеваний. Требования, предъявляемые к ПДК в нашей стране, являются более жесткими, чем в ряде других стран.

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 людей веществ.

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

В табл. 1.1 приведены сведения о продолжительности жизни людей в некоторых странах.

Как видим, в России продолжительность жизни ее граждан в 1992 г. была значительно ниже, чем в других развитых странах. В 1994 г. она составляла уже 57,3 года для мужчин и 71,1 года для женщин. Существует сильная зависимость общей смертности населения и такими ее причинами, как болезни крови и кроветворных органов, психические расстройства, болезни органов пищеварения, с комплексным загрязнением окружающей среды. Специалисты считают, что не менее чем на 30 % наше здоровье зависит от экологии, еще на 15–20 % — от генетики, но генетические заболевания тоже очень связаны с экологическими причинами.

Таблица 1.1

Средняя продолжительность жизни в 1992 г.			
Страны	Продолжительность жизни, лет		
	общая	для мужчин	для женщин
США	75	72	79
Франция	76	72	80
Швеция	77	74	80
Япония	78	75	80
Россия	69	64	73

Таблица 1.2

Детская смертность в развитых странах		
Страны	1970 г.	1988 г.
США	20	10
Франция	18	8
Швеция	11	6
Япония	13	5
Россия	24,7	25,4

Особенно сильное влияние загрязнение окружающей среды оказывает на здоровье детей, что выражается достоверными данными об уменьшении числа здоровых детей за последние десять лет, и подтверждается данными табл. 1.2, где приведены сведения о детской смертности в разных странах. Детская смертность определена как число детей, умерших в возрасте до одного года из 1000 родившихся.

Показательно, что если в остальных рассмотренных странах с 1970 г. по 1988 г. детская смертность упала вдвое и более, то в нашей стране она несколько возросла. Все это следствия различных аспектов нашей жизни, в том числе ухудшающейся экологической ситуации в стране. Уже доказано, что в городах с высоким уровнем загрязнения атмосферы детская смертность выше, чем в остальных городах и в целом по стране.

Следует заметить, что существует и противоположная зависимость объема перерабатываемых обществом отходов от качества жизни.

Так, например, в США при неуклонном подъеме качества жизни в течение всего XX столетия происходило постоянное снижение доли перерабатываемых отходов, т.е. с повышением уровня жизни общество все меньше нуждалось в использовании отходов, так как для него 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, подталкивает человечество к разработке технологических процессов с обязательной утилизацией отходов, которые позволяют улучшить экологическую обстановку и, следовательно, повысить качество жизни.

1.4. Автомобиль и окружающая среда

Один из самых крупных загрязнителей окружающей среды, особенно в больших городах, — автомобильный транспорт, который является источником отходов не только в процессе его зарождения, но и во время всей активной жизни и после смерти, т.е. когда он уходит на свалку, исчерпав свой ресурс.

Одним из главных индикаторов развития человеческой цивилизации является увеличение радиуса действия населения, выражающегося расстоянием, преодолеваемым человеком за какой-либо сравнимый отрезок времени. Статистика сообщает, что за последние 30 лет ежегодное расстояние, преодолеваемое человеком в развитых странах, увеличилось в 2,5 раза. Такова же динамика роста грузоперевозок: транспорт должен обеспечивать перевозку все увеличивающегося количества грузов на увеличивающееся расстояние в самые различные уголки планеты. Рост подвижности населения и грузооборота долго рассматривался как признак роста

благополучия, пока люди не поняли, что вместе с этим адекватно возрастают и масштабы неблагополучия.

В отношении причин и последствий развития транспорта разными специалистами высказываются самые различные мнения в зависимости от личных интересов, ведомственной принадлежности и т.п. При этом поляризацию мнений можно выразить двумя крайними точками зрения. Одна заключается в том, что развитие транспорта — ключевой фактор роста экономики. Это мнение промышленников; другая, принадлежащая экологам, заключается в том, что транспорт, особенно автомобильный, является главным разрушителем природы.

При рассмотрении зависимости между ростом экономики и транспорта часто указывают на корреляцию между экономическим ростом и показателями развития транспортной инфраструктуры. Эта зависимость находится в сфере интересов ряда влиятельных сил общества. Преследуя свои корпоративные интересы, эти силы, под прикрытием ссылок на научность делаемого ими анализа, приходят к нужным им выводам либо о необходимости развития транспорта, либо о целесообразности его ограничения.

Подлинная же проблема современной цивилизации заключается не в развитии или ограничении транспорта. Она скрывается в постоянном росте наших потребностей в жилище, работе, образовании, материальном обеспечении, использовании свободного времени и т. п.

Транспорт есть лишь неизбежное средство для реализации этих потребностей, которые становятся все более экстенсивными в отношении использования различных территорий. 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. Ожидают, что к 2000 г. мировой парк автомобилей превысит 600 млн. единиц. Но с ростом числа автомобилей возрастают масштабы его негативного воздействия на окружающую среду и человека.

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. В табл. 1.3 приведены объемы образующихся в автомобильной промышленности России наиболее крупнотоннажных видов отходов.

Таблица 1.3

Образование вторичных материальных ресурсов в автомобильной промышленности России

№ п. п.	Наименование отходов	Объемы отходов, тыс. т
1	Отходы черных металлов	4100,0
2	Горелая формовочная земля	2000,0
3	Шлаки производства цветных металлов	202,1
4	Отходы цветных металлов	164,1
5	Отходы деревообработки	117,0
6	Зола и шлаки ТЭЦ и котельных	100,2
7	Шлаки производства черных металлов	61,0
8	Отходы лакокрасочных материалов	8,4
9	Текстильные отходы	7,1
10	Отходы бумаги и картона	4,2
11	Отходы пластмасс	3,5
12	Отходы резины	2,0
13	Отходы искусственных кож	1,3

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. Это источники его жизнедеятельности: топливо (бензин, дизельное топливо, газ и др.), масла, серная кислота и другие рабочие жидкости. Исходные 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 продукты сгорания топлива, которые токсичны, 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.

Отработанные рабочие жидкости, вышедшие из строя комплектующие изделия являются ценным сырьем для получения вторичных материалов. Они могут быть утилизированы и подлежат сбору, складированию и передаче заинтересованным организациям.

Основная масса отечественных бензинов — этилированные, в состав которых входят антидетонаторы. Наиболее эффективным антидетонатором для бензина является тетраэтилсвинец. При работе двигателей в отработавших газах содержатся соединения свинца, являющиеся высокотоксичными веществами. Проводится работа по замене этилированных бензинов неэтилированными, что связано с ужесточением норм на выбросы вредных веществ с отработавшими газами и необходимостью использования для этого специальных каталитических нейтрализаторов, работоспособных только в отсутствие соединений свинца. Однако эта работа в нашей стране только начинается, и, по-видимому, еще долгое время мы будем пользоваться этилированными бензинами. 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.

В табл. 1.4 приведены сведения о выделении загрязняющих веществ современным автотранспортом.

В целом по России ежегодно автомобильный транспорт выделяет угарного газа 10 млн. т, диоксида азота 1,4 млн. т, углеводородов 1,8 млн. т, диоксида серы 55 тыс. т, свинца 5 тыс. т.

Автотранспорт, использующий в качестве горючего углеводородное топливо (бензин, дизельное топливо, спирт и др.), является одним из главных поставщиков углекислого газа в атмосферу. Его влияние на создание парникового эффекта было рассмотрено ранее.

Таблица 1.4

Эмиссия загрязняющих веществ от автотранспорта

№ п.п.	Загрязняющее вещество	Доля автотранспорта в общем объеме загрязняющего вещества, выделяемого всеми видами транспорта, %
1	Оксиды азота	83,0
2	Угарный газ	84,4
3	Диоксид серы	64,5
4	Углеводороды	72,5
5	Соединения свинца	100,0

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

Загрязнение воздуха оксидами азота и кислотные дожди приносят огромный вред здоровью людей, а также растительному миру. 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. 1.5).

Таблица 1.5

Содержание вредных веществ в выхлопных газах

Вредные вещества	Содержание вредных веществ (%) на 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 посчитать, используя уравнение

$$N = (n \cdot A)/100, \quad (1.1)$$

где N — общее количество токсичного вещества в отработавших газах, кг, A — расход топлива, кг, n — удельный выброс токсичного вещества, % (по массе).

Значения n приведены в табл. 1.6.

Таблица 1.6

Удельный выброс токсичного вещества [n , % (по массе)]

Вредные вещества	Значения n для	
	бензина	дизельного топлива
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, сбору и утилизации не подлежат. Единственная мера борьбы с ними — это сокращение их объема, которое достигается техническими и эксплуатационными способами.

Основными направлениями сокращения вредных выбросов от автотранспорта являются: кардинальное увеличение 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 и 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 созданием с помощью автоматической коробки передач оптимального числа оборотов двигателя. Такая система обеспечивает экономичную работу двигателя при любой скорости.

Для массового внедрения ресурсосберегающего (в данном случае — с точки зрения экономии горючего) автомобиля необходим широкий набор административных мер, которые ставляли бы и производителя, и пользователя автомобилем стремиться к экономному расходу горючего и пользованию автомобилем. Налоговая политика должна способствовать выпуску экономичных 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 топлива автомобилем.

Кроме того, необходимы технические решения по очистке выхлопных газов с применением различных по конструкции (и используемым материалам) катализаторов дожигания.

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

Катализаторы дожигания представляют собой пористую керамическую вставку с высокоразвитой 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 м². 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. Применение таких катализаторов возможно как при изготовлении новых автомобилей, так и путем оснащения ими старых двигателей.

Несмотря на то, что автомобильная промышленность занимает далеко не первое место в количестве образующихся отходов, выпускаемая ею продукция потенциально является крупнотоннажным, многономенклатурным по составу видом отходов.

Автомобиль, хотя и является предметом длительного пользования, все же имеет конечный срок жизни. Следовательно, после окончания его эксплуатации необходимо принять меры к 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 (табл. 1.7).

Ежегодно при амортизации автомобилей у нас в стране образуется лома и отходов черных металлов 1,2 млн. т, лома и отходов цветных металлов 68 тыс. т, отработанных нефтепродуктов 268 тыс. т, изношенных шин и резинотехнических изделий 612 тыс. т и т.д.

Поэтому вышедший из эксплуатации автомобиль может и должен стать источником вторичных материальных ресурсов. Однако, если сортировка деталей, изготовленных из разных

Таблица 1.7

Состав усредненного автомобиля среднего класса

Наименование материала	Количество, % (по массе)
Черные металлы	69,0
Пластмассы	10,0
Цветные металлы	6,5
Стекло	3,5
Резина	9,0
Другие материалы	2,0

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 по конкретным маркам пластмасс. Иными словами, чем точнее проведена идентификация неметаллических материалов, тем с большей экономической целесообразностью 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, в том числе производящие автомобили, 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 воздуховоды), регенерированные масла, тормозную и охлаждающую жидкости, катализаторы дожигания выхлопных газов, аккумуляторные батареи. В частности, устанавливаемые на автомобили аккумуляторы, изготовлены с использованием вторичных материалов. Все детали, которые должны быть повторно переработаны после снятия с автомобиля, имеют специальный знак, означающий пригодность к рециклизации, а также кодовый номер, указывающий на вид использованного сырья.

1.5. Новые подходы к проблеме устойчивого развития общества

Рассматривая пагубное влияние современного автотранспорта на окружающую среду, мы пришли к выводу о необходимости ограничения стремления к удовлетворению наших все возрастающих потребностей. Это относится не только к транспорту.

При решении многих крупных проблем в настоящее время подход к оценке их целесообразного разрешения уже не может быть рассмотрен лишь с позиции экономики, он должен быть проанализирован с точки зрения устойчивого развития человеческого общества. Одним из условий устойчивого развития общества является непревышение им возможностей окружающей среды поглощать загрязняющие вещества антропогенного происхождения.

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.

В течение долгого времени считалось, что достаточно придумать эффективный способ очистки, переработки или безопасно захоронить отходы и проблема защиты окружающей среды решена. Такая идеология получила название действия “на конце трубы”, т. е. попытки решить проблемы уже после того, как загрязняющее вещество образовалось. 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 абсолютно очевидным, что для того, чтобы сохранить окружающую среду, отходы не надо производить. Это — важнейшее условие устойчивого развития общества.

Для устойчивого развития общества 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, по 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. В период с 1950 до 1990 г. добыча и производство важнейших видов сырья, топлива и первичной продукции (удобрений, цемента и т. п.) увеличились с 600 млн. т 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 экспорт природных ресурсов в значительной мере направлен на дальнейшее наращивание мощностей по добыче и экспорту энергоносителей и продуктов их первичной переработки. Большинство предприятий с иностранным капиталом, созданных в последние годы, имеют своей целью добычу наших полезных ископаемых, их первичную переработку (особенно в области химического сырья и материалов) и извлечение из этого сверхприбылей. Иностранные партнеры не скрывают, что они преследуют две цели: проникновение на российский рынок и переработку имеющихся у нас природных ресурсов с последующим экспортом. Их инвестиционная деятельность в значительно меньшей мере касается обрабатывающей промышленности, особенно в наукоемких отраслях.

Печальный опыт развивающихся стран показывает, что бессистемное наращивание добычи и экспорта сырьевых ресурсов ведет к их исчерпанию и превращению регионов их добычи в безжизненные пространства с массой экологических проблем и с 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 (семейном, индивидуальном, 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: это 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 представили бы себе, что природные ресурсы Земли не бесконечны.

Однако в докладе “Цели для глобального общества”, подготовленном для Римского клуба в 1977 году 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 индустриализации и ресурсного истощения экономически зависимых стран. По данным ЮНЕП (программа охраны окружающей среды ООН), “постиндустриальные 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 по передовым технологиям. 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 подвергаться уплате значительных

сумм штрафов или, тем более, остановке, что непосредственно скажется на прибыли и, следовательно, зарплате персонала.

Конечно, государство не должно ограничиваться только карающими средствами. 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.

Контрольные вопросы

1. Приведите примеры утилизации отходов в доиндустриальную эпоху.
2. Охарактеризуйте влияние научно-технической революции на экологическую обстановку в мире и в нашей стране.
3. В чем состоит противоречие современного развития человеческого общества?
4. Охарактеризуйте главные источники и причины негативного воздействия человека на окружающую среду.
5. Что такое парниковый эффект? Каковы его возможные последствия?
6. Каковы проблемы, связанные с антропогенным воздействием на окружающую среду?
7. Каковы механизмы государственного управления природопользованием?
8. Что такое экологический паспорт предприятия, каковы его основные части?
9. Назовите виды загрязнений окружающей среды.
10. Что такое ПДК?

11. Как изменяется в последние годы продолжительность жизни и детская смертность в развитых странах?
12. Каково влияние качества жизни на масштабы переработки отходов в XX в.?
13. Какова роль транспорта в современном обществе и его воздействие на окружающую среду?
14. Каковы отходы, образующиеся при производстве и эксплуатации автомобильного транспорта?
15. Каковы пути уменьшения негативного воздействия транспорта на окружающую среду?
16. Что такое устойчивое общество и каковы условия его развития?

ГЛАВА 2

ОТХОДЫ — ИСТОЧНИК ВТОРИЧНЫХ МАТЕРИАЛЬНЫХ РЕСУРСОВ

Итак, мы видели, что отходы производства являются мощным фактором, воздействующим на окружающую природную среду и в конечном итоге отрицательно влияющим на качество жизни человека.

Однако отходы, загрязняющие окружающую среду, во многих случаях не только могут быть использованы, но их применение 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 позволяет достичь дополнительной экономии в производстве, поскольку уменьшает затраты на сырой материал 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, расширение производства деталей и изделий из искусственных материалов, производство новых видов товаров народного потребления.

Несмотря на это, в силу 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.

Что же такое отходы, какие они бывают и как обратить их на службу человеку?

2.1. Классификация отходов

Отходы производства (техногенные отходы) — 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 при физико-химической переработке сырья 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 несовершенных технологических процессов, в большей части 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 (антропогенные отходы) — 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 (техногенные отходы) и потребления (антропогенные отходы), которые могут быть использованы в качестве сырья для выпуска полезной продукции, называется *вторичными материальными ресурсами (ВМР)*.

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 включены во внутрипроизводственный баланс сырья.

Заготовка вторичного сырья — осуществление сбора, закупки, предварительной обработки и концентрации вторичного сырья специализированными заготовительными организациями или по их поручению другими организациями или гражданами.

Обработка вторичного сырья — совокупность технологических операций по подготовке вторичного сырья для его последующего использования.

Сортировка вторичного сырья — разделение вторичного сырья по определенным признакам на классы, группы, виды.

Переработка отходов — осуществление каких-либо технологических операций, которые ведут к изменению физического, химического или биологического характера или состава отходов с целью их использования как материально-сырьевых ресурсов или с целью обезвреживания и безопасного удаления.

Обезвреживание отходов — химическая, физическая или биологическая переработка отходов с целью ликвидации или уменьшения их опасности для людей и окружающей природной среды.

Удаление отходов — осуществление технологических операций, в том числе с изменением состояния, по складированию и хранению отходов с учетом предупредительных мер по ограничению их попадания в окружающую среду.

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. Начавшаяся у нас в стране в середине 80-х годов работа по составлению кадастров отходов по предприятиям, подотраслям, отраслям и министерствам осталась незаконченной. Существующие

классификации твердых отходов весьма многообразны и одностронни.

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.

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

Все *твердые 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 твердых материалов, использованных непосредственно для изготовления товарной продукции. Это металлические, металлосодержащие (окалина, шламы, шлаки и пр.) и неметаллические (древесина, пластмассы, резина, 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 — эмбриотоксичные); 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 — высоко опасные, третий — умеренно опасные, четвертый — малоопасные.

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

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

Наличие в отходах сернокислой меди, оксида свинца, щавелевокислой меди, четыреххлористого углерода относит их к третьему классу опасности.

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

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, шин 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. 2.1.



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 разработана генеральная схема централизованного сбора, вывоза и переработки промышленных отходов для использования в качестве вторичного сырья и для предотвращения их отрицательного воздействия на окружающую среду.

Вторичные материальные ресурсы удобно классифицировать по источнику образования и направлению использования.

Возможны и другие принципы классификации отходов. Например, при разработке и проектировании технологических схем утилизации промышленных отходов удобно пользоваться классификацией, в основу которой положена технология их переработки.

2.2. Объемы образования отходов в промышленности

Последовательность образования и возможные пути утилизации отходов в промышленности можно проследить по схеме, приведенной на рис. 2.2.

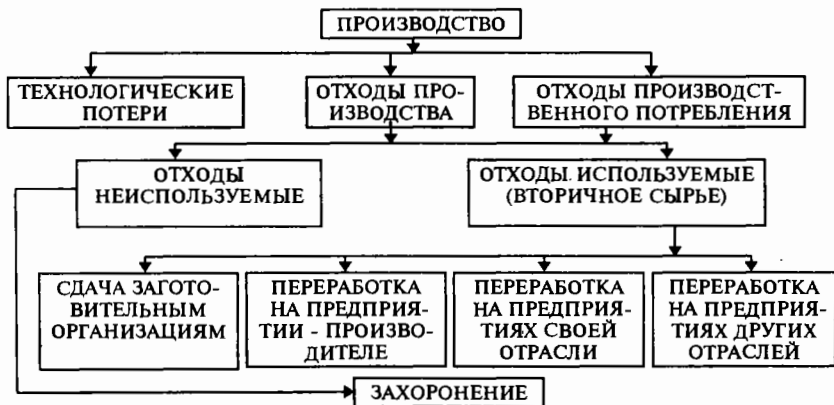


Рис. 2.2. Принципиальная схема образования и утилизации отходов

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

Удельное образование твердых отходов в различных отраслях промышленности характеризуется объемами, приведенными в табл. 2.1.

Таблица 2.1

**Образование отходов в различных отраслях промышленности
(т/рабочего · год)**

Отрасль промышленности	Количество отходов
Химическая	0,9
Текстильная	2,2
Швейная	2,2
Мебельная	2,8
Электротехническая	2,9
Хлебопекарная	3,0
Станкоинструментальная	3,2
Бумажная	4,0
Лакокрасочная	4,0
Машиностроительная	4,0
Стекольная	5,0
Полиграфическая	5,8
Металлургическая	6,8
Пищевая	8,0
Деревообрабатывающая	8,5
Производство пластмасс	9,8
Резино-техническая	9,8
Табачная	11,0
Строительная (включая снос зданий)	400,0

В общем объеме выбросов загрязняющих веществ в атмосферу по данным за 1997 г. лидирует энергетика — 27,2 %. Следующие места занимают цветная и черная металлургия — соответственно 22,8 и 15 %, затем нефтедобывающая и нефтеперерабатывающая промышленность — соответственно 8,4 и 5,2 %. Наиболее крупными загрязнителями гидросферы являются энергетика, деревообрабатывающая и химическая промышленность — 18,07; 18,04 и 18,02 % соответственно, металлургия — 15,23 %, машиностроение — 8,45 %, угольная промышленность — 8,51 %.

В 1997 г. объем образовавшихся токсичных отходов составил 89,4 млн. т, что почти вдвое превысило объем утилизированных и обезвреженных отходов. Основными отраслями промышленности, производящими 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 в себя тяжелое, энергетическое, автомобильное, тракторное, сельскохозяйственное, химическое, нефтяное, строительное, дорожное, коммунальное машиностроение и другие отрасли промышленности.

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

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

Наибольшие объемы загрязненных сточных вод в 1997 г. пришлось на долю следующих гигантов отечественного автомобилестроения, млн. м³/год: 35,6 — КамАЗ; 43,0 — ЗИЛ; 26,8 — ВАЗ; 21,6 — АМО ЗИЛ.

Машиностроительные предприятия в 1997 г. выбросили в атмосферу более 600 тыс. т загрязняющих веществ. Улов загрязняющих веществ по машиностроительному комплексу (45,8 %) значительно ниже среднего по промышленности России (80,2 %).

Основными источниками загрязнения атмосферы на машиностроительных предприятиях являются литейное производство, цеха механической обработки, сварочные и окрасочные цеха.

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.

Одним из наиболее многотоннажных отходов машиностроительных предприятий является металлолом (75 % от всего количества образующихся отходов). 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 довольно развитыми и 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 в части комплексного решения природоохранных проблем.

Химическая промышленность вследствие широкого разнообразия технологических процессов является одной из самых трудных для борьбы с образующимися отходами. Источниками вредных выбросов являются предприятия, на которых производятся кислоты; шины и резино-технические изделия, фосфор, пластические массы, красители, моющие средства, минеральные удобрения, а

также осуществляется крекинг нефти. Предприятиями отрасли ежегодно только в атмосферу выбрасывается более 456 тыс. т загрязняющих веществ. В природные водоемы сбрасывается более 1,3 млрд. м³ загрязненных сточных вод, содержащих нефтепродукты, нитраты, хлориды, сульфаты, фосфор, цианиды, кадмий, кобальт, марганец, медь, никель, ртуть, свинец, хром, цинк и т.д. Ежегодное образование твердых отходов составляет около 70 тыс. т, из которых используется не более 30 %.

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 силосы, технологические печи, фасовочные автоматы, табакорезательные машины, линии по производству парфюмерных изделий, мясоперерабатывающие заводы, заводы растворимого кофе и цикория, предприятия по производству мясокостной муки и клеев на органической основе.

Предприятиями пищевой промышленности выбрасывается в атмосферу более 224 тыс. т вредных веществ, а сброс загрязненных сточных вод по отрасли составляет около 116 млн.м³.

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 сбрасывают в открытые водоемы более 138 млн. м³ загрязненных сточных вод, которые содержат 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 выбрасывают в атмосферу свыше 56 тыс. т вредных веществ.

Основными источниками загрязнения атмосферы в отрасли являются электролизные ванны, места загрузки, погрузки и пере-сыпки 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 сернистый ангидрид, оксид углерода, твердые вещества, оксиды азота, бензин, этилацетат, бутилацетат, аммиак, ацетон, бензол, толуол, сероводород, оксид (V) ванадия и другие вещества.

Деревообрабатывающая и целлюлозно-бумажная отрасли промышленности являются одними из самых водоемких отраслей экономики. Сброс загрязненных сточных вод этой отраслью составил в 1997 г. более 1,3 млрд. м³ в год. Наиболее крупными загрязнителями поверхностных водоемов явились Котласский ЦБК (203,3 млн. м³), Братский ЛПК (151,5 млн. м³), Архангельский ЦБК (116 млн. м³). 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 1997 г. более 383 тыс. т вредных веществ. Наиболее характерными загрязняющими веществами, выбрасываемыми в атмосферу предприятиями данной отрасли, являются оксид углерода, сернистый ангидрид, оксиды азота, толуол, сероводород, ацетон, ксилол, бутилацетат, этилацетат, метилмеркаптан, формальдегид и др.

В бумажной промышленности образуются отходы самой бумаги; шлам, пыль, металлы и другие вещества.

2.3. Паспортизация и планирование сбора отходов на предприятии

В целях повышения эффективности использования вторичных материальных ресурсов на каждом предприятии должна быть разработана система мер, основные принципы которой заключаются:

- в выявлении ресурсов и паспортизации вторичного сырья в соответствии с принятой классификацией;
- в планировании сбора и использования вторичного сырья;
- в сборе, учете и подготовке отходов к утилизации;
- в разработке и организации в соответствии с современными технологиями процессов переработки отходов;
- в реализации неиспользуемых у себя вторичных материальных ресурсов 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 является расчетно-аналитический метод, который предусматривает расчет нормативов в соответствии с нормами технологических потерь, установленными технологическим регламентом. Норматив сбора вторичного материального ресурса ($H_{сб}$) определяют как часть от всего объема перерабатываемого сырья или материалов:

$$H_{сб} = (P_{в1} + P_{в2})/П_1, \quad (2.1)$$

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; $П_1$ — количество сырья, при переработке которого образуются отходы данного вида.

Если количество переработанного сырья $П_1$ определить как $П_1^п \cdot H_p^п$, где $П_1^п$ — 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:

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

Норматив сбора для отходов потребления определяется с использованием уравнения (2.3):

$$H_{сб} = P_{вз} / \Pi_{пот} \quad (2.3)$$

где $P_{вз}$ — количество вторичного сырья, подлежащего сбору при амортизации использованных изделий; $\Pi_{пот}$ — количество материалов в составе изделий, вышедших из эксплуатации.

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

$$H_{ис} = (P_{в1} + P_{вш}) / \Pi_n (H_p^{н1} + H_p^в \cdot A_3), \quad (2.4)$$

где $H_p^{н1}$ — норма расхода первичного сырья, используемого совместно с вторичным сырьем; $P_{вш}$ — объем вторичного сырья, поступившего на предприятие и подлежащего использованию при производстве данного вида продукции; Π_n — объем данного вида продукции, при производстве которой используется вторичное сырье данного вида; $H_p^в$ — 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:

$$A_3 = Z_n / Z_o, \quad (2.5)$$

где Z_n — норма расхода первичного сырья на производство единицы данного вида продукции; Z_o — норма расхода вторичного сырья на производство единицы данного вида продукции.

Правильный учет и нормирование образования, а также сбора отходов на предприятии способствуют рациональному исполь-

зованию материальных ресурсов, утилизации образующихся отходов и снижают себестоимость продукции.

2.4. Ресурсосберегающие технологические процессы

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 России от загрязнения окружающей среды оценивается специалистами в сумму 150 трлн. руб. В США он составляет 3—5 % валового национального продукта. Вместе с тем и отечественный, и зарубежный опыт убеждают: своевременные инвестиции в природоохранную деятельность оказываются 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 5 лет.

Народное хозяйство России ежедневно потребляет материальных ресурсов примерно на 5 трлн. руб. В стоимости валового общественного продукта материальные затраты составляют около 60 %, а в общих затратах промышленности сырье, материалы, топливо и энергия — 75 %.

Исчерпание и истощение прежней ресурсной базы вынуждают увеличивать затраты на добычу первичного сырья. Если в 60-х годах применяли руды с содержанием железа 55—58 %, то в настоящее время используют руды с содержанием железа 30 %. Средняя зольность углей, добывавшихся в 70-х годах, составляла 22 %, а сейчас приближается к 30 %. На Экибастузской ГРЭС используют уголь с зольностью до 55 %. Увеличение объемов добычи полезных ископаемых и смещение сырьевой базы горнодобывающих производств в удаленные районы с экстремальными климатическими условиями вынуждают осуществлять добычу с больших глубин и из менее богатых месторождений и даже из отвалов прежних лет. Вовлечение в переработку “тощих”

руд и минералов увеличивает количество образующихся отходов.

Поэтому сокращение расхода ресурсов дает экономический и экологический эффекты. Значительны резервы ресурсосбережения при комплексной переработке сырья и использовании отходов. Энергоемкость производства алюминия из вторичного сырья в 20 раз ниже, чем из первичного, а стали — в 10 раз. 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 из него в основном осуществляется за счет взятых у природы первичных материальных ресурсов, т. е. добытых вновь. В настоящее время при производстве стали вторичные материальные ресурсы составляют 30 %, а при производстве бумаги — 25 %, цветных металлов — 20 %. В то же время капитальные вложения, необходимые для переработки вторичного сырья, примерно в 4 раза меньше, чем для получения первичного сырья.

Очевидно, что необходимо вкладывать средства в технологические процессы, сберегающие сырьевые и энергетические ресурсы и вместе с тем обеспечивающие высокое качество продукции.

Ресурсосберегающая технология — такая организация производства, при которой отходы сведены к минимуму и перерабатываются в реальные вторичные материальные ресурсы. 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 и будет решена тем поколением, которое сегодня вступает в реальную хозяйственную деятельность. Альтернативы такому подходу, как мы видели, сегодня уже нет.

Ресурсосберегающие технологии позволяют:

1. Снизить или предотвратить 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 отвалами, накопителями, свалками отходов.

3. Уменьшить загрязнение окружающей среды от переработки первичного сырья, “компенсирующего” неиспользование вторичных материальных ресурсов, содержащихся в отходах, а также тепла, содержащегося во вторичных энергетических ресурсах (ВЭР). Так, улавливание и утилизация диоксида серы на различных металлургических и химических предприятиях не только уменьшает загрязнение окружающей среды серосодержащими газами, но при этом позволяет сократить добычу серы.

Очень важна максимально полная утилизация полимерных отходов, поскольку она дает возможность не только уменьшить расход нефти и газа на их синтез, 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 первичным сырьем (за счет исключения из технологической цепочки ряда шеньев). При переплаве 1 т металлолома загрязнение атмосферного воздуха уменьшается на 86 %, использование воды — на 76 %, объем твердых отходов сокращается на 57 %; при производстве картона или бумаги из макулатуры загрязнение атмосферы уменьшается на 37 %, воды — на 25—44 %.

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

Широкое применение во всех отраслях народного хозяйства ресурсосберегающих технологий должно стать решающим фактором улучшения природоохранной деятельности, обеспечивая максимально возможное предотвращение экологического ущерба. Ресурсосберегающие технологии, окупаясь в короткий срок, обеспечивают наибольший выход конечного продукта в расчете

на единицу исходного сырья, а учитывая высокую степень автоматизации таких технологических 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;

- в изменении конечного продукта без ухудшения его потребительских свойств. Например, применение для изготовления липких аппликаций бумажной основы вместо полимерной, содержащей в своем составе токсичные продукты;

- в изменении технологического процесса изготовления продукта. Так, организация непрерывной работы оборудования взамен периодической резко сокращает отходы и выбросы в атмосферу в процессе перезагрузки оборудования и транспортировки промежуточных продуктов;

- в усовершенствовании оборудования, например применении более совершенных систем сбора и очистки смазывающе-охлаждающих жидкостей, применении ЭВМ, позволяющих наиболее рационально раскраивать и вырубать детали из листовых и рулонных материалов;

- в усовершенствовании эксплуатации и обслуживания оборудования, обеспечивающем уменьшение количества отходов, в т. ч. брака, например своевременной заточке инструмента, организации плано-предупредительного ремонта, исключающего поломку оборудования и аварийные выбросы рабочих сред.

Во всех случаях такой 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 следующий ряд:

- ✧ 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 для горно-химического производства, основанных на химической и химико-биологической формах движения материи.

Примерами использования химической формы могут служить методы обогащения угля пиролизом (США), химические методы добычи медных руд, химические методы обогащения, основанные на синтезе конечного продукта (Россия); метод щелочной обработки торфов и бурых углей с получением гумата натрия — физиологически активного стимулятора роста сельскохозяйственных растений (Россия); методы кислотной экстракции из угля фульвокислот (Китай). Эти примеры свидетельствуют о возможности обеспечения новых областей применения горной продукции, что представляет собой одно из эффективных направлений научно-технического прогресса. Химические технологии создают основу для более глубокого преобразования горного производства, что приводит к вовлечению в технологические процессы, основанные на химической форме, все новых, не связанных с ним ранее отраслей. Эта особенность еще ярче проявляется по мере перехода к более сложной химико-биологической форме, являющейся основой еще более высоких технологий. Воздействие при этом осуществляется уже 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 по-

лучение гумусосодержащих 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 вовлечение новых технологий в горное производство показывает, что переход от одной формы движения материи, лежащей в основе технологии, к другой целесообразен в случае ее усложнения, что указывает на направления поиска при прогнозировании. Интересно также использование комбинаций нескольких форм движения материи в одной технологии.

2.5. Комплексное использование сырья и материалов в условиях территориально-промышленных комплексов

Из самой природы минерального сырья возникает необходимость комплексной его переработки. Поэтому 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 переделка чугуна в сталь, а далее, может быть, производство тех или иных готовых продуктов 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 в рамках группы предприятий поднимали многие исследователи. В 40-50-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 дополнения продуктов 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, расширяет 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.

2.6. Зарубежный опыт рационального использования вторичных материальных ресурсов

Понимая грозящую человеческому сообществу 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 табл. 2.2 показаны уровни утилизации некоторых отходов в ряде экономически развитых стран.

Т а б л и ц а 2.2

Уровень утилизации алюминия, стекла и бумаги в некоторых странах, %

Страна	Алюминий	Бумага	Стекло
Нидерланды	40	46	53
Италия	36	30	25
Германия	34	40	39
США	28	27	10
Франция	25	34	26
Великобритания	23	29	12
Швейцария	21	43	46
Швеция	18	42	20

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 очистку от загрязнения уже превысили 90 млрд. долларов, 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. 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 существовавшие 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 ряде штатов установлена 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 производится продукция, содержащая не менее 50 % вторичных материалов.

Наиболее важным экономическим стимулом переработки отходов во вторичное сырье является то обстоятельство, что утилизация становится в американских городах 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 3 раза дороже, чем переработка этих отходов во вторичное сырье.

Большое внимание уделяется проблеме отходов в странах ЕЭС. Стратегия стран ЕЭС заключается:

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

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

Особое внимание в странах Европейского содружества в последнее время 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. Они утилизируют 37 % твердых отходов, на них работают 3,5 млн. человек. В последние несколько лет наметилась тенденция к укрупнению таких предприятий.

В ближайшее десятилетие в странах Западной Европы ожидается бурное 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. Это позволит к концу столетия удвоить число работающих на предприятиях по рециклингу отходов.

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 утилизовалось 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 60-70-х годов. Положение усугублялось тем, что накопление отходов в огромных количествах делало непригодными для жизни и хозяйственной деятельности обширные земельные участки, которые в условиях крайне ограниченной территории Японии являются остродефицитными.

Для улучшения экологической ситуации государством были предприняты огромные усилия: в августе 1967 г. был утвержден Основной закон об охране окружающей среды, в 1971 г. было создано Управление по окружающей среде, в ноябре 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, отстойные вещества, 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 был принят ряд поправок. В качестве основополагающего принципа зафиксировано, 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 этой системы 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. 2.3. 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 2.3
Степень утилизации (У) промышленных отходов в Японии

Вид отходов	У, %, за годы			
	1973	1976	1979	1983
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	95,1
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
Всего	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 м³ древесины и 165—200 м³ воды. Производство алюминия, стали и бумаги из вто-

ричного сырья позволяет экономить соответственно 96, 74 и 70 % энергии по сравнению с производством из первичного сырья. За счет этого сокращается импорт бокситов, лесоматериалов, металлических руд, нефти и газа.

В Японии считают, что основные направления рециклирования отходов сводятся:

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

Организация работ по рециклированию отходов как отрасли хозяйства сопровождалась в Японии решением органами государственной власти следующих проблем:

1. Привлечение рабочей силы для предприятий по сбору и транспортировке отходов осуществлялось с помощью государства и органов местного самоуправления.
2. Обеспечение стабильности спроса достигалось установлением нормы добавок вторичного сырья к первичному, которую производители продукта обязаны использовать при его изготовлении.
3. Обеспечение стабильности цен и прибыли мелких предприятий, занятых переработкой отходов, достигалось установлением и поддержкой 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 рециклинга.

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

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 Японии и ряда других развитых стран мы видим, что ресурсосбережение и утилизация отходов, а в идеальном случае организация экономики на принципах рециклирования — реальный шанс человечества в сохранении природной среды и ее ресурсов, а следовательно, и выживания.

2.7. 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 других.

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, решаемую различными методами вплоть до возврата к испарителям.

В системах оборотного водоснабжения повысилась температура воды, увеличилась влажность в производственных помещениях, из-за чего усилилась коррозия оборудования и потребовалась герметизация электрооборудования. Повышение температуры оборотной воды вызвало необходимость хлорирования и купоросования для борьбы с биообрастаниями, а повышение соле-

содержания в оборотной воде усилило накипеобразование. В результате появилась необходимость обезвреживания и очистки продувочной воды от введенных в нее реагентов.

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.

Использование отходов в пищевой промышленности привело к резкому 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 5 лет и применять их лишь для удобрения лугов.

Некоторые виды отходов, содержащих ртуть, мышьяк и другие токсичные компоненты, не подлежат использованию без предварительного обезвреживания.

Не рекомендовано использование кислых гудронов в асфальтовых покрытиях в черте населенных пунктов вследствие загрязнения воздуха ароматическими углеводородами. Использованию отхода флотации угля для мелиорации почв должна предшествовать проверка его 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.

Кроме того, необходимо учитывать расходы энергии на утилизацию материалов. Влияние степени утилизации вещества на расход энергии показано на рис. 2.3. Если увеличение степени утилизации отходов в 2 раза (с 25 до 50 %) требует роста затрат энергии в 2,5 раза, то для такого же увеличения степени утилизации, но с 50 до 75 % необходимо уже затратить энергии в 5 раз больше. Дальнейшее увеличение степени утилизации

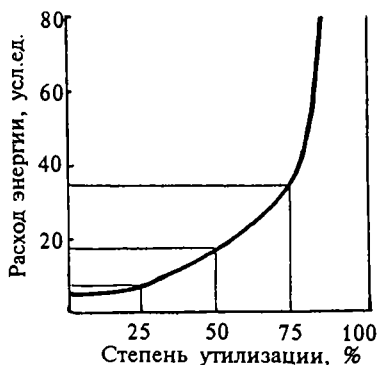


Рис. 2.3. Влияние степени утилизации отходов на расход энергии

обойдется 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 расхода материалов;
- баланса энергии с учетом как прямого, так и косвенного расхода энергии;
- баланса влияния на окружающую среду с учетом факторов прямого и косвенного воздействия;
- капиталовложений на реализацию применяемого способа;
- 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 особенно необходимо ресурсосберегающее отношение к природе.

В этой связи 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.

Контрольные вопросы

1. Расскажите о классификации отходов по видам и по источникам образования.
2. Приведите схему образования и направлений утилизации отходов. Расскажите об объемах образования и видах отходов в различных отраслях промышленности.
3. Что такое паспортизация и планирование сбора отходов на предприятии?
4. Что такое отходы производства и потребления?

5. Дайте характеристику вторичных материальных ресурсов.
6. Что такое техногенные и антропогенные отходы?
7. Расскажите о комбинировании производств в рамках регионов.
8. Что такое ресурсосберегающая технология?
9. Перечислите основные направления снижения образования отходов и улучшения экологической обстановки в странах ЕЭС.
10. Расскажите об опыте Японии в области переработки отходов и роли государства и общественных организаций в повышении экологической культуры общества.
11. Каковы факторы, влияющие на пределы утилизации отходов?

ГЛАВА 3

ТРАНСПОРТИРОВАНИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ

Промышленная переработка отходов, особенно предусматривающая выработку и поставку потребителям товарной продукции, предполагает наличие регламентированной системы сбора и доставки отходов к месту переработки. Организация сбора и вывоза промышленных отходов предусматривает следующие технологические операции:

- накопление отходов в контейнерах (цистернах);
- транспортирование контейнеров с отходами;
- разгрузку контейнеров;
- очистку контейнеров;
- доставку чистых контейнеров к месту образования отходов.

У нас в стране транспортировка промышленных отходов регламентируется нормативным документом, утвержденным Главным санитарным врачом РФ, “Порядок накопления, транспортировки, обезвреживания и захоронения токсичных промышленных отходов. Санитарные правила”.

Транспортирование промышленных отходов является составной частью перемещения грузов в сфере производства, т.е. частью промышленного транспорта. Для этих целей 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 сбора отходов влияет схема маршрута транспортировки и удаленность пункта сбора от места образования отходов.

В ряде случаев отходы транспортируются к месту их перера-

ботки не сразу, а через промежуточные станции, где происходит их накопление и первичная обработка.

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

3.1. Трубопроводный транспорт промышленных отходов

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

- отсутствием потерь при транспортировке отходов;
- отсутствием выделения токсичных веществ;
- 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.

Трубопроводный транспорт в системах канализования промышленных предприятий. Он обычно состоит из нескольких систем. 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 материала 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 защиты от коррозии и термоизоляции.

Основные детали (прямые участки, отводы, тройники, крестовины и др.) металлических и неметаллических 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, например, сварными, фланцевыми 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 не пригодны 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 жидкостей со взвешенными частицами. Вместо задвижек для регулирования перемещения сточных вод, содержащих твердые частицы, следует применять поворотные дисковые затворы с уплотнением резиновым кольцом.

Гидро- и пневмотранспорт промышленных отходов. Гидро- и пневмотранспортом (ГПТ) называют перемещение различных сыпучих материалов и твердых тел 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 ГПТ состоят из следующих основных элементов: устройства для ввода в транспортирующий поток сыпучих материалов или твердых тел (например, контейнеров с сыпучим материалом), трубопровода с арматурой или желоба, устройства для отделения твердых частиц от несущей среды. Основными транспортирующими машинами являются насосы, компрессоры, газодувки (вентиляторы). Установки гидротранспорта делятся на самотечные (безнапорные), с естественным напором и с искусственно создаваемым напором, соответствующим перепаду давлений в пределах 0,05—7 МПа. По назначению различают мобильные и стационарные установки, а также стационарные с магистральным трубопроводом длиной иногда до нескольких десятков и даже сотен километров (обычно же не более 2—2,5 км).

На рис. 3.1 представлена общая схема гидротранспорта.

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.

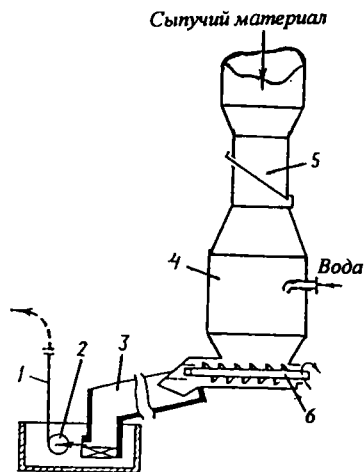


Рис. 3.1. Схема гидравлического удаления сыпучих твердых отходов: 1 — магистральный трубопровод для транспортирования; 2 — центробежный насос; 3 — открытый желоб; 4 — камерное загрузочное устройство; 5 — листовая задвижка; 6 — шнек-питатель

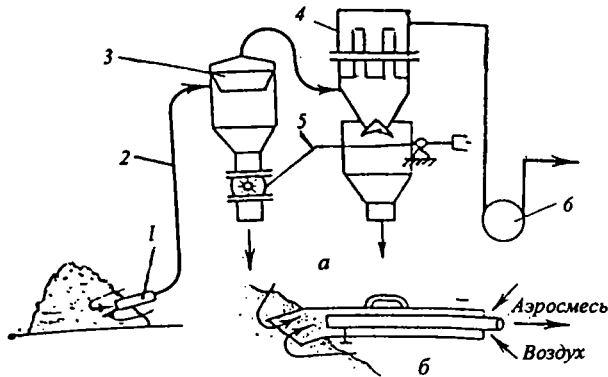


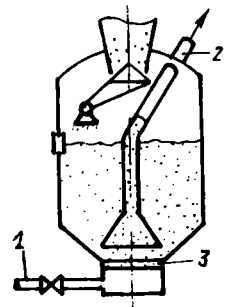
Рис. 3.2. Схема всасывающей пневматической установки (а) и устройство всасывающего переносного сопла (б):

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

Установки пневмотранспорта обычно работают по двум схемам. По одной из них (рис. 3.2) вакуумным насосом или вентилятором создается разрежение в установке, материал с воздухом засасывается в трубопровод и транспортируется в виде аэросмеси. По другой схеме (рис. 3.3) воздух компрессором нагнетается в питатель, аэрирует сыпучий материал и транспортирует его в систему разгрузки, составленную из аппаратов, аналогичных показанным на рис. 3.2 (позиции 3, 4).

Недостатки гидро- и пневмотранспорта: значительный расход энергии, а также воды, воздуха; появление в ряде случаев вредных

Рис. 3.3. 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



примесей в сточной воде и отбросном воздухе; абразивный и коррозионный износ труб, насосов, вентиляторов, гидроэлеваторов при транспорте грузов. Затраты энергии при пневмотранспорте в 10—15 раз превышают затраты на механическое транспортирование. Удельный расход воды для гидротранспорта золы составляет 8 м³/т, пиритного огарка 7 м³/т, шлама содовых заводов 8 м³/т. При пневмотранспорте, например, по схеме, показанной на рис. 3.3, одной массовой единицей воздуха транспортируется 11,0—24,5 массовых единиц пиритного огарка, 20 — костной муки, 12 — угольной пыли и т.д.

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).

Для пневмотранспортирования технологических, отбросных и вентиляционных газов широко применяют центробежные вентиляторы, газодувки и компрессоры. Для создания небольшого избыточного давления или вакуума обычно применяют водокольцевые вакуум-насосы.

3.2. Подъемно-транспортное оборудование для перемещения твердых промышленных отходов

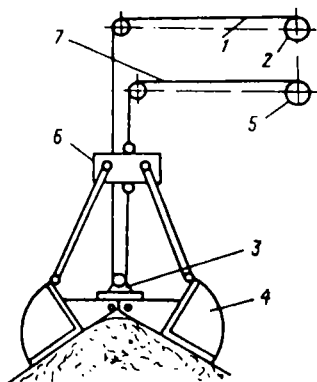
Грузоподъемные машины. Основным узлом любой грузо-подъемной машины является механизм для подъема и опускания груза. Некоторые грузоподъемные машины могут перемещать груз и в горизонтальном направлении.

Производительность грузоподъемной машины — это количество груза, которое может быть переработано за 1 ч непрерывной работы при наиболее эффективном ее использовании. Для машин периодического действия (кранов, автопогрузчиков, вагонопрокидывателей) ее определяют по формуле

$$Q = 3600 q_{\text{ц}} / t_{\text{ц}}, \quad (3.1)$$

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

Грейферы представляют собой самозачерпывающие ковши. По числу рабочих органов — челюстей они делятся на двухчелюстные (рис. 3.4) и многочелюстные. Последние применяют для перемещения кусковых, пористых и волокнистых материалов. По числу действующих канатов различают одно- и двухканатные грейферы. 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.



← Рис. 3.4. Двухканатный двухчелюстной грейфер:
1, 7 — канаты; 2, 5 — барабаны; 3, 6 — траверсы; 4 — челюсти

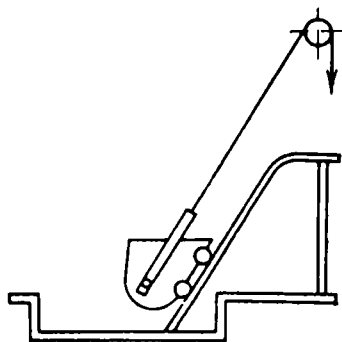


Рис. 3.5. Скиповый подъемник →

Для работы с крупнокусковыми и слеживающимися материалами режущие кромки челюстей выполняют в виде съемных зубьев. Емкость грейферов составляет 0,3—15 м³.

Чтобы исключить повреждение изделий (например, рулонов бумаги) при погрузочно-разгрузочных операциях, разработаны вакуумные грейферы, принцип действия которых основан на “присасывании” специальных грузозахватывающих устройств (труб) к перемещаемым изделиям.

Для транспортирования сыпучих и кусковых материалов применяют скиповые подъемники (рис. 3.5).

При производстве погрузочно-разгрузочных работ используют также *мостовые и подвесные краны*, козловые и перегрузочные мосты, кабель-краны, а также передвижные поворотные краны на гусеничном, автомобильном или железнодорожном ходу.

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

Ленточные конвейеры имеют (рис. 3.6) тяговый орган в виде бесконечной ленты (текстильной, прорезиненной из хлопчатобумажной или синтетической ткани, из стали, проволоки и др.), являющейся одновременно и грузонесущим элементом.

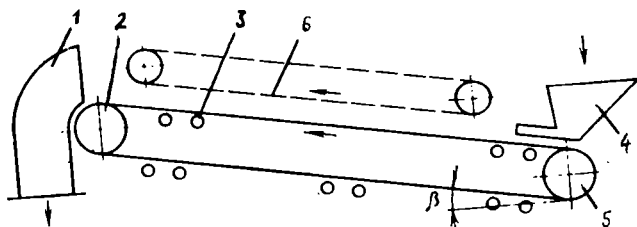


Рис. 3.6. Ленточный конвейер:

1, 4 — разгрузочное и загрузочное устройства; 2, 5 — приводная и натяжная станции; 3 — поддерживающие ролики; 6 — прижимная лента

Скорости движения транспортерной ленты устанавливают с учетом свойств транспортируемых материалов (насыпной массы, угла естественного откоса материала при его движении и др.). В табл. 3.1 приведены скорости транспортировки различных отходов на ленточном транспортере с шириной ленты 0,5—0,65 м.

Угол наклона конвейера β не должен превышать 20° . Иногда необходимо транспортировать отходы с более высоким углом наклона к горизонту (до $45\text{--}60^\circ$). В этом случае по бокам конвейера устанавливают прижимные ленты, движущиеся со скоростью основной конвейерной ленты.

Таблица 3.1

**Рекомендуемые скорости транспортировки отходов
ленточным конвейером (v_n — скорость движения ленты)**

Вид отходов	v_n , 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

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

$$N = N_{\text{под}} + N_{\text{гор}} = Q_k (H + LC_0)/367, \quad (3.2)$$

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

Производительность Q_k (т/ч) ленточного конвейера определяется из выражения:

$$Q_k = 3600S \cdot w \cdot \gamma, \quad (3.3)$$

где S — площадь сечения потока материала, м²; w — скорость перемещения ленты, м/с; γ — насыпная масса материала, т/м³.

Насыпная масса некоторых отходов приведена в табл. 3.2.

Таблица 3.2

Насыпная масса (m) различных отходов

Вид отходов	m , 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

Часто (например, для удаления осадка из отстойников) используют *скребковые конвейеры*, в которых материал перемещается по неподвижному желобу скребками, соединенными движущейся цепью (рис. 3.7).

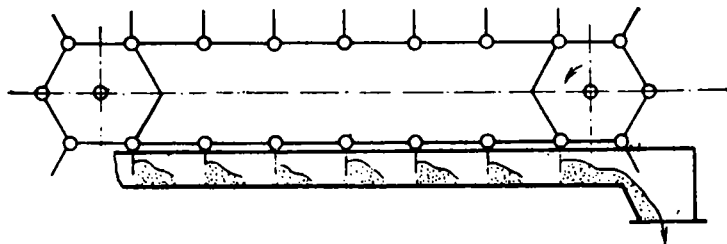


Рис. 3.7. Цепной скребковый конвейер

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

$$Q_k = 3600 B \cdot h \cdot \psi \cdot w \cdot \gamma, \quad (3.4)$$

где B, h — ширина и высота желоба конвейера, м; ψ — усредненный эмпирический коэффициент заполнения желоба отходами; $\psi = 0,5-0,6$; w, γ — то же, что и в выражении (3.3).

Транспортирующие тяговые устройства, перемещающие материалы в вертикальном (или близком к нему) направлении, называются *элеваторами*. Тяговым органом элеватора (рис. 3.8) служит цепь при скорости до 1,25 м/с или конвейерная лента — при скорости не более 2,5 м/с. Перемещение сыпучего груза осуществляется в глубоких (для несслеживающихся легкосыпучих материалов) или в мелких ковшах.

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

$$Q_э = 3,6 G w / t, \quad (3.5)$$

где G — масса материала в одном ковше, кг; w —

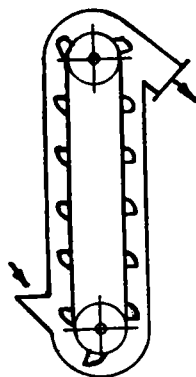


Рис. 3.8. Ковшовый элеватор

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 м.

В некоторых случаях, например при ремонтных операциях, применяют гравитационные (без тяговых органов) устройства — желоба, трубы, винтовые спуски, рольганги (для штучных грузов), по которым материал перемещается сверху вниз.

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

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.

3.3. Использование автомобильного, железнодорожного и водного транспорта.

Контейнерные перевозки промышленных отходов

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

Преимущество автомобильного транспорта состоит в том, что он доставляет отходы непосредственно на место их переработки или на промежуточные станции. Транспортировка отходов от промежуточных станций производится самыми крупными транспортными средствами: железнодорожными и водными, а также большегрузными автомобилями.

Стоимость автомобильных перевозок отходов мало зависит от расстояния, но все же наиболее рационально его использование при дальности перевозок до 50 км (рис. 3.9).

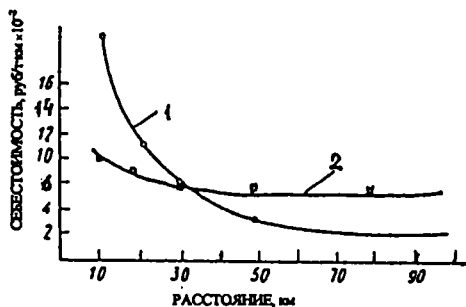


Рис. 3.9. Влияние расстояния на себестоимость перевозок: 1 — железнодорожным транспортом; 2 — автомобильным транспортом

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 лучше перевозить на закрытых платформах, разгружаемых снизу на конвейер, подающий стружку сразу в переплав.

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 сварную конструкцию, усиленную ребрами жесткости. В верхней части контейнера расположены загрузочные люки, которые имеют крышки. На передней стенке контейнера имеется автозахватное устройство. Система герметизации контейнера исключает возможность самопроизвольного открывания крышки люка.

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.

Представляет значительный интерес 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 м³; скорость транспортировки внутри сборника 20 м/с; скорость компрессорного воздуха 30 м/с; максимальная мощность двигателя системы отсоса 130 кВт. Обслуживает такую установку один человек. Предварительно измельченные отходы, собираемые в герметичных мешках, подаются в приемное отверстие шлюзовой камеры. Установка снабжена специальными запорными устройствами, системой автоматики, контрольно-регулирующей аппаратурой.

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

Одной из разновидностей контейнеров можно считать сменный кузов автомобиля. 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 его использование 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.

Контрольные вопросы

1. Какие виды транспорта используют для перемещения отходов?
2. Как используют трубопроводный транспорт для перемещения отходов? Какие виды транспортирующих машин применяют в установках трубопроводного транспорта отходов?
3. Какие виды подъемно-транспортных машин используют для подъема и перемещения отходов?
4. Какое оборудование используют при разработке отвалов отходов, шламонакопителей и при формировании полигонов отходов?
5. Как используют автомобильный, железнодорожный и водный транспорт для перевозки отходов? Каково влияние расстояния на себестоимость перевозки отходов различными видами транспорта? Контейнерные перевозки отходов.

ГЛАВА 4

ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПЕРЕРАБОТКИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ

Технологии переработки всевозможных видов отходов основываются на механических, гидродинамических, тепловых, диффузионных, химических, биохимических процессах. Как правило, в реальной технологии утилизации отходов сочетаются различные методы 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 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 также, как правило, сочетаются с тепловыми, гидродинамическими, диффузионными и механическими процессами.

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

Утилизация твердых отходов в большинстве случаев связана с необходимостью либо их разделения на компоненты (в процессе очистки, обогащения, извлечения ценных составляющих) с последующей переработкой сепарированных материалов различными методами, либо придания им определенного вида, обеспечивающего саму возможность утилизации отходов. На производстве отходы, образующиеся на одной установке (литьевая машина, штамповочный пресс, токарный станок и т.п.), не бывают однородными. Очень часто в контейнер с отходами пластмассы попадают металлические предметы, а в контейнер с металлической стружкой — деревянная палка или промасленная ветошь. Перечень примеров можно продолжить. 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,



Рис. 4.1. Наиболее распространенные методы подготовки твердых отходов к переработке

цвет, блеск, размер, форма, вязкость, хрупкость, поверхностные оптические характеристики, магнитная восприимчивость, электропроводность, жаропрочность и некоторые другие.

Физические свойства материалов можно направленно изменять. Так, например, на поверхностные характеристики можно воздействовать химическим способом, а электропроводность можно 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. 4.1.

4.1. Измельчение и разделение отходов по крупности

Процессы измельчения широко распространены в технологии рекуперации твердых отходов, при переработке отвалов вскрышных и попутно извлекаемых пород открытых и шахтных разработок полезных ископаемых, вышедших из строя строительных конструкций и изделий, некоторых видов смешанного лома изделий из 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. Интенсивность и эффективность большинства химических, физико-химических и биохимических процессов возрастает с уменьшением размеров кусков (зерен) перерабатываемых материалов. В этой связи собственно технологическим операциям переработки твердых отходов обычно предшествует операция уменьшения размеров их кусков, которая в сочетании с классификацией и сортировкой имеет важное самостоятельное значение в технологии рекуперации твердых отходов.

В качестве основных технологических показателей дробления рассматривают степень и энергоемкость процесса.

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

$$i = D_{\max}/d_{\max} = D_{\text{ср}}/d_{\text{ср}}, \quad (4.1)$$

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:

Дробление	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 дробления составляет 5—10.

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

$$E = N/Q, \quad (4.2)$$

где N — мощность, потребляемая двигателем дробилки, кВт; Q — производительность дробилки, т/ч. 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. Для разделки очень крупных агломератов отходов применяют копровые механизмы, механические ножницы, дисковые пилы, ленточно-пильные станки и некоторые другие механизмы и приемы (например, взрыв). 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. Если требуется измельчить очень крупные отходы, их предварительно режут на куски, используя ленточные пилы и ленточно-пильные станки.

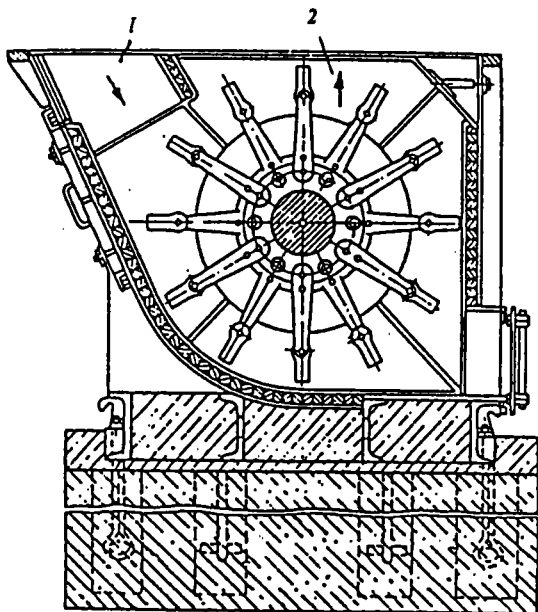


Рис. 4.2. Схема шахтной молотковой дробилки MMA 1500/1670/735 М:
1 — подача отходов; 2 — выход дробленого материала

Полученные куски легко измельчаются на стандартном оборудовании.

В частности, при дроблении легковесного металлического лома используют молотковые шахтные дробилки (рис. 4.2). Корпус такой дробилки монтируется на отдельном фундаменте и соединен с двигателем упругой муфтой. Ротор вращается в опорно-упорных подшипниках. На роторе шарнирно закреплены билодержатели и билы. Изнутри к корпусу крепятся съемные бронеплиты. Отходы вместе с частью воздуха поступают в дробилку через бункер, а после измельчения выносятся из дробилки восходящим потоком воздуха, который дополнительно подается через патрубки вдоль ее оси.

Технология дробления может быть организована с использованием либо открытых циклов работы дробилок, когда перерабатываемый материал проходит через дробилку только один раз, либо замкнутых циклов с грохотом, надрешетный продукт которого возвращают в дробилку. Некоторые распространенные варианты схем дробления твердых отходов представлены на рис. 4.3.

При необходимости получения из кусковых отходов мелкодисперсных фракций крупностью менее 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

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; *д* — двухстадийная с открытым циклом; *е* — двухстадийная с предварительным и проверочным грохочением во второй стадии; *ж* — трехстадийная с предварительным грохочением во второй стадии и с предварительным и проверочным грохочением в третьей стадии; *з* — в открытом цикле; *и* — в замкнутом цикле с гидравлической классификацией; *к* — в замкнутом цикле с совмещением предварительной и контрольной гидравлической классификации; *л* — в замкнутом цикле с воздушной сепарацией

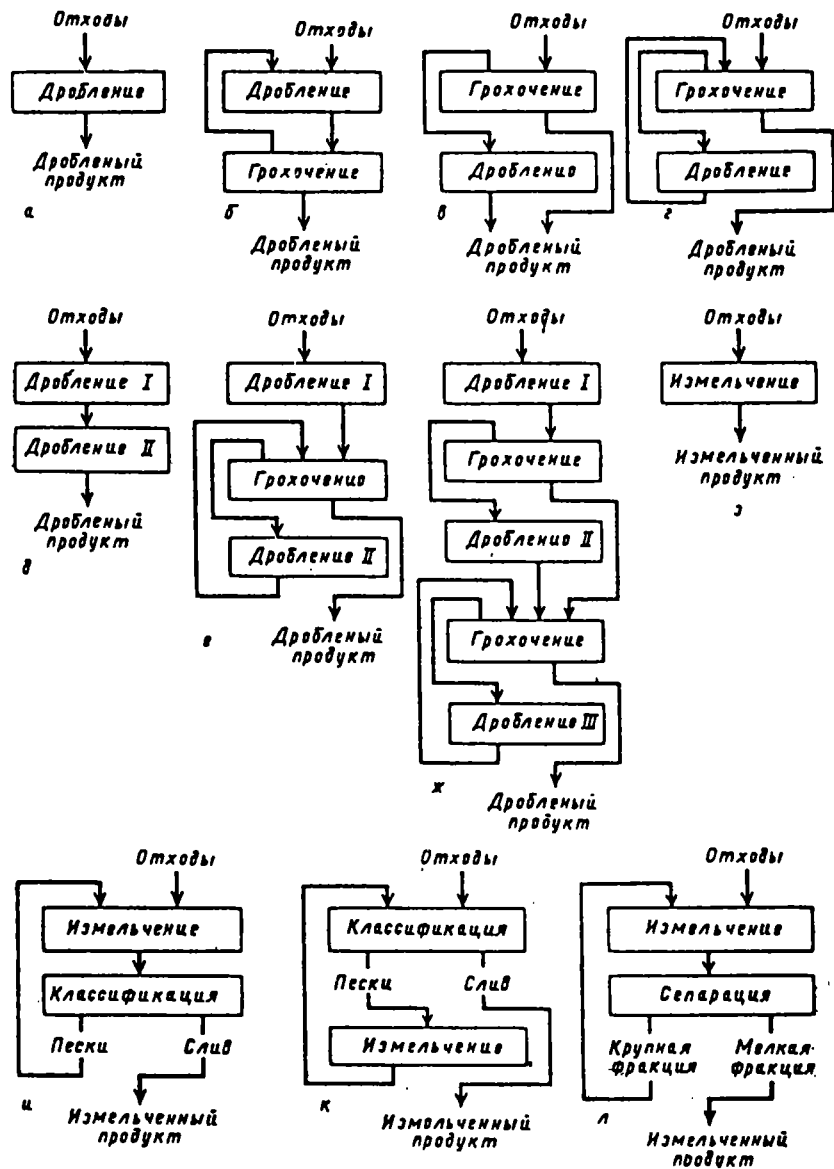


Рис. 4.3. Схемы организации измельчения и классификации отходов:

и т. п.). Измельчение некоторых отходов пластмасс и резиновых технических изделий проводят при низких температурах (криогенное измельчение).

Барабанные стержневые и шаровые мельницы 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 D барабана без футеровки и рабочей длиной L . Различают короткие ($L < D$) и длинные ($L > D$) мельницы. Стержневые мельницы обычно применяют для грубого измельчения отходов в открытом или замкнутом цикле с классификатором. По сравнению с шаровыми мельницами они обеспечивают более равномерный по крупности продукт. Шаровые мельницы также используют в открытом и замкнутом цикле с классификаторами, причем мельницы с решеткой применяют в основном для сравнительно крупного измельчения, а мельницы с центральной разгрузкой чаще применяют для тонкого и особо тонкого измельчения. Примеры различной организации измельчения в сочетании с грохочением представлены на рис. 4.4.

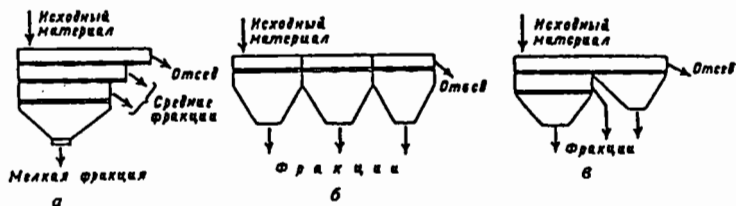


Рис. 4.4. Схемы выделение материалов различных классов при грохочении:

а — от крупного к мелкому; б — от мелкого к крупному; в — комбинированным способом

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. В мельницах ножевого типа измельчение идет в узком зазоре (0,1—0,5 мм) между закрепленными внутри статора неподвижными ножами и ножами, фиксированными на вращающемся роторе.

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

$$D_{\text{ш}} = 6 \sqrt{d_n} \lg d_k, \quad (4.3)$$

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:

$$\varphi_{\text{ш}} = V_{\text{ш}}/V = 4G_{\text{ш}}/\gamma_{\text{ш}}(\pi D^2 L), \quad (4.4)$$

где V и $V_{\text{ш}}$ — соответственно общий и занятый мелющими телами объемы барабана мельницы, м³; $G_{\text{ш}}$ — масса загрузки мелющих тел, т; $\gamma_{\text{ш}}$ — масса мелющих тел в единице объема, т/м³ (для приближенных расчетов принимают $\gamma_{\text{ш}} = 4,6$ — $4,8$ т/м³ для шаров и $6,6$ т/м³ для стержней); D — внутренний диаметр барабана мельницы, м; L — длина барабана мельницы, м.

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

$$\varphi_{\text{ш}} = 50 - 127(2l - D)/2D, \quad (4.5)$$

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

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

$$G_{\text{ш}} = \pi D^2 / 4 (L \cdot \varphi_{\text{ш}} \cdot \gamma_{\text{ш}}). \quad (4.6)$$

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

$$n_{\text{кр}} = 42,3/\sqrt{D}. \quad (4.7)$$

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

$$\psi = n/n_{\text{кр}}. \quad (4.8)$$

В практике измельчения ψ обычно составляет 0,72—0,85.

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

$$Q = q_1 V / (\beta_k - \beta_{исх}) \quad (4.9)$$

и по содержанию в измельченном продукте вновь образованного данного класса Q_1 (т/ч):

$$Q_1 = Q(\beta_k - \beta_{исх}) / 100, \quad (4.10)$$

где q_1 — удельная производительность по вновь образованному расчетному классу, т/(м³·ч); β_k , $\beta_{исх}$ — выход данного класса соответственно в измельченном продукте и в исходном материале, %.

Удельная производительность q , т/(м³·ч) по перерабатываемому материалу составляет:

$$q = Q / V. \quad (4.11)$$

Значения q_1 могут быть определены по аналогичному выражению:

$$q_1 = Q_1 / V. \quad (4.12)$$

Для разделения твердых отходов на фракции по размерам используют методы грохочения (рассева) частиц перерабатываемого материала и их разделение под действием гравитационно-инерционных и гравитационно-центробежных сил. Эти методы широко применяют в качестве самостоятельных и вспомогательных при утилизации и переработке подавляющего большинства твердых отходов. В тех случаях, когда классификация имеет самостоятельное значение, т.е. преследует цель получения той или иной фракции материала в качестве готового продукта, ее часто называют *сортировкой*.

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, проволочные сетки и щелевидные сита, выполненные из различных металлов, резины, полимерных материалов и характеризующиеся формой и размерами ячеек.

Последовательный ряд размеров отверстий сит, применяемых для грохочения, называется *шкалой классификации*. Отношение размеров отверстий смежных сит в закономерной шкале 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 $\sqrt{2} \approx 1,41$.

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.

При грохочении используют неподвижные колосниковые, валковые, барабанные вращающиеся, дуговые, ударные, плоские качающиеся, полувибрационные (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 проведение соответствующих операций.

При выделении трех и более классов перерабатываемого материала возможно различное технологическое оформление процесса грохочения (см. рис. 4.4). Каждая из этих схем имеет свои преимущества и недостатки, касающиеся интенсивности износа ячеечных поверхностей, удобства ремонта и наблюдения за их состоянием, эффективности процесса и компактности установки.

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

$$E = 10^4(\alpha - \nu)/\alpha(100 - \nu), \quad (4.13)$$

где α и ν — содержание нижнего класса соответственно в исходном материале и подрешетном продукте, %.

Для неподвижных колосниковых грохотов объемную производительность Q ($\text{м}^3/\text{ч}$) выражают произведением удельной объемной производительности по питанию q [$\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$] на площадь решетки F (м^2):

$$Q = q \cdot F. \quad (4.14)$$

4.2. 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 добычи полезных ископаемых, хвостов обогащения углей и золы — уноса ТЭС, в процессах утилизации фосфогипса, в сельском хозяйстве и цементной промышленности, 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 электротермофосфорном производстве 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, расплавов или растворов 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 гранулята, близкого по составу к монодисперсному, используют тарельчатые (дисковые) грануляторы окатывания, обеспечивающие возможность достаточно легкого управления процессом.

Существует много конструкций тарельчатых грануляторов, различающихся размерами, наличием или отсутствием, а также формой и расположением отдельных конструктивных элементов. 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:

$$Q = KD^2, \quad (4.15)$$

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

Необходимый размер тарели гранулятора оценивают по удельной производительности q , которая находится в пределах 0,77—0,91 т/(м² · ч):

$$D = \sqrt{Q/(0,785q)}. \quad (4.16)$$

Тарельчатые грануляторы экономичнее барабанных, они 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. На практике используют грануляторы производительностью до 125 т/ч.

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.

Валковые грануляторы снабжают прессующими элементами

с рабочей поверхностью различного профиля, что позволяет получать спрессованный материал в виде отдельных кусков (обычно поперечное сечение до 30 мм), прутков, плиток и полос. Эти механизмы часто совмещают с дробилками (обычно также валкового типа), обеспечивающими получение из спрессованных полупродуктов гранул заданных размеров.

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

$$Q = 188,4 \cdot 10^3 \psi \cdot \rho_n \cdot b \cdot n \cdot L \cdot D, \quad (4.17)$$

где b — ширина зазора между валками, м; L — длина валка, м; D — диаметр валка, м; ρ_n — насыпная плотность исходного материала, кг/м³; n — частота вращения валков, 1/с; $\psi = 0,5—0,6$.

Принципы прессового гранулирования порошков и паст реализуют также в червячных прессах (экструдерах) различной конструкции, рабочими элементами которых являются червяки (шнеки), пластицирующие перерабатываемый материал и продавливающие его через перфорированную решетку (фильтрную головку), по выходе из которой сформованные жгуты либо ломаются под действием собственной тяжести, либо их режут до или после охлаждения дисковым или гильотинным ножом на частицы заданной длины.

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. 8.

Таблетирование. При производстве из промышленных отходов (или их компонентов) некоторых адсорбентов, катализаторов, витаминных, лечебных и ряда других препаратов и изделий порошковые материалы гранулируют с использованием таблеточных

машин различных типов, принцип действия большинства из которых основан на прессовании пуансонами дозируемых в матричные каналы порошков. Изготавливаемые таблетки характеризуются разнообразной формой (цилиндры, сферы, полусферы, диски, кольца и т. п.) с диаметром 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 придания им компактности, обеспечивающей лучшие условия транспортирования, хранения, а часто и саму возможность переработки, а также 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 ограниченном 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.

В практике брикетирования твердых отходов используют различные прессовые механизмы. При брикетировании дисперсных материалов наибольшее распространение получили штемпельные (давление прессования 100—120 МПа), вальцовые и кольцевые (около 200 МПа) прессы различных конструкций.

Высокотемпературная агломерация. Этот метод используют 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 % по массе), 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 ей оптимальную газопроницаемость. Нагрев и воспламенение шихты обеспечивают

просасыванием через нее продуктов сжигания газообразного или жидкого топлива. Процесс спекания минеральных компонентов шихты протекает при горении твердого топлива (при 1100—1600 °С), содержащегося в ней. Агломерационные газы удаляют под разрежением 7—10 кПа.

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

Применяющиеся для высокотемпературной агломерации конвейерные машины с верхним зажиганием шихты производительностью 400—500 т/ч отличаются выделением больших объемов разбавленных по загрязняющим компонентам (СО, SO₂, NO₂) агломерационных газов. Агломашины с нижним зажиганием в значительной степени лишены этого недостатка.

Смешение материалов. Для усреднения дисперсных отходов, приготовления на их основе многокомпонентных смесей, в частности при гранулировании, таблетировании, брикетировании и других процессах, обеспечивающих возможность переработки ВМР в товарные продукты, широко используют смешение порошкообразных и пастообразных материалов.

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

Среди смесителей периодического действия наиболее распространенными являются барабанные, бегунковые, пневматические, циркуляционные и червячно-лопастные. К числу аппаратов непрерывного действия принадлежат барабанные, вибрационные, гравитационные, лопастные, центробежные и червячно-лопастные смесители.

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

4.3. 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 металлургии и ряда других ВМР) используют различные физические методы сепарации, в основе которых лежат различия в магнитных, электрических, электромагнитных и других физических свойствах отходов.

Магнитные методы используют для отделения парамагнитных (слабوماгнитных) 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 магнетит ($\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$), маггелит (Fe_2O_3), пирротин, титаномагнетит, ферросилиций, франклинит, сидерит, слабوماгнитные оксиды железа после их обжига и некоторые другие вещества. Ряд оксидов, гидроксидов и карбонатов железа, марганца, хрома и редких металлов относится к материалам со слабوماгнитными свойствами. Различные пороодообразующие 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 δ :

$$\chi_{\text{уд}} = \chi_{\text{об}} / \delta. \quad (4.18)$$

Удельную магнитную восприимчивость определяют из уравнения

$$\chi_{\text{уд}} = I / (\mu_0 \cdot H), \quad (4.19)$$

где I — намагниченность (магнитный момент) вещества; μ_0 — магнитная постоянная; H — напряженность магнитного поля в этом веществе.

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

Подлежащие магнитной сепарации материалы, как правило, подвергаются 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 различаются 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.

Оценка производительности магнитных сепараторов затруднена влиянием на нее многих факторов. Имеющийся опыт эксплуатации этих аппаратов позволяет в ряде случаев рассчитывать их производительность, основываясь на нормах удельных нагрузок на 1 м ширины питания, с использованием выражения

$$Q = qnL_p, \quad (4.20)$$

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 железоотделители (шкивные, подвесные, саморазгружающиеся сепараторы), предназначенные для извлечения железных и других ферромагнитных предметов из разрыхленных немагнитных материалов нашли широкое применение при переработке твердых отходов.

Электрические методы обогащения основаны на различии электрофизических свойств разделяемых материалов и включают сепарацию в электростатическом поле, поле коронного разряда, коронноэлектростатическом поле и 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:

$$F = Eq, \quad (4.21)$$

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. По электропроводности все минеральные частицы делятся на *проводники*, *полупроводники* и *диэлектрики*. 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 (земленным) 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 оса-

дительного электрода. Эти различия выражаются в величинах траекторий движения частиц.

Трибоадгезионная сепарация основана на различии в адгезии (прилипании) к поверхности наэлектризованных трением частиц разделяемого материала. Температура процесса сепарации 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 (барабанные, камерные, ленточные, лотковые, пластинчатые, полочные и др.).

Подлежащие электрической сепарации материалы обычно подвергаются подготовительным операциям (сортировке по размерам, отделению от шламов, сушке, термообработке при температурах до 300 °С). Процесс сепарации наиболее эффективен, если размеры частиц не превышают 5 мм.

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

4.4. Гидродинамические процессы, используемые при переработке отходов

Гидродинамические методы, используемые при переработке промышленных отходов, включают: гравитационное отстаивание под действием силы тяжести в отстойниках и флотаторах, разделение под действием центробежной силы в центрифугах и циклонах, фильтрацию под действием разности давлений через фильтрующую перегородку в различных фильтрах, электрофильтрацию под действием электрического поля в электрофильтрах.

Гравитационное отстаивание основано на различии скоростей падения в жидкой или воздушной среде частиц различного 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 сличной сферической частицы в безграничном объеме жидкости (газа). Скорость такого движения (v_q) при ламинарном режиме обтекания частицы определяется формулой Стокса:

$$v_q = \frac{2}{9} \frac{g \cdot r_q^2}{\nu_{ж}} \left(\frac{\rho_q}{\rho_{ж}} - 1 \right), \quad (4.22)$$

где g — ускорение действующего на частицу гравитационного поля; r_q — радиус частицы; $\nu_{ж}$ — кинематическая вязкость жидкости; $\rho_q, \rho_{ж}$ — соответственно плотности 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.

Гравитационные методы объединяют обогащение отсадкой, в тяжелых суспензиях, в перемещающихся по наклонным поверхностям потоках, а также промывку.

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

Отсадке обычно подвергают предварительно обесшламленные широко- или узкокласифицированные материалы оптимальной крупности 0,5—100 мм для нерудных и 0,2—40 мм для рудных материалов. При отсадке крупного материала находящийся на решетке его слой толщиной в 5—10 диаметров наибольших частиц называют *постелью*. 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, другими конструктивными особенностями.

Их производительность (Q , т/ч) как транспортных механизмов может быть определена по формуле:

$$Q = 3600 \gamma_{\text{cp}} \cdot B \cdot H \cdot v_l, \quad (4.23)$$

где γ_{cp} — средняя насыпная плотность материала постели, т/м³; B — ширина отсадочного отделения, м; H — высота отсадочной постели, м; v_l — средняя скорость продольного перемещения материала в машине, м/с.

Связь производительности (т/ч) отсадочной машины с качеством продуктов отсадки выражается уравнением:

$$Q = 3600 \gamma_{\text{cp}} \cdot B \cdot H \cdot L \cdot K / \eta, \quad (4.24)$$

где L — длина отсадочной машины, м; K — коэффициент пропорциональности, характеризующий удельную скорость разделения, 1/с (обычно в пределах 0,01 — 0,05 1/с); η — критерий точности разделения.

Типичная схема технологического комплекса отсадки представлена на рис. 4.5.

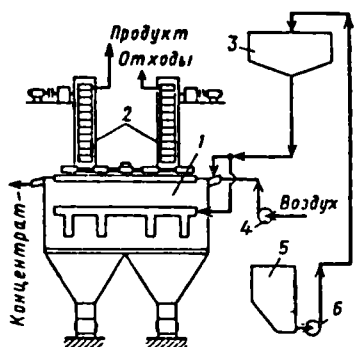


Рис. 4.5. Технологический комплекс отсадки:
1 — отсадочная машина; 2 — элеваторы; 3 — бак оборотной воды; 4 — воздухо-
дувка; 5 — емкость с оборотной водой; 6 — насос

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 магнитных сплавов—утяжелителей, в качестве которых используют ферросилиций, пирит, пирротин, магнетитовый и гематитовый кон-

центраты и другие материалы крупностью до 0,16 мм. В качестве гязелых жидкостей используют растворы хлоридов кальция и цинка (плотность соответственно 1654 и 2070 кг/м³), тетраxлорид углерода (плотность 1600 кг/м³), тетрабромэтан (плотность 2810 кг/м³), раствор иодида калия (плотность 3196 кг/м³) и другие соединения.

Плотность суспензии (г/см³) определяют по формуле:

$$\delta_c = C(\delta_y - 1) + 1, \quad (4.25)$$

где C — объемная концентрация утяжелителя, доли единицы; δ_y — плотность утяжелителя, г/см³.

Масса утяжелителя (кг) в данном объеме суспензии составляет:

$$m_y = V \cdot \delta_y (\delta_c - 1) / (\delta_y - 1), \quad (4.26)$$

где V — объем суспензии, дм³; δ_y и δ_c — плотность соответственно утяжелителя и суспензии, кг/дм³.

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 гязелых 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.

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). Питание деки смывной водой ведут с ее верхнего края, ниже места ввода пульпы. Частицы разделяемого

материала большей плотности оседают в межрифленых пространствах и под действием колебаний наклонной деки продвигаются вдоль рифлей, достигая нерифленой части деки, где образуют веер частиц различной плотности, удаляемых отдельно. 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:

$$n = 250/\sqrt[5]{d_{\max}}, \quad (4.27)$$

$$l = 18\sqrt[4]{d_{\max}}, \quad (4.28)$$

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:

$$Q = K \cdot \delta \cdot F \cdot d_{\text{cp}} [(\delta_{\tau} - \Delta)/(\delta_{\text{л}} - \Delta)]^{0,6}, \quad (4.29)$$

где K — коэффициент (обычно $K = 0,1$); δ — плотность питания стола, г/см³; F — площадь деки стола, м²; d_{cp} — средний арифметический диаметр частиц, мм; δ_{τ} , $\delta_{\text{л}}$ — плотность соответственно тяжелой и легкой фракций, г/см³; Δ — плотность среды (для воды $\Delta = 1$), г/см³.

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 величиной относительного шага винта (отношением шага к диаметру), находящейся в пределах 0,4—0,6.

При максимальной крупности частиц обогащаемых материалов 0,2—8 мм и плотности извлекаемых материалов 6—7,5 г/см³ средняя производительность винтовых сепараторов диаметром 0,5—1,2 м находится в пределах 0,3—12 т/ч. Обогащение преимущественно классифицированных и обесшламленных материалов характеризуется лучшими показателями.

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° 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 плотности сосредотачиваются в верхних его слоях. Разделенные потоки частиц поступают в отдельные приемники. Производительность этих аппаратов определяется крупностью и минеральным составом смеси и обычно составляет 0,9—5,5 т/ч на 1 м² рабочей площади желоба. Их можно использовать и для классификации строительного песка.

Шлюзы характеризуются наличием наклонных (3—15°) 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 смывают водой в приемник.

Необходимую для заданной объемной производительности шлюза (B , м) определяют по выражению:

$$B = Q/(vh), \quad (4.30)$$

где Q — расход пульпы, м³/с; v — скорость потока пульпы, м/с; h — высота потока, м.

Расход пульпы определяют по уравнению:

$$Q = q(1/\delta + R), \quad (4.31)$$

где q — расход твердого вещества питания, т/с; δ — плотность твердого вещества, т/м³; R — разжижение пульпы (отношение массы жидкости к массе твердого тела).

Ширина шлюзов обычно составляет 0,5—1,5 м, длина 6—20 м. Пример технологического комплекса обогащения на шлюзах представлен на рис. 4.6.

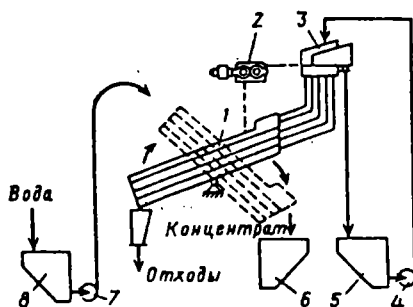


Рис. 4.6. Технологический комплекс обогащения на шлюзах:
1 — шлюз; 2 — привод; 3 — бак питания; 4, 7 — насосы; 5 — бункер с концентратом; 6 — емкость с концентратом; 8 — емкость с водой

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), иногда применяют острый пар и различные растворители.

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. 4.7.

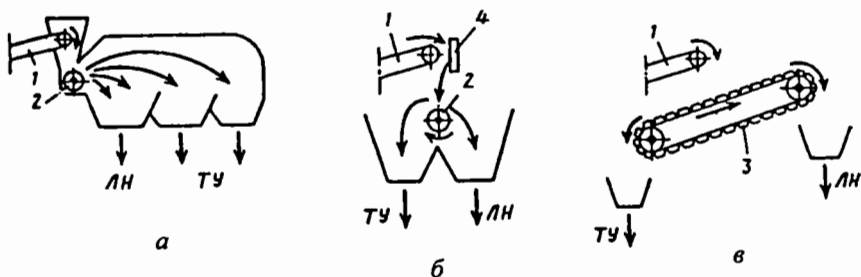


Рис. 4.7. Некоторые приемы разделения смесей твердых отходов: а, б — баллистическая сепарация; в — сепарация, основанная на различии коэффициентов трения; 1 — ленточные транспортеры; 2 — роторы; 3 — пластинчатый транспортер; 4 — отражатель; ЛН — фракция легких неупругих материалов; ТУ — фракция тяжелых упругих материалов

Пенная сепарация (ПС) — 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. Один из них состоит в следующем.

Первоначальное образование пузырей происходит при прохождении воздуха через распределительное устройство или

механическими способами. Однако образовавшиеся пузырьки имеют слишком большие размеры для процесса сепарации. Поэтому 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 образования пузырьков, так как он позволяет получать большое число пузырьков малого размера (30–120 мкм)

В технологическую линию для осуществления процесса пенной сепарации входят нагнетательный насос, устройство для подачи воздуха, аппарат для насыщения жидкости воздухом и флотатор. Исходное сырье и воздух поступают в аппарат, где происходит насыщение суспензии воздухом и затем во флотатор. Твердые частицы всплывают, образуя слой на поверхности жидкости, и удаляются скребками. Осветленная жидкость протекает под перегородкой и отводится из аппарата с помощью регулируемого водослива.

Пропускная способность флотационных концентраторов 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 концентраторов 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. 4.8) 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, поверхностно-активное вещество будет накапливаться в пенном слое. Удалением с поверхности слоя пены поверхностно-активные вещества отделяются от растворяющей их жидкости. Растворенные вещества с низкой способностью к образованию пены могут быть подвергнуты фракционированию флотацией путем добавления в жидкость пенообразующего агента. Для этих целей необходимы пенообразующие вещества, создающие с растворенным веществом электрические или хелатные связи. В качестве пенообразующих веществ используют масла, жирные кислоты и их соли, дитиокарбонаты, алкилсульфаты, амины и другие соединения.

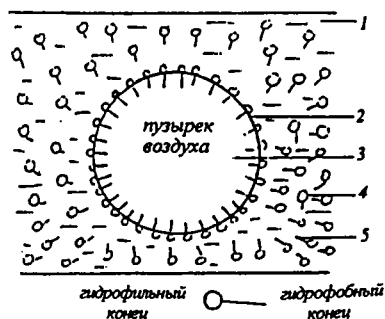


Рис. 4.8. Механизм пенного фракционирования:

1 — водная фаза; 2 — поверхность раздела; 3 — пузырек воздуха; 4 — гидрофильный конец молекулы; 5 — гидрофобный конец молекулы

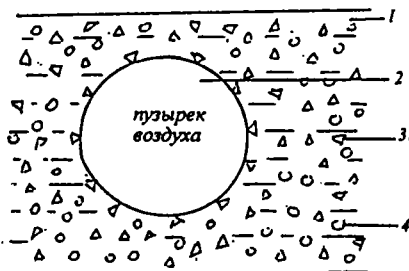


Рис. 4.9. Механизм пенной флотации:

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. 4.9). Мельчайшие пузырьки воздуха, образующиеся при его подаче в жидкость в сжатом состоянии, скапливают вокруг себя гидро-

фобные взвешенные частицы. Благодаря разнице плотностей, эти 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).

На устойчивость пены влияют концентрация водородных ионов (рН), температура, размер пузырьков, объемная концентрация растворенного вещества. Технологический режим процесса флотации должен быть организован таким образом, чтобы концентрация в поверхностной пленке отличалась от концентрации в жидкости и за счет этого создавалась высокая вязкость поверхностного слоя. На дренажную способность влияют содержание жидкости внутри слоя, размер пузырьков, вязкость и поверхностное натяжение стенок пузырька. Важное влияние на степень отделения оказывают соотношение жидкости и газа, площадь поверхности пузырька, высота слоя жидкости, высота слоя пены и ее долговечность.

Имеются два основных вида пенного сепаратора: колончатого типа (рис. 4.10, а) и желобового (рис. 4.10, б). Для маломасштабных производственных установок наиболее часто используют сепаратор колончатого типа. Исходная жидкость подается через боковую стенку колонны вблизи поверхности раздела пены и жидкости, и в нижней части колонны помещаются пористые разбрызгиватели, рассеивающие газ. Накапливающаяся пена удаляется из колонны сверху.

Желобовая установка более удобна для промышленных целей, так как позволяет проводить процесс непрерывно. Подача раз-

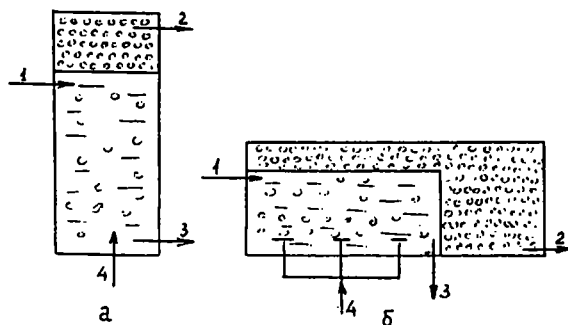


Рис. 4.10. Пенный сепаратор:

- 1 — подача жидкости;
- 2 — пенная фракция;
- 3 — стекающая фракция;
- 4 — подача воздуха

деляемой системы осуществляется через один конец крытого желоба, а выход веществ — вблизи противоположного конца. Устройства, подающие измельченные пузырьки, помещены в дне, а пена накапливается в пространстве между сводом желоба и жидкостью. Вертикальная перегородка удерживает жидкость в желобе, позволяя пене перетекать в сливную камеру. Пенная флотация осуществляется, как правило, в сепараторах желобового типа.

Фракционирование пеной используется для удаления абсорбирующих очищающих средств и других поверхностно-активных растворенных веществ в канализационной системе. Она 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.

Пенная флотация применяется для обработки загрязненных металлом сточных вод (очистка СОЖ), улавливания масел из отходов нефтепереработки и при очистке воды, используемой для мойки автомобилей.

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. Наиболее часто применяется центрифуга со сплошным барабаном, которая выполняет двойную функцию — осветление исходной суспензии и транспортирование образовавшегося осадка за пределы аппарата.

Расчет процесса центрифугирования основан на приведенном выше законе движения одиночной частицы в поле центробежной силы (формула Стокса). Для упрощения задачи рассматривают разбавленные дисперсные системы. Основной действующей силой является центробежная сила, определяемая центробежным ускорением a , которое можно рассчитать по уравнению

$$a = \omega^2 R, \quad (4.32)$$

где ω — угловая скорость вращения барабана; R — текущее значение радиуса, на котором находится частица.

При центрифугировании отделение твердой фазы от жидкости происходит лишь в том случае, когда время пребывания суспензии в барабане достаточно, чтобы твердая частица достигла его стенки. Время пребывания жидкости в аппарате:

$$t_n = V/Q, \quad (4.33)$$

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, вследствие чего происходит ухудшение эффективности сепарации твердых частиц от жидкости.

Средняя скорость в межтарелочном канале существенно влияет на эффективность сепарации и размер сепарируемых частиц. Она определяется соотношением

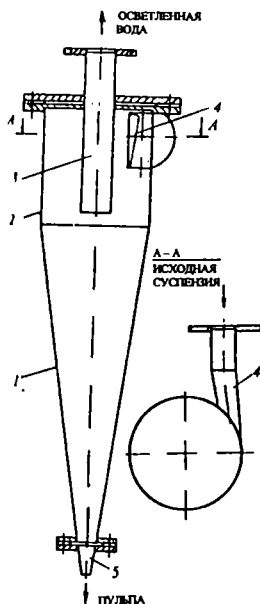
$$\bar{v} = Q/(2\pi Rh), \quad (4.34)$$

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.

Все более 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. 4.11. Он состоит из цилиндрической и конической частей. Вращение жидкости в



циклоне осуществляется в результате движения суспензии через тангенциальный патрубок, расположенный сверху цилиндрической части 2. Коническая часть циклона 1 оканчивается шламовой насадкой 5, через которую отводится осадок, выделенный из обрабатываемой суспензии. Осветленная жидкость вытекает через сливной патрубок 3, расположенный по оси циклона.

Осаждение частиц взвеси в поле действия центробежной силы, развивающейся при работе гидроциклона, во много раз интенсивнее осаждения их в поле верти-

Рис. 4.11. Общий вид гидроциклона:

1 — коническая часть циклона; 2 — цилиндрическая часть циклона; 3 — сливной патрубок; 4 — тангенциальный патрубок; 5 — шламовая насадка

кальных сил, возникающих под действием силы тяжести. Фактор разделения K , показывающий, во сколько раз скорость перемещения частицы под действием центробежной силы больше скорости ее осаждения под действием силы тяжести, определяется выражением:

$$K = v_t^2 / g \cdot r, \quad (4.35)$$

где v_t — тангенциальная скорость осаждения частицы на радиусе вращения; g — ускорение силы тяжести; r — радиус вращения частицы.

Значения фактора разделения K колеблются 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

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. Теория и расчет гидроциклонов различного типа достаточно полно изложены в специальной литературе.

В гидроциклоне вращательное движение разделяемой суспензии определяется прежде всего законом сохранения момента количества движения

$$\rho_c \cdot u \cdot R = \text{const}, \quad (4.36)$$

где u — окружная скорость потока суспензии плотностью ρ_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.

Фильтрацию широко используют в различных технологических процессах переработки вторичных материалов. Фильтрация представляет собой процесс отделения твердых веществ от жидкости, происходящий при разности давлений над фильтрующей средой и под ней. Очищаемую жидкость для первоначального удаления твердых частиц обрабатывают на механическом фильтре с насыпным или намывным слоем фильтрующей массы, а также на напорном фильтре с плавающей фильтровальной массой. В качестве фильтрующего материала в насыпных фильтрах используют песок, антрацит, дробленый мрамор, керамзит, перлит,

для намывного слоя — перлит, в фильтрах с плавающей загрузкой — вспененные материалы: пенополистирол и пенополиуретан.

Для обезвоживания осадков и шламов обычно используют вакуум-фильтры и фильтр-прессы. Фильтрующей средой на фильтрах является не только фильтровальная ткань, но и слой осадка, прилипающий к ткани и образующий в процессе фильтрования вспомогательный фильтрующий слой, который, собственно, и обеспечивает задержание 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:

$$i = (2PF^2/\eta \cdot c)b, \quad (4.37)$$

где P — давление (вакуум), при котором происходит фильтрование; F — площадь фильтрующей поверхности; η — вязкость фильтрата; c — масса твердой фазы кека, отлагающегося на фильтровальной перегородке при получении единицы объема фильтрата; $b = \tau/V^2$ — параметр, получаемый эмпирическим путем; τ — продолжительность фильтрации; V — объем выделяемого фильтрата.

Среди фильтрующих аппаратов наиболее распространены барабанные вакуум-фильтры со сходящим фильтрующим полотном и без него. Наиболее совершенны аппараты первого типа. Они позволяют отделять достаточно тонкие слои осадка (1—3 мм), что увеличивает производительность установки.

Барабанный вакуум-фильтр со сходящим полотном (рис. 4.12) состоит из горизонтально расположенного цилиндрического полого барабана 9, частично (на 35—40 %) погруженного в корыто

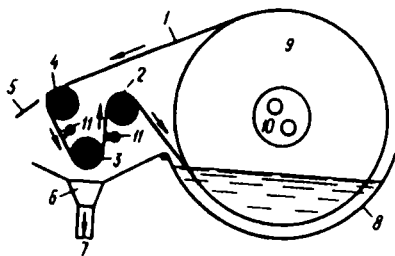


Рис. 4.12. Барабанный вакуум-фильтр со сходящим полотном:

1 — фильтровальная ткань; 2 — возвратный ролик; 3 — натяжной ролик; 4 — разгрузочный ролик, 5 — нож для съема кека; 6 — желоб промывной воды; 7 — отвод промывной воды; 8 — кольцо фильтра; 9 — барабан фильтра; 10 — распределительная головка; 11 — трубы с насадками для промывки ткани

8 с фильтруемой суспензией. Разделенный внутри на изолированные секции барабан вращается на валу, один конец которого соединен с электроприводом, а другой имеет распределительную головку 10. Назначение последней заключается в поочередном сообщении отдельных секций барабана с вакуумной и напорной линиями. Фильтрат под действием вакуума проходит через фильтровальную ткань в соответствующую секцию барабана и отводится наружу, а кек, задержанный на фильтровальной ленте, подсушивается при помощи вакуума и отдувается сжатым воздухом.

Фильтровальная ткань 1 при вращении барабана сходит на ролики 2, 3 и 4. При прохождении ее через разгрузочный ролик 4 кек снимается с ткани ножом 5.

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 является фильтр-пресс. Фильтр-прессы дают наиболее полное обезвоживание фильтруемых суспензий, но имеют несколько меньшую производительность, чем вакуум-фильтры. Обычный рамный фильтр-пресс состоит из чередующихся плит с общей площадью фильтрации, достигающей до 1000 м², и рам одинакового размера, опирающихся на две параллельные вертикальные

направляющие. Между соприкасающимися поверхностями плит и рам имеются тканевые фильтровальные перегородки.

Рамы и плиты могут выполняться из пластмассы (полипропилена, поливинилиденфторида) или металла (серого чугуна, стали или алюминиевого сплава). Уплотнение рам и плит осуществляется кромками фильтровальных перегородок. Рамы и плиты в процессе фильтрации сдвигаются по вертикали в одно целое при помощи запорной плиты по направлению к неподвижной плите. Фильтруемая суспензия подается, а фильтрат отводится в направлениях, указанных на рис. 4.13 стрелками. По окончании фильтрации рамы автоматически раздвигаются, кек падает вниз и отводится от фильтра транспортером.

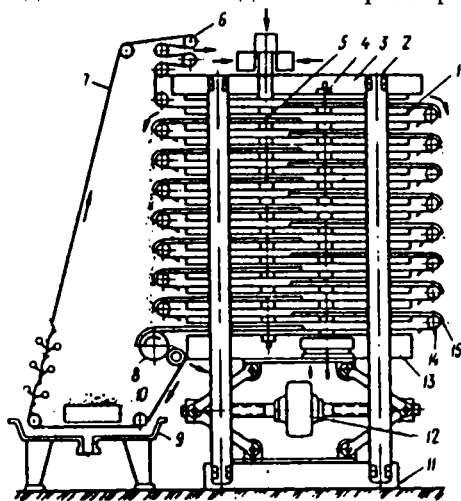


Рис. 4.13. Схема фильтр-пресса:

1 — фильтрующие плиты; 2 — стяжка; 3 — верхняя упорная плита; 4 — коллектор отвода; 5 — коллектор подачи; 6 — натяжное устройство; 7 — фильтровальная ткань; 8 — привод передвигания ткани; 9 — камера регенерации; 10 — лоток; 11 — нижняя опорная плита; 12 — электромеханический зажим; 13 — нажимная плита; 14 — ролики; 15 — нож для съема осадка

Производительность фильтр-прессов [L_{ϕ} , кг/(м² · ч)] определяется по формуле:

$$L_{\phi} = [(100 - w_k) h \rho_{\text{тв}}] / (20 t_{\phi}), \quad (4.38)$$

где w_k — конечная влажность кека, %; $\rho_{\text{тв}}$ — плотность осадка, г/см³; h — давление, м; t_{ϕ} — время фильтрации, с.

Фильтр-пресс ФПАКМ (рис. 4.13) состоит из горизонтально расположенных фильтрующих плит 1, которые передвигаются вверх и вниз вдоль плоских стяжек 2. При опускании плит между ними образуется зазор 45 мм. Передвижение и сжатие фильтрующих плит осуществляют нажимной плитой 13 и

электромеханическим зажимом 12. Закрытие и раскрытие фильтр-пресса занимает 50—70 с.

Конструкции барабанного вакуум-фильтра и фильтр-пресса хорошо разработаны, их расчет подробно рассмотрен в специальной литературе. Фильтры с насыпным зернистым фильтрующим материалом отличаются простотой конструкции, однако сложность и неизученность механизмов извлечения примесей делает затруднительным физическое и математическое моделирование их работы.

Общая задача в инженерных расчетах процессов фильтрации сводится к определению оптимальных условий работы, при которых фильтры обладают наибольшей производительностью. Работа фильтра в оптимальном режиме может характеризоваться также условиями, при которых за некоторое время на нем достигается допустимый перепад давления. В этом случае процесс фильтрации при постоянной скорости описывается уравнением:

$$\Delta P = \mu \cdot r_0 V / t \cdot F \cdot (X_0 V / F + R_{\phi,п}), \quad (4.39)$$

где ΔP — перепад давления, Па; μ — динамическая вязкость фильтрата, Па·с; r_0 — удельное сопротивление осадка, 1/м²; V — объем фильтрата за время t , м³; t — продолжительность фильтрования, с; F — поверхность фильтрования, м²; X_0 — отношение объема осадка к объему фильтрата; $R_{\phi,п}$ — сопротивление фильтровальной перегородки, 1/м.

Нередко задачу определения времени максимального защитного действия фильтра при очистке сточных вод можно свести к определению времени появления порции жидкости с заданной концентрацией удаляемой примеси.

Эффективность работы фильтров при удалении частиц разных размеров из газов и жидкостей в сравнении с другими аппаратами приведена в табл. 4.1.

4.5. 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

Таблица 4.1

**Коэффициент полезного действия (КПД) аппаратов для удаления
твердых примесей**

Аппарат	КПД, %, для удаления частиц размером, мм		
	5	2	1
Циклоны	27,0	14,0	8,0
Циклоны повышенной эффективности	73,0	46,0	27,0
Мультициклоны	89,0	77,0	40,0
Каркасные фильтры	99,9	99,9	99,0
Электростатические осадители	99,8	99,0	98,4

процессы лежат в основе работы ректификационных, сорбционно-десорбционных, выпарных, экстракционных и других установок.

Утилизация вторичных энергоресурсов, образующихся при осуществлении технологических процессов, имеет важное значение. Рациональное использование вторичных энергоресурсов снижает эксплуатационные затраты на топливо и уменьшает загрязнение окружающей среды.

Определение структуры взаимосвязей технологических потоков неразрывно связано с распределением тепловой нагрузки в системе по теплообменникам.

Задача создания теплообменной системы (ТС) сводится к определению структуры технологических связей между теплообменными аппаратами, а также к определению размеров поверхностей теплообмена каждого аппарата разрабатываемой системы, которые обеспечивают рекуперативный теплообмен между исходными m горячими и n холодными технологическими потоками при минимальном критерии эффективности. 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 проведение процесса. Критерий оптимальности (P , руб.) для теплообменников определяется:

$$П = Z_k / T_n + P_э = \min, \quad (4.40)$$

где Z_k — капитальные затраты, руб.; T_n — нормативный срок окупаемости, год; $P_э$ — эксплуатационные расходы, руб/год.

Расчет теплообменной аппаратуры проводится поэтапно.

На первом этапе составляется тепловой баланс потоков, приносящих и отводящих тепло:

$$Q_{\text{прих}} = Q_{\text{расх}} \quad (4.41)$$

и

$$Q_T = G c_p (\theta_1 - \theta_2).$$

Затем определяется необходимая поверхность (F , м²) теплообменника:

$$F = Q_T / (k \cdot \Delta\theta_{\text{ср}} \cdot t), \quad (4.42)$$

где Q_T — количество тепла; G — количество теплоносителя; c_p — теплоемкость теплоносителя; θ_1 и θ_2 — начальная и конечная температура теплоносителя; k — коэффициент теплопередачи; $\Delta\theta_{\text{ср}}$ — средняя разность температур; t — продолжительность теплообмена.

Задача синтеза теплообменных систем решается путем формирования множеств возможных комбинаций горячих и холодных потоков. Результирующие потоки, которые могут быть получены в процессе последовательного теплообмена исходных потоков, могут обмениваться теплом с другими результирующими и исходными потоками. При необходимости для достижения заданных конечных температур в теплообменных системах могут быть использованы вспомогательные тепло- и хладоагенты.

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 хладоагентов.

4.6. Диффузионные процессы

Многие процессы разделения двухфазных систем с целью утилизации их компонентов основаны на диффузионных процессах.

Определяющей характеристикой таких процессов, протекающих в двухфазных потоках, является взаимодействие фаз, от которого зависит величина межфазной поверхности. Поэтому аппараты, в которых проходят процессы массопередачи, должны конструироваться так, чтобы поверхность контакта в них была максимальной. В соответствии с этим в основу классификации диффузионной аппаратуры положен принцип образования межфазной поверхности.

В ресурсосберегающих производствах для очистки газов наиболее широкое распространение получили насадочные колонны (оптимальный вариант — эмульгационные колонны) и в меньшей степени тарельчатые колонны (оптимальный вариант для очистки — так называемые пенные аппараты).

Для насадочных колонн максимальная производительность достигается при таком режиме эмульгирования, когда достигается максимальная разделительная способность колонн при максимальной пропускной способности.

В реальных условиях массообмен очень часто носит неравновесный характер, что является следствием неравномерности распределения частиц по времени пребывания в потоке, обратного сброса фаз в результате механического уноса, недостаточной продолжительности контакта фаз или недостаточного размера межфазной поверхности контакта. Степень достижения равновесия при разделении определяется гидродинамикой потоков жидкости и пара, их взаимодействием, а следовательно, временем пребывания в аппарате.

Сорбционные методы очистки применяют для удаления истинно растворимых органических соединений из сточных вод. Широкое применение нашел сорбционный метод очистки с использованием активных углей и некоторых других *сорбентов*, в частности синтетических высокопористых полимерных *адсорбентов*. Активные угли — это высокопористые адсорбенты с удельной поверхностью от 800 до 1500 м²/г. Сорбционное поглощение растворимых органических загрязнений активными

углями происходит в результате дисперсионных взаимодействий между ними и молекулами органических веществ. Они являются *гидрофобными веществами*, т. е. обладают сродством к гидрофобным молекулам органических веществ. Чем выше энергия гидратации адсорбата, тем хуже он извлекается из воды адсорбентом. Активные угли хорошо сорбируют такие гидрофобные соединения, как алифатические и ароматические углеводороды, их галоген- и нитрозамещенные соединения и значительно хуже — гидрофильные соединения, например низшие спирты, гликоли, глицерин, ацетон, низшие карбоновые кислоты и некоторые другие вещества.

Сорбционный метод очистки применяется при обработке 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 сорбционного метода постоянно расширяется. В настоящее время наиболее широко используются два основных режима сорбционной обработки сточных вод: *адсорбция в неподвижном слое* и *адсорбция в движущемся слое* сорбента. Выбор той или иной схемы очистки сточных вод с применением активного угля зависит от конкретных условий.

Сорбционный метод очистки сточных вод имеет ряд существенных преимуществ перед другими методами. Он обеспечивает высокую глубину очистки. Сорбционные 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.

Сорбционный метод очистки является одним из важных элементов систем глубокой *очистки сточных вод*.

Экономика процесса сорбционной очистки сточных вод в значительной степени определяется стоимостью сорбента, поэтому одним из главных направлений исследований и разработок в области сорбционной очистки является поиск новых, более дешевых сорбентов по сравнению с промышленными активными углями, получаемыми из различных видов природного орга

нического сырья (торфа, бурого и каменного угля, дерева, древесного угля, опилок, костей и др.), а также из шлама, образующегося в результате самого процесса очистки сточных вод.

Большие возможности повышения сорбционной способности активных углей кроются в модифицировании их поверхности. Так, предварительная обработка обычного активного угля щелочным раствором сульфида натрия позволяет придать ему способность поглощать ионы ртути из сточных вод.

Перспективность использования *синтетических сорбентов* для очистки сточных вод обусловлена рядом их существенных преимуществ перед активными углями, а именно:

1. Простотой регенерации с помощью некоторых полярных органических растворителей типа метанола, ацетона и других низкомолекулярных спиртов и кетонов, причем регенерацию можно проводить непосредственно в адсорбере. При этом отпадает необходимость в дорогостоящем оборудовании для регенерации, практически исключаются потери сорбента при регенерации и снижаются эксплуатационные затраты, особенно при относительно высоких концентрациях органических загрязнений в сточных водах.

2. Возможностью извлечения ценных веществ, содержащихся в сточных водах, с целью их дальнейшего использования. При термической регенерации активных углей такой возможности не существует.

3. Высокой механической прочностью, нестираемостью и ненабухаемостью в воде и органических растворителях.

4. Оптимальными с точки зрения кинетики адсорбции и гидродинамики фильтра размерами частиц сферической формы узкого фракционного состава (0,5—0,6 мм).

5. Более высокой скоростью адсорбции.

Эти преимущества синтетических сорбентов, несмотря на их высокую стоимость (в среднем они в 5 раз дороже гранулированных активных углей), как правило, снижают приведенные затраты на очистку сточных вод в сравнении с применением активных углей.

Синтетические сорбенты наиболее выгодно использовать для очистки высококонцентрированных промышленных сточных вод, в то время как для очистки городских и низкоконцентрированных промышленных сточных вод лучше использовать активированные угли.

Сорбционная очистка традиционно используется при обработке биохимически очищенных сточных вод. В последнее время предложено при очистке сточных вод, содержащих трудноокисляемые органические загрязнители (красители, нитрофенолы, хлорорганические вещества и др.), проводить сорбционную обработку перед биохимической очисткой. Это позволит избежать развития биомассы на угле и значительно повысить эффективность адсорбционного извлечения органических загрязнений из сточных вод, так как их концентрация станет более высокой.

Адсорбция широко применяется и при рекуперации растворителей.

Улавливание паров возможно любыми мелкопористыми адсорбентами: активными углями, силикагелями, алюмогелями, цеолитами, пористыми стеклами и т.п. Однако 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, с целью улавливания оксидов азота разработан метод их 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.

Адсорбционные установки. Процесс адсорбционной очистки сточной воды ведут при интенсивном перемешивании адсорбента с водой, при фильтровании воды через слой адсорбента или в псевдооживленном слое на установках периодического и непрерывного действия. При смешивании адсорбента с водой используют активный уголь в виде частиц размером 0,1 мм и меньше.

Статическая одноступенчатая адсорбция нашла применение в тех случаях, когда адсорбент очень дешев или является отходом производства.

Расход адсорбента для одноступенчатого процесса определяют из уравнения материального баланса:

$$m = Q(C_n - C_k)/a, \quad (4.43)$$

где m — расход адсорбента; Q — объем сточных вод; C_n и C_k — начальная и конечная концентрации загрязненной сточной воды; a — коэффициент адсорбции.

В динамических условиях процесс очистки проводят при фильтровании сточной воды через слой адсорбента. Скорость фильтрования зависит от концентрации растворенных веществ и колеблется от 2 до 6 м³/(м²·ч). Вода в колонне движется снизу вверх, заполняя все сечение. Адсорбент применяют в виде частиц размером 1,5—5 мм. При более мелких зернах возрастает сопротивление фильтрованию жидкости.

В одной колонне при неподвижном слое угля процесс очистки ведут периодически до проскока, а затем адсорбент выгружают и регенерируют.

Применяют *адсорберы* различных типов. В одноярусном цилиндрическом адсорбере активный уголь непрерывно поступает под распределительную решетку, диаметр отверстий которой равен 5—10 мм. Сточная вода захватывает зерна адсорбента и проходит вместе с ними через отверстия решетки. Над решеткой образуется псевдооживленный слой, в котором идет процесс очистки. Избыток угля поступает в сборник, а оттуда на регенерацию. Очищенную воду отводят через желоба в верхней части колонны. Уносимые частицы угля попадают в тот же сборник.

В одноярусном адсорбере с выносным смесителем уголь поступает в смеситель, снабженный лопастной мешалкой, вращающейся со скоростью 40—60 об/мин. Туда же подают сточную воду. Из смесителя суспензию угля с водой перекачивают песковым насосом в адсорбционную колонну.

Адсорбер может представлять собой бак, внутри которого имеется усеченная пирамида квадратного сечения. Суспензию угля с водой подают внутрь пирамиды, где возникает псевдооживленный слой. Избыток угля оседает в пространстве между стенками бака.

Более сложную конструкцию представляет собой трехъярусный

адсорбер с переливными трубками. Псевдооживленный слой возникает над тарелками (типа колпачковых). Ярусы соединены между собой коническими трубками. Широкая часть трубок выступает над тарелкой на высоту, соответствующую верхней границе псевдооживленного слоя, а узкий конец трубок погружен в нижний псевдооживленный слой. Сверху в колонну подают 15—20 %-ную угольную суспензию, а снизу — сточную воду. Избыток угля отводят в сборник.

Важнейшей стадией процесса адсорбционной очистки является регенерация активного угля. Адсорбированные вещества из угля извлекают десорбцией насыщенным и 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 углей может быть использована и экстракция (жидкофазная десорбция) органическими низкокипящими и легко перегоняющимися с водяным паром растворителями. При регенерации органическими растворителями (метанолом, бензолом, толуолом, дихлорэтаном и др.) процесс проводят при нагревании или без нагревания. По окончании десорбции остатки растворителей из угля удаляют острым паром или инертным газом. Для десорбции адсорбированных слабых органических электролитов их переводят в диссоциированную форму. При этом ионы переходят в раствор, заключенный в порах угля, откуда их вымывают горячей водой, раствором кислот (для удаления оснований) или раствором щелочей (для удаления кислот).

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 % (по массе) адсорбента.

Разрабатываются биологические методы регенерации углей, которые позволят значительно удлинить срок эксплуатации адсорбента.

При непрерывном процессе используют несколько колонн. По такой схеме две колонны работают последовательно, а третья отключена на регенерацию. При проскоке в средней колонне на регенерацию отключают первую колонну.

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).

В последнее время большое внимание уделяется непрерывно действующим установкам 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 и простотой обслуживания.

В промышленности в качестве адсорбента применяют также различные тканые и нетканые материалы на основе углеродных активных волокон, например установки с фильтрами, основу которых составляет активное угольное волокно, получаемое на базе целлюлозных волокон.

Преимущества использования активных углеродных волокон перед гранулированными активными углями:

- 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 даже с неподвижным слоем активных углеродных волокон.

4.7. Химические процессы переработки отходов

Химические процессы в ресурсосберегающих производствах имеют как самостоятельное значение для получения целевых продуктов основного химического производства, так и вспомогательное — для очистки газовых выбросов, сточных вод и твердых отходов.

Так, многие процессы утилизации твердых отходов основаны на использовании методов выщелачивания (экстрагирования), растворения и кристаллизации перерабатываемых материалов, в основе которых лежат физико-химические процессы.

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

Возможность растворения твердого вещества может быть оценена значением величины ΔG (изменения энергии Гиббса), определяемой соотношением

$$\Delta G = \Delta H_p - T \cdot \Delta S, \quad (4.44)$$

где ΔH_p — изменение энтальпии; ΔS — 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 C .

Процессы растворения осуществляют в аппаратах периодического действия разнообразных конструкций (при небольшой производительности — в стационарном слое твердых частиц или с перемешиванием) и непрерывного (во взвешенном слое или с перемешиванием). Для интенсификации растворения в ряде случаев используют наложение различных силовых полей.

Выщелачивание (экстрагирование) широко используется при переработке отвалов горнодобывающей промышленности, некоторых металлургических и топливных шлаков, пиритных огарков, древесных и многих других ВМР. Метод основан на извлечении одного или нескольких компонентов из комплексного твердого материала путем избирательного растворения в жидкости — *экстрагенте*.

В зависимости от характера физико-химических процессов, протекающих при выщелачивании, различают простое растворение и выщелачивание с химической реакцией.

В первом случае целевой компонент переводится в раствор в виде присутствующего в исходном материале соединения.

Во втором случае целевой компонент, находящийся в исходном материале в виде малорастворимого соединения, предварительно переводят в хорошо растворимое соединение.

При выборе экстрагента (растворителя) к нему предъявляют ряд требований в отношении селективности, величины коэффициентов распределения и диффузии, плотности, горючести, коррозионной активности, токсичности и ряда других показателей. На скорость выщелачивания влияют концентрация экстрагента, размер и пористость частиц отходов, интенсивность перемешивания, температура, наложение различных силовых полей (ультразвуковых, постоянных электрических, электромагнитных, высокочастотных, центробежных и других) и в некоторых случаях присутствие различных микроорганизмов (бактериальное выщелачивание).

Экстрагирование может быть периодическим и непрерывным. Периодический процесс проводят настаиванием, т. е. обработкой заданного экстрагентом материала в течение определенного времени с последующим сливом экстрагента и заменой его свежим. Более прогрессивное непрерывное экстрагирование проводят путем многоступенчатого контакта прямоточным, противоточным и комбинированным способами.

Используемые для реализации процесса экстракции аппараты характеризуются большим разнообразием конструкций. Экстракторы классифицируют по способу действия (периодические и непрерывно действующие), по направлению движения растворителя и твердой фазы (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 принципов.

Увеличения производительности непрерывнодействующих реакторов достигают, объединяя их в прямоточный каскад, что обеспечивает снижение выхода твердых частиц с малым временем пребывания.

Кристаллизация — это выделение твердой фазы в виде кристаллов из насыщенных растворов, расплавов или паров. Этот

метод имеет большое распространение при переработке различных жидких и твердых отходов. При использовании кристаллизации для переработки твердых отходов их сначала переводят в раствор.

Для оценки поведения растворов при их кристаллизации и выбора рационального способа проведения этого процесса используют диаграммы состояния растворов, выражающие зависимость растворимости соответствующих солей от температуры. Скорость процесса кристаллизации зависит от многих факторов (степени пересыщения раствора, температуры, интенсивности перемешивания, содержания примесей и др.) и изменяется во времени, проходя через максимум. Соотношение скоростей основных параллельных процессов возникновения зародышей кристаллов и их роста определяет величину суммарной поверхности зерен образующейся твердой фазы.

Создание необходимого для кристаллизации пересыщения раствора обеспечивают двумя основными приемами — охлаждением горячих насыщенных растворов (изогидрическая кристаллизация) и удалением части растворителя путем выпаривания (изотермическая кристаллизация) или их комбинацией (вакуумкристаллизация, фракционированная кристаллизация, кристаллизация с испарением растворителя в токе воздуха или другого газа-носителя). Наряду с ними иногда используют кристаллизацию высаливанием (введение 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, а также высокотемпературную (автоклавную) кристаллизацию, обеспечивающую возможность получения кристаллогидратов с минимальным содержанием кристаллизационной влаги.

Химические процессы широко используются при очистке сточных вод.

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 состояниях загрязнения адсорбируются на образующихся хлопьях и также удаляются. Эффективность химической очистки воды зависит от многих факторов, в частности от соотношения концентраций коагулянта, флокулянта и загрязнений, от интенсивности и времени перемешивания обрабатываемых сточных вод при контакте их с химикалиями, от рН среды и температуры, от 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.

Обычный и наиболее распространенный во всех странах 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 производство хлора.

Более перспективный метод обеззараживания сточных вод — *озонирование*. Этот метод используется не только для дезинфекции сточных вод, но также для окисления содержащихся в них загрязнений. По сравнению с хлорной известью, гипохлоритом и жидким хлором озон обладает тем преимуществом, что в большинстве случаев не ухудшает ионного состава сточных вод, которые могут быть использованы при оборотном водоснабжении. Озонирование еще более дорогой метод обработки, чем хлорирование, однако более высокие гигиенические свойства воды, обеспечиваемые озонированием и требуемые современными стандартами, способствуют дальнейшему расширению применения данного метода.

Для извлечения меди из сложных по составу сточных вод, в которых отсутствуют комплексообразователи, можно использовать следующие ионообменные смолы (по убыванию обменной емкости): амфолиты, среднещелочные аниониты и карбоксильные катиониты. Цинк сорбируется лучше всего аминокарбоксильными амфотерными ионообменными смолами и сульфокатионитами. Среднещелочные аниониты практически не сорбируют ионы цинка. При совместной сорбции двух и более металлов обменная емкость ионообменных смол по каждому иону соответственно

снижается, однако суммарная обменная емкость остается практически неизменной для каждого заданного значения рН среды. При оптимальных условиях степень извлечения меди и цинка из сточных вод достигает 95 % при остаточном содержании их в сточных водах 5 мг/л. Ионообменные смолы регенерируют от меди и цинка растворами минеральных кислот, их солями либо сильными хелатообразующими веществами, которые дают с ионами прочные несорбируемые комплексы.

Использование рециркуляции для повышения эффективности химических процессов. 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.

С введением рециклов в технологическую схему решается ряд важных технологических задач:

- ✦ наиболее полно используются исходные компоненты (для реакторов с неполным превращением);
- ✦ исключаются вредные выбросы в окружающую среду;
- ✦ рекуперируется энергия системы (например, используется тепло реакции для подогрева исходных реагентов);
- ✦ создаются оптимальные технологические режимы (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 полно используются катализаторы и инертные растворители, в присутствии которых протекает химическое превращение.

Следует отметить, что с помощью рециклов 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 рециклы, свободно оперируя со скоростью и составом потока, направляют реакцию в желаемую сторону в максимально возможной степени.

Таким образом, введение рецикла может быть использовано как для целей интенсификации технологического режима внутри реактора, так и для создания схем с наиболее полным использованием сырья и энергии.

Сжигание отходов — это 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. Если газообразные продукты процесса сжигания отходов содержат повышенные концентрации вредных примесей, то для снижения их выбросов в атмосферу до требуемых стандартами норм необходима вторичная обработка, включающая дожигание, промывку или фильтрацию продуктов сгорания.

Степень полноты окисления отходов зависит в основном от воспламеняемости отходов, времени нахождения их в печи, температуры пламени и турбулентности в реакционной зоне. Процесс сжигания применим в основном к органическим отходам, но его можно использовать и для разложения некоторых неорганических отходов. Воспламеняемость отходов характеризуется пределами воспламеняемости, температурой вспышки и температурами воспламенения и самовоспламенения. Чем ниже эти величины, тем меньше требуемая температура процесса сжигания и избыток кислорода.

Преимуществом любого вида сжигания является возможность удаления всех органических соединений и во многих случаях извлечения из токсичных химических веществ отдельных компонентов с целью их вторичного использования или окончательного сброса в отвал. Основным недостатком этого метода заключается в дополнительном расходе топлива, стоимость которого составляет значительную часть расходов на утилизацию. Поэтому органические отходы делят на две основные группы: *горючие* (поддерживающие устойчивое горение без добавок топлива) и *негорючие* (для поддержания горения которых требуется дополнительное топливо).

Более подробно процессы термической утилизации отходов изложены в гл. 5.

4.8. Биохимические процессы

Биохимические процессы наиболее сложны, поскольку подчиняются законам биологической кинетики, т.е. временным закономерностям, протекающим в живой природе.

При рассмотрении биокинетики можно выделить четыре подсистемы: биохимическую, биофизическую, микробиологическую и популяционную.

Биохимическая подсистема характеризуется скоростями биохимических реакций; *биофизическая* — описывается закономерностями протекания физических явлений в живых организмах (например, диффузия макромолекул через полупроницаемую мембрану, механизм фотосинтеза, электрокинетические явления); *микробиологическая* — рассматривает количественные закономерности роста бактерий; *популяционная* — описывает количественные закономерности изменений числа особей в популяциях.

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 антогонизма).

В основе биохимических процессов лежат сложные химические реакции различного типа в зависимости от содержащихся в воде веществ и видов бактерий. В процессе биохимических реакций происходит трансформация содержащихся в воде органических веществ.

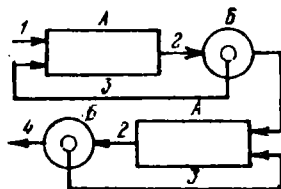
Направление и скорость трансформации зависят от температуры, поверхностей раздела, биологических и химических катализаторов и ингибиторов, рН среды и ее газового состава, состава и состояния микробиологического сообщества и др. Трансформирующиеся органические вещества могут находиться в виде истинно 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.

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

Высокая концентрация загрязнений в промышленных сточных водах, наличие трудноокисляемых, а в ряде случаев и токсичных соединений, нестабильность их объема обусловили применение многоступенчатых систем биологической очистки, основным элементом которых является аэротенк (рис. 4.14).

Рис. 4.14. Схема двухступенчатой очистки сточной воды:

A — аэротенк; *B* — вторичный отстойник;
 1 — поступающая сточная вода; 2 — иловая смесь;
 3 — возвратный ил; 4 — сброс сточной воды



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*.

Для обеспечения эффективной работы окситенков требуется автоматическое управление технологическим процессом. Экспериментальные исследования и данные по эксплуатации установок показывают, что применение кислорода обеспечивает:

- значительную экономию 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 (от 0,25 до 1 МПа).

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.

Более высокие технико-экономические показатели окситенков по сравнению с аэротенками обусловлены тем, что при их использовании значительно сокращается время очистки, а следовательно, объем окситенков может быть уменьшен. Кроме того, сокращается прирост избыточного активного ила и улучшаются характеристики его соединения и обезвоживания, что способствует снижению расходов на обработку осадков.

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.

При очистке нефтесодержащих и некоторых других видов сточных вод в закрытых окситенках выделяющиеся в процессе окисления углеводороды могут накапливаться во взрывоопасных концентрациях. Во избежание нежелательных последствий поддержание определенного газового режима должно быть автоматизировано.

В закрытых окситенках это достигается подачей определенного количества кислорода и соответствующим отводом отработанного газа.

В открытых окситенках управление газовым режимом сводится к дозированной подаче кислорода, обеспечивающей его оптимальную концентрацию в жидкости.

Необходимым условием обеспечения безопасности и эффективности является контроль за заданным технологическим режимом. Основными параметрами регулирования, используемыми для построения систем автоматического управления процессом, являются концентрация кислорода в газовой или жидкой фазах, давление газа, концентрация взрывоопасных газов и содержание активного ила.

Контрольные вопросы

1. Перечислите типовые процессы, лежащие в основе переработки отходов.
2. Какие существуют способы измельчения отходов? Расскажите об основных типах промышленных измельчителей.
3. Какие существуют схемы дробления и измельчения отходов?
4. Какие существуют способы сортировки отходов с использованием гравитационных сил?
5. Расскажите о методах агрегирования порошкообразных, пастообразных и других отходов.
6. Какие методы обогащения применяют при переработке отходов?
7. Расскажите об особенностях гравитационных, магнитных и электрических методов.
8. Какие гидродинамические процессы используют при переработке отходов?
9. Какие гравитационные методы используют при переработке отходов?
10. В чем отличие гравитационных методов разделения от центробежных? Каково устройство гидроциклона?
11. Что такое флотационные методы сепарации отходов?
12. Что такое центробежная сепарация?
13. Что такое фильтрация? Какие виды оборудования применяют для фильтрации?
14. Какую роль играют теплообменные процессы при переработке отходов?
15. Что такое сорбционные методы очистки сточных вод? Как осуществляется адсорбция паров летучих растворителей? Опишите схему работы адсорберов.
16. Какие Вам известны природные и синтетические сорбенты? В чем состоят преимущества синтетических сорбентов? Как осуществляется регенерация адсорбентов?
17. Приведите примеры использования экстрагирования, растворения и кристаллизации при сепарации отходов.
18. Какие используются химические и физико-химические методы при очистке сточных вод?
19. Какие химические процессы происходят при сжигании отходов?
20. Что такое биохимические методы переработки отходов? Как осуществляется биохимическая очистка сточных вод с использованием аэротенков и окситенков?

Г Л А В А 5

ТЕРМИЧЕСКИЕ СПОСОБЫ ПЕРЕРАБОТКИ ОТХОДОВ

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

5.1. 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 глубиной окисления органической части осадка. Эта величина 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. 5.1. 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.

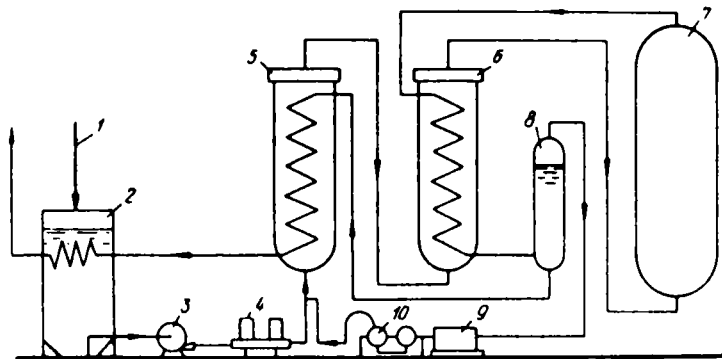


Рис. 5.1. Технологическая схема процесса жидкофазного окисления: 1 — подача исходного осадка; 2 — приемный резервуар; 3 — питательный насос; 4 — насос высокого давления; 5, 6 — теплообменники; 7 — реактор; 8 — сепаратор; 9 — турбина; 10 — компрессор

Для окисления на 50 % необходима температура ~ 200 °С, на 70 % и более — около 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 ниже температуры самовоспламенения горючих составляющих отходов. Процесс протекает при температуре 200—300 °С, что значительно ниже температуры, требуемой для полного обезвреживания газообразных отходов при прямом сжигании 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 максимально снизить температуру начала процесса окисления. В термokatалитических реакторах успешно окисляются оксид углерода, водород, углеводороды, аммиак, фенолы, альдегиды, кетоны и другие соединения. При этих реакциях образуются CO_2 , H_2O , N_2 . Степень окисления достигает 99,9 %. Для увеличения удельной поверхности катализаторов и экономии дорогостоящих металлов применяют керамические пористые носители. На рис. 5.2 представлены схемы термokatалитических реакторов.

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 газообразных отходов с высокой концентрацией горючих компонентов нецелесообразно. Разбавление газообразных отходов воздухом или дымовыми газами с целью снижения адиабатического разогрева приводит к увеличению расхода катализаторов и других затрат на обезвреживание. Отвод избыточного тепла из слоя катализатора существенно усложняет конструкцию и эксплуатацию термokatалитических реакторов.

Термokatалитические реакторы не следует применять при большом содержании пыли и водяных паров в газообразных отходах ввиду дезактивации катализаторов. Каталитическое окисление неприменимо также для обезвреживания отходов, содержащих высококипящие или высокомолекулярные соединения, вследствие неполного их окисления и забивания поверхности катализатора. Многие химические элементы (P, Pb, As, Hg, S, галогены и их

в атмосферу

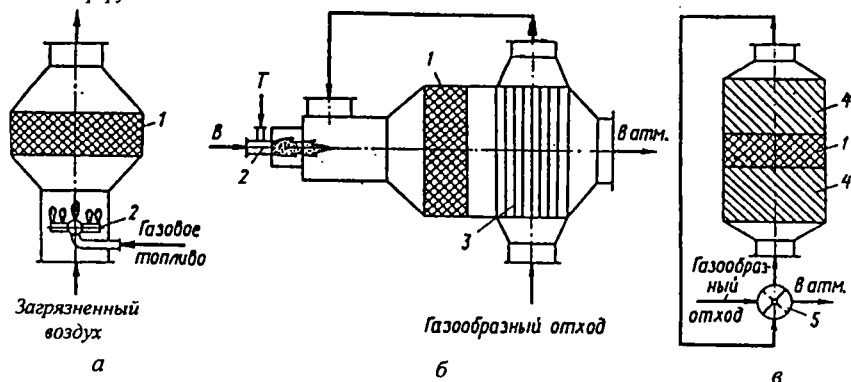


Рис. 5.2. Схемы термокаталитических реакторов:

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

соединения и др.) даже в очень малых концентрациях могут вызывать отравление катализаторов, поэтому каталитическое окисление нельзя применять при обезвреживании газообразных отходов, в которых они содержатся.

Разновидностью термокаталитического окисления является парофазное каталитическое окисление, которое состоит из двух процессов: перевода органических отходов, содержащихся в сточной воде, в парогазовую фазу и последующего каталитического окисления их в каталитическом реакторе. Для перевода летучих органических веществ, содержащихся в сточной воде, 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 горячего 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 могут быть использованы 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/м³. Такой газ непригоден для транспортировки и может быть использован только на месте производства. При парокислородной газификации получают газ с теплотой сгорания до 16 МДж/м³. Его можно транспортировать на значительные расстояния.

Процесс газификации пригоден для переработки дробленых сыпучих газопроницаемых отходов. Пастообразные крупнобаритные отходы не могут перерабатываться этим способом.

Пиролиз отходов (или сухая перегонка) заключается в термическом разложении отходов без доступа воздуха. 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 взаимосвязаны и протекают одновременно с тем лишь различием, что каждая из них преобладает в определенном интервале температур. Общую схему пиролиза можно представить следующим образом:

тв. отходы + $Q \rightarrow$ тв. остаток + жидк. продукты + газы + Q_1 ,

где Q и Q_1 — дополнительное и вторичное 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, или полукоксование. Процесс проводят при 450—550 °С с образованием максимальных количеств жидкого продукта и твердого остатка (полукокса) и минимальным выходом пиролизного газа. Газ, образующийся при низкотемпературном пиролизе, обладает максимальной теплотой сгорания;

среднетемпературный пиролиз, или среднетемпературное коксование. Процесс 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, или коксование. Процесс проводят при 900—1050 °С. При этой температуре выход жидкого и твердого продукта минимален, а выход пиролизного газа максимален, но такой газ имеет самую низкую теплоту сгорания.

Примером низкотемпературного пиролиза может служить разработанный фирмой “Монсанто” (США) метод термической обработки мусора “Ландгард” (рис. 5.3). Метод осуществляется во вращающейся печи при недостаточном доступе кислорода.

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

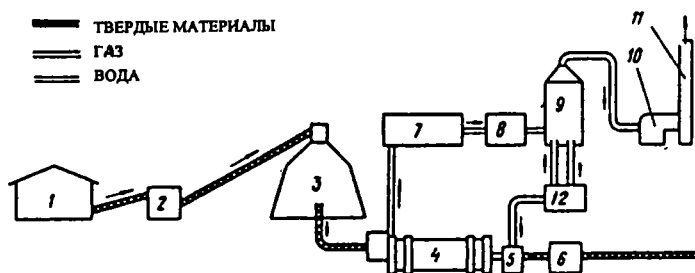


Рис. 5.3. Технологическая схема “Ландгард”

футерована огнестойким материалом и установлена с небольшим наклоном, благодаря чему измельченные отходы в ней легко перемещаются, при этом часть горючих составляющих сгорает.

Отходы, подлежащие пиролизу, движутся противотоком по отношению к обогревающим газам. Процесс эндотермичен, и для его осуществления подводится дополнительное топливо.

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 стеклосодержащее 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.

Установка производительностью 35 т/сут, работающая по этой технологии, построена в Балтиморе (США).

Высокотемпературный пиролиз имеет ряд преимуществ. В частности, он 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.

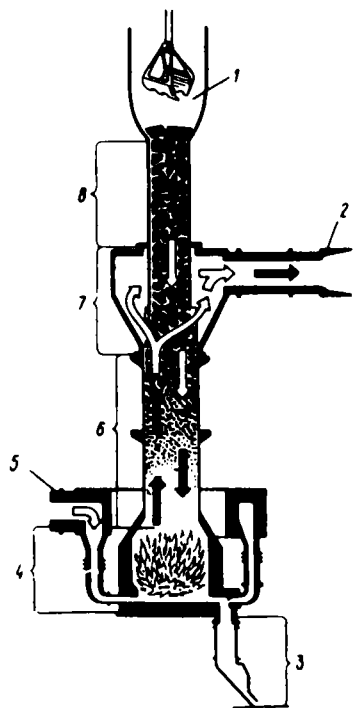
Важнейшей частью пиролитической установки является реактор, один из типов которого напоминает шахтную печь (рис. 5.4). Высота такого реактора составляет 15 м, внутренний диаметр 3 м. Реактор способен переработать в течение суток 300 т отходов. Отходы периодически загружаются в верхнюю часть реактора и под собственным весом проходят вниз через три зоны: сушки, пиролиза, сгорания и плавления. Горючие газы из зоны сгорания проходят вверх сквозь слой отходов и отдают тепло в зонах сушки и пиролиза. В зоне сушки происходит испарение влаги, содержащейся в отходах. Поступающие сверху отходы препятствуют подосу воздуха через загрузочное отверстие. Под зоной сушки расположена зона пиролиза, где высушенные отходы без доступа воздуха разлагаются с образованием горючего газа, углерода и

инертного материала. Горючие газы поднимаются вверх и попадают в кольцеобразный 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/м³. Часть энергии получаемого газа используется для подогрева воздуха, подаваемого в зону сгорания реактора. Остальная энергия передается

Рис. 5.4. Реактор высокотемпературного пиролиза:

1 — загрузка отходов; 2 — кольцеобразный канал; 3 — удаление и охлаждение шлака; 4 — зона сжигания и плавления; 5 — подача горячего воздуха в зону горения; 6 — зона пиролиза; 7 — зона сушки; 8 — отходы



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 теплотворной способностью, трудностями аккумуляции и хранения пиролизного газа он не может собираться и транспортироваться 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, образовавшийся 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 реакторах. 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 псевдоожиженным слоем, вращающиеся барабанные) в качестве теплоносителя используют газы, нагретые до 600—900 °С и химически не реагирующие с отходами (инертные и горючие газы, не содержащие кислорода). Наиболее целесообразно в качестве теплоносителя использовать рециркулирующий пиролизный газ. При этом исключается разбавление продуктов пиролизного газа и ухудшение его качества.

В реакторах с внутренним обогревом в связи с применением газообразных теплоносителей повышается запыленность пиролизного газа. В то же время внутренний обогрев конвекцией позволяет существенно интенсифицировать процесс пиролиза и сократить габариты реакторов по сравнению с установками с внешним обогревом.

5.2. Плазменный способ утилизации отходов

Плазмохимическую технологию используют для переработки высокотоксичных жидких и газообразных отходов. При этом происходит не только обезвреживание опасных отходов, но и производство ценных товарных продуктов. 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 %.

Высокие затраты энергии и сложность проблем, связанных с плазмохимической технологией, определяют ее применение для ликвидации только тех отходов, огневое обезвреживание которых не удовлетворяет экологическим требованиям.

Перспективно применение плазменного метода для переработки отходов в восстановительной среде с целью получения ценных товарных продуктов. В нашей стране, например, 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. 5.5. Плазмообразующий газ (водород, азотоводородная смесь и др.) нагревается электрической 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 отхо-

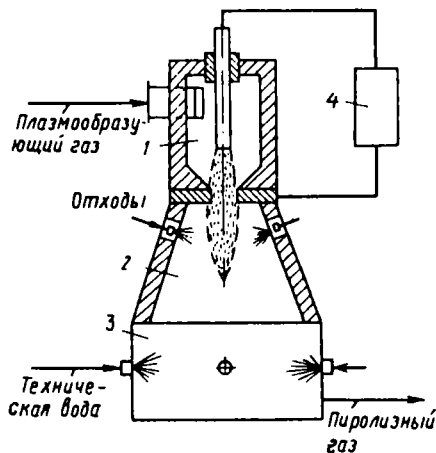


Рис. 5.5. Схема плазменного агрегата:

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

дов 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 при синтезе хлорорганических продуктов. Процесс является замкнутым, безотходным и рентабельным. Себестоимость получаемых продуктов является сравнительно низкой за счет использования не утилизируемых отходов.

Представляет интерес использование плазменной технологии для утилизации фреонов, являющихся 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.

5.3. Сжигание отходов

Огневой способ обезвреживания и переработки отходов является наиболее универсальным, надежным и эффективным по сравнению с другими. Во многих случаях он является единственно возможным способом обезвреживания промышленных и бытовых отходов. Способ применяется для утилизации отходов в любом физическом состоянии: жидких, твердых, газообразных и пастообразных. Наряду с сжиганием горючих отходов огневую обработку используют и для утилизации негорючих отходов. В этом случае отходы подвергают воздействию высокотемпературных (более $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$) продуктов сгорания топлива.

Сжиганием называется контролируемый процесс окисления твердых, жидких или газообразных горючих отходов. При горении образуются диоксид углерода, вода и зола. Сера и азот, содержащиеся в отходах, образуют при сжигании различные оксиды, а хлор восстанавливается до HCl . Помимо упомянутых газообразных продуктов при сжигании отходов образуются и твердые частицы — металлы, стекло, шлаки и др., которые требуют дальнейшей утилизации или захоронения.

Этот способ характеризуется высокой санитарно-гигиенической эффективностью. Область применения огневого способа и номенклатура отходов, подлежащих огневому обезвреживанию, постоянно расширяются. К ним относятся 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.

Способом сжигания можно обезвреживать 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 сжигании такого материала молекулы органических соединений разрушаются, а неорганические соединения превращаются в оксиды и карбонаты, которые выводятся из зоны сжигания вместе со шлаками и золой. Мелкодисперсные частицы оксидов и карбонатов, содержащиеся в топочных газах, улавливаются в мокрых скрубберах.

Одним из наиболее опасных отходов, основным методом переработки которых служит сжигание, являются галогенорганические отходы. Фтористые и бромистые отходы менее распространены, но их обрабатывают тем же способом, что и хлорсодержащие материалы. Хлорированные органические материалы могут содержать водную фазу или определенное количество воды. Отходы с высоким содержанием хлора имеют низкую теплоту сгорания, так как хлор, аналогично бром и фтору, препятствует процессу горения.

Оптимальное проведение процесса сжигания зависит от соблюдения технологических параметров: температуры в огневом реакторе, удельной нагрузки, рабочего объема реактора, дисперсности распыления, аэродинамической структуры и степени турбулентности газового потока в реакторе и др.

Сжигание производят 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 состоит из пяти стадий, которые, как правило, протекают последовательно, но могут проходить и одно временно. Это — 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.

Летучие газы, проходя по топке, попадают в *зону воспламенения* и загораются при 250 °С. Распространение горения увеличивается при росте плотности и объема газового потока. После воспламенения летучие компоненты сгорают, причем дополнительный подвод тепла уже не требуется. Важно, чтобы “постель” (слой) сжигаемого материала была равномерной и имела нужную высоту. Учитывая, что отходы обычно засыпают в устройство для сжигания слоями высотой 100—120 см и что их объем сразу же уменьшается, нужно так проводить засыпку, чтобы всегда обеспечивалась равномерная плотность и необходимая высота слоя отходов, предназначенных для сжигания.

В *зоне сгорания* повышается температура отходов. Для полного их сгорания и охлаждения колосников в этой зоне необходим подвод достаточного количества воздуха, причем необходимо, 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 охлаждение раскаленного шлака воздухом или водой до 250—350 °С.

В процессе сгорания 1 т твердых отходов в среднем образуется до 4000 м³ 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. Бытовые отходы представляют собой смесь различных отходов 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 — от 5 до 70 %;
- ♦ зольность — от 10 до 95 %;
- ♦ теплотворная способность — от 0 до 41800 кДж/кг.

В общем виде, когда не известна природа промышленных отходов, можно считать, что они состоят из:

- твердых веществ со средней теплотворной способностью 10800 кДж/кг,
- полутвердых веществ со средней теплотворной способностью 14600 кДж/кг,
- жидких веществ со средней теплотворной способностью 25000 кДж/кг.

Промышленные отходы перед сжиганием должны пройти ряд подготовительных операций: дробление, гомогенизацию, дегидратацию и др.

Существует большое разнообразие установок для сжигания отходов. Типичная технологическая схема сжигания отходов с использованием трубчатой печи представлена на рис. 5.6.

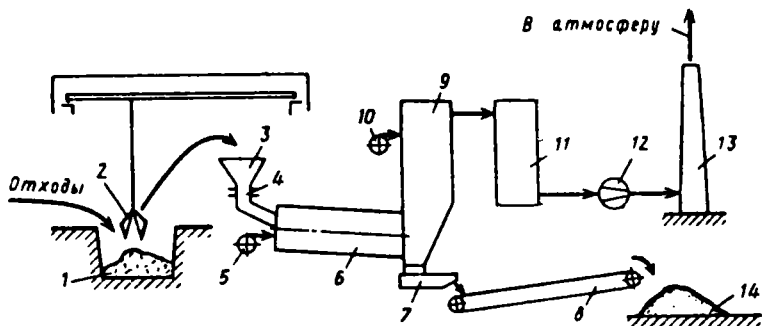


Рис. 5.6. Схема установки термического обезвреживания твердых отходов

Отходы из бункера-накопителя 1 грейферным захватом 2 через загрузочную воронку 3 и бункер 4 подают во вращающуюся печь 6. Пуск печи в работу производят при помощи запального устройства 5. Продукты сжигания из установленной с уклоном 2—5 градусов печи поступают в камеру дожигания 9, где обезвреживаются при температуре выше 800 °С в пламени горелки 10. Дымососом 12 их затем транспортируют через охладительное устройство 11 (котел-утилизатор, водопогреватель и т. п.) и выбрасывают через дымовую трубу 13 в атмосферу. Образующуюся золу (4—6 % от массы отходов) из сборника 7 транспортером 8 передают на склад 14. Золу можно использовать в качестве наполнителя при производстве строительных материалов.

В табл. 5.1 приведены параметры процесса сжигания отходов в некоторых печах.

Таблица 5.1

Параметры процессов сжигания отходов в установках различного типа

Тип установки	Температура, °С	Время пребывания отходов в печи
Многоподовая печь	315—538 *1 760—980 *2	0,25—1,5 ч
Печь с топкой кипящего слоя	760—980	Φ_c *3
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	Φ_c *3
Установка с жидкофазным окислением	150—290 *4	10—30 мин
Печь сжигания в расплаве солей	815—980	0,75 с
Многокамерная печь	815—980	Несколько секунд (для газов) Несколько минут (для твердых отходов)
Пиролизная установка	480—815	12—15 мин

*1 Зона сушки, *2 Зона сгорания, *3 Φ_c — время определяется фазовым состоянием, *4 Избыточное давление 10МПа

Установки для сжигания отходов могут быть систематизированы по производительности, по конструкции решетки, по характеру использования продуктов сгорания, по типу применяемого топлива, по виду сжигаемых отходов.

Конструкция колосниковой решетки играет очень важную роль, поскольку она должна обеспечивать: транспортировку топлива к потоку; равномерное горение и максимальное использование всей поверхности решетки; подвод воздуха для горения; поддержку и перемещение горящих отходов.

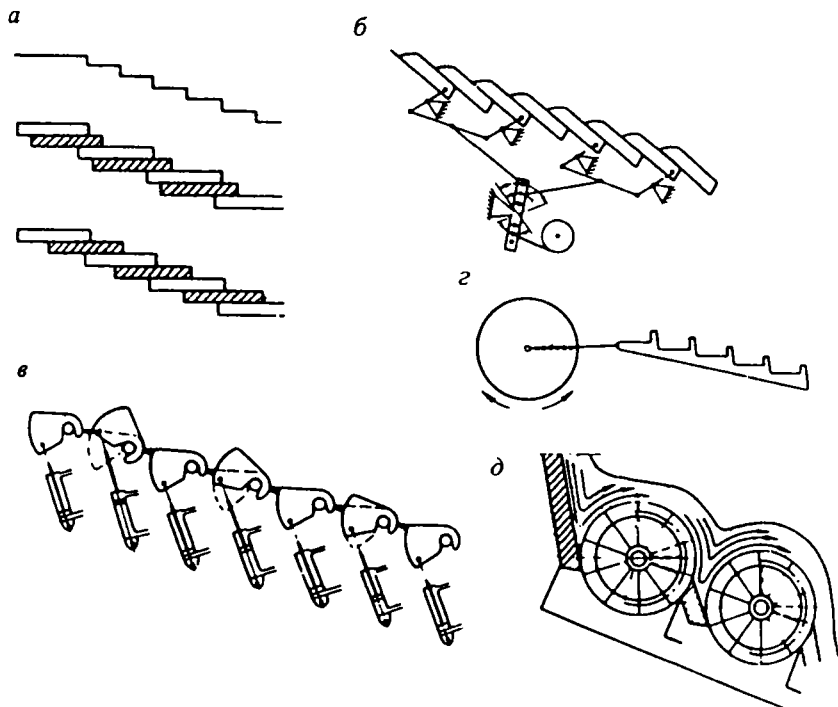


Рис. 5.7. Схемы наклонных колосниковых решеток:

- а — наклонно-переталкивающая; б — обратно-переталкивающая;
- в — опрокидывающая; г — желобовая; д — валковая

Решетки для сжигания различаются по способу перемещения твердых отходов: с неподвижным слоем (неподвижные решетки), с непрерывно двигающимся слоем (цепные решетки) и с прерывистым перемещением слоя (обратно-переталкивающие решетки). На рис. 5.7 представлены схемы наклонных колосниковых решеток.

Существуют также ротационные топки, которые пригодны для сжигания не только твердых, но и жидких отходов, ярусные топки (топки цилиндрической формы, разделенные на ряд этажей и загружаемые сверху) и топки с кипящим слоем.

Любая топка должна быть оснащена устройством для стабилизации горения. Стабилизация горения достигается сжиганием стабилизационного топлива для прогрева топки, воспламенения отходов и при необходимости компенсации недостаточной теплотворной способности отходов. Наиболее 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.

Охлаждение продуктов сгорания. Температура в топке должна быть в интервале 800—1000 °С. Нижняя граница определяется необходимостью наиболее полного сгорания отходов, а верхняя — температурой плавления шлака (850—1450 °С). При повышении температуры в печи до этих значений происходит плавление шлака и зашлаковывание колосниковой решетки.

Очистка продуктов сгорания. С целью предотвращения загрязнения окружающей среды топочные газы необходимо подвергать очистке, которая может осуществляться сухим, мокрым и электростатическими способами или их комбинацией.

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.

Основным узлом устройства для сухой очистки является вихревой элемент, который образован одним или несколькими циклонами.

Мокрая очистка газов используется в основном при сжигании химических отходов, когда в процессе сжигания образуются вещества, которые нужно связать водой.

Электростатическая очистка дымовых газов основана на том, что противоположно заряженные частицы притягиваются. С этой целью коронным разрядом, который создается постоянным током высокого напряжения на одном электроде, заряжаются частицы пыли или тумана, находящиеся в дымовых газах, что заставляет их двигаться к противоположному электроду (осадительному). Эффективность сепарации определяется напряженностью электрического поля. Для достижения максимальной эффективности необходимо поддерживать напряжение вблизи границы пробивного напряжения, ни в коем случае не достигая его, так как при этом будет пробой поля.

Достоинствами электрических фильтров являются: высокая надежность и эффективность (до 99,98 %); простота регулирования процесса фильтрации и универсальность по отношению к различным материалам.

Кроме того, скорость фильтрации зависит от электропроводности пыли. При высокой электропроводности фильтрация затруднена.

После сжигания отходов остаются твердые частицы, объем которых составляет от 6 до 11 % от исходного объема отходов. Эти частицы состоят из золы, металла, осколков стекла, керамики и шлака. С гигиенической точки зрения твердые остатки после сжигания абсолютно безвредны и если не могут по каким-либо причинам быть утилизированы, то подлежат захоронению.

5.4. Промышленные установки для сжигания отходов

В настоящее время существует большое разнообразие установок для сжигания отходов. Уже освоены установки третьего поколения, которые отличают:

- наличие промывки дымовых газов с целью снижения токсичных газообразных выбросов, особенно когда в процессе сжигания образуются HCl и HF;
- целенаправленная утилизация тепла;
- конструктивные решения топки, позволяющие сжигать отходы с высокой теплотворной способностью, что достигается воздушным охлаждением боковых стенок, интенсификацией воздушного потока (вторичного, а иногда и третичного), что позволяет избежать шлакообразования;

▪ широкая автоматизация и централизация контроля всего процесса, включая утилизацию тепла;

▪ более высокая степень защиты окружающей среды.

Современные заводы по сжиганию отходов производят немецкие фирмы “Крефельд”, “Вуперталь”, “Бремерхафель” и др. В табл. 5.2 приведены основные характеристики завода фирмы “Крефельд”.

Экологические показатели работы такого завода приведены в табл. 5.3.

Большой опыт конструирования, изготовления и эксплуатации установок для сжигания отходов имеется в Чехии, где они выпускаются предприятием “ЧКД Дукла”. Это предприятие

Таблица 5.2

**Характеристики работы мусоросжигающего завода
фирмы “Крефельд” (Германия)**

Характеристика	Значение
Количество смен	3
Количество агрегатов	2
Установленная мощность по сжиганию, т/сут	2×240
Тип решетки	Валковая
Способ утилизации тепла	Производство пара
Способ очистки дымовых газов	Электрический фильтр
Сжигаемые отходы	Бытовые и промышленные
Допустимый интервал теплотворной способности отходов, кДж/кг	3760—10500
Объем дымовых газов на выходе, м ³ /ч	85500
Производительность котлов, т/ч	2×24
Мощность турбин, МВт	2×1,4
Параметры пара на выходе из котла:	
температура, °С	375
давление, МПа	2,3
Температура питательной воды, °С	140
Теплопроизводительность растопочной и добавочной горелок, ГДж/ч	12,6
Полезный объем приемных бункеров, м ³	6000
Площадь застройки, включая вспомогательные объекты, м ²	3520

Таблица 5.3

**Экологические показатели работы мусоросжигательного
завода фирмы “Крефельд” (Германия)**

Параметры	Значения
Содержание золы и шлака, %	≤ 1
Содержание в отходящих газах:	
пыли, г/м ³	$\leq 0,03$
оксидов серы, м ³ /ч	$\leq 3,0$
хлористого водорода, %	$\leq 0,00001$
оксидов азота, %	$\leq 0,000015$
Сточные воды	Отсутствуют
Уровень шума	Не превышает фона

поставило в СССР в первой половине 80-х годов 55 заводов по сжиганию мусора производительностью 60 т отходов в 1 ч.

Отечественная промышленность освоила производство нескольких видов батарейных печей для сжигания мусора. Наибольшей эффективностью обладает 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-, газоочистки.

В Москве в настоящее время построено три современных мусоросжигательных завода, которые перерабатывают небольшое количество образующихся твердых бытовых и некоторых промышленных отходов. Наряду с уничтожением отходов заводы производят товарную продукцию.

Между тем в Российской Федерации ежегодно образуется более 20 млн. т не утилизируемых твердых промышленных отходов, которые либо складываются на территориях предприятий, либо бесконтрольно сбрасываются в канализационные сети, овраги, на полигоны бытовых отходов и т. д.

Энерготехнологическое использование теплоты 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 теплоты отходящих газов, которое 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 теплоты отходящих газов 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 теплоты 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. 5.8).

В установках с внешним энергетическим теплоиспользованием при температуре 180—200 °С обеспечивается высокая степень использования теплоты сгорания топлива и отходов. КПД таких установок достигает 85—90 %. Энерготехнологические установки с котлами-утилизаторами и воздухоподогревателями широко применяются при сжигании промышленных отходов.

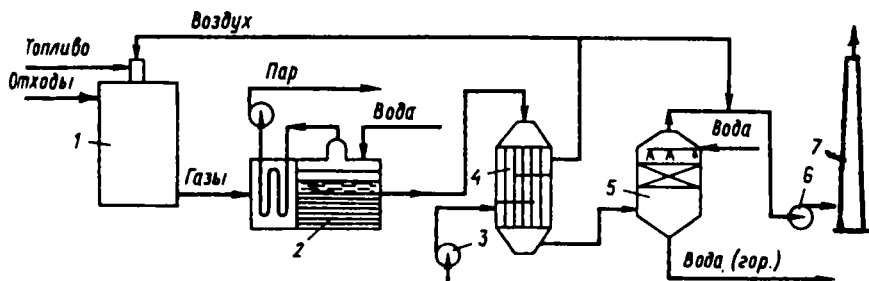


Рис. 5.8. Схема установки для сжигания отходов с утилизацией тепла отходящих газов:

1 — реактор; 2 — конвективный котел-утилизатор; 3 — воздуходувка;
4 — конвективный воздухоподогреватель; 5 — контактный теплообменник;
6 — дымосос; 7 — дымовая труба

Контрольные вопросы

1. Какие существуют термические методы утилизации отходов?
2. Приведите технологическую схему жидкофазного окисления.
3. Как производят каталитическое окисление отходов?
4. Как перерабатывают твердые отходы методом газификации? Что такое генераторные газы и как их используют?
5. Какие известны виды пиролиза? Приведите технологическую схему пиролизической установки отходов.
6. Что такое плазменная технология обезвреживания высокотоксичных отходов? Как работает плазменный агрегат?
7. В чем состоят преимущества огневого метода утилизации отходов? Какие параметры влияют на эффективность сжигания отходов?
8. Как производится подготовка отходов к сжиганию?
9. Какие существуют стадии процесса сжигания отходов?
10. Какие Вы знаете виды колосниковых решеток? Какие печи используют для сжигания отходов?
11. Какие меры защиты окружающей среды используют при сжигании отходов?
12. Как работает электрофильтр?
13. Дайте характеристику промышленных установок для сжигания отходов.
14. Как используют тепло отходящих газов при сжигании отходов?

ГЛАВА 6

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 захороняется значительная часть отходов, которые можно было бы при достигнутом уровне технологии переработать с большой пользой для общества.

6.1. 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 обосновывается технико-экономическими расчетами.

В странах ЕЭС полигоны для захоронения отходов подразделяются на полигоны для опасных отходов, полигоны для бытовых отходов и полигоны для 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.

В соответствии с действующими у нас в стране строительными нормами (СНиП 2.01.28-85) 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 должны сортироваться, измельчаться и накапливаться по видам. Это позволяет сократить их объем и использовать для захоронения более удаленные полигоны.

Полигоны размещаются на участках со слабо фильтрующими 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 облицовочный 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 будущих 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. 6.1) используют для размещения бытового и строительного мусора, а также промышленных отходов с точно учтенным небольшим содержанием токсичных компонентов.

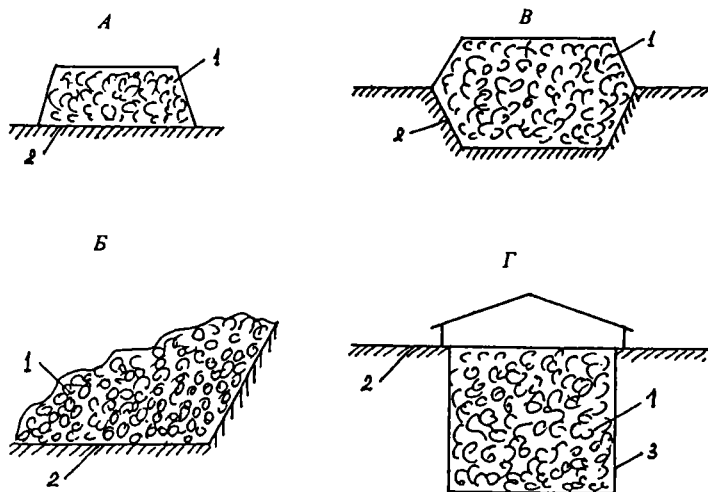


Рис. 6.1. Виды наземных захоронений отходов:

А — отвальный тип захоронения; Б — захоронение на склонах; В — захоронение в котлованах; Г — захоронение в подземном бункере; 1 — отходы; 2 — гидроизоляция; 3 — бетон

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;
- ♦ имеется хороший контроль за состоянием дренажных систем.

Недостатки захоронений *отвального типа* состоят в:

- сложности оценки устойчивости откосов, особенно при большой высоте захоронения;
- высоких сдвиговых напряжениях на основании откосов;

- необходимости использования специальных строительных конструкций для повышения устойчивости захоронения;
- создании эстетической нагрузки на ландшафт.

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.

Укладка отходов 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 исключения проблем, связанных с последующим оседанием 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 компактирования отходов зависит от используемого оборудования, природы отходов и способа их размещения. Для компактирования отходов применяют обычные дорожные машины, такие как бульдозеры на гусеничном ходу, а также специальные тяжелые компакторы со стальными зубчатыми колесами. Использование компакторов позволяет уплотнять тело захоронения до $0,7\text{--}0,8 \text{ т/м}^3$.

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 может явиться следствием 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 выгодным является 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 теле захоронения 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 глуболежащими 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 необходимых 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.

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 $\text{pH} = 5-10$ и температуре $10-40$ °С, неспособность отходов к взрыву, самовозгоранию, выделению ядовитых газов, интенсивному пылению. Их влажность должна быть не более 85 %. Не допускаются к захоронению на полигонах бытовых отходов такие промышленные отходы, которые способны к самовозгоранию за счет химических реакций в толще скла-

дируемой массы или выделяют пары и газы, образующие с воздухом или газами полигона взрывоопасные или ядовитые смеси.

Одним из самых современных у нас в стране полигонов для захоронения и обработки промышленных отходов является опытный полигон "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, имеют 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. 6.2.

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 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 дальность 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.

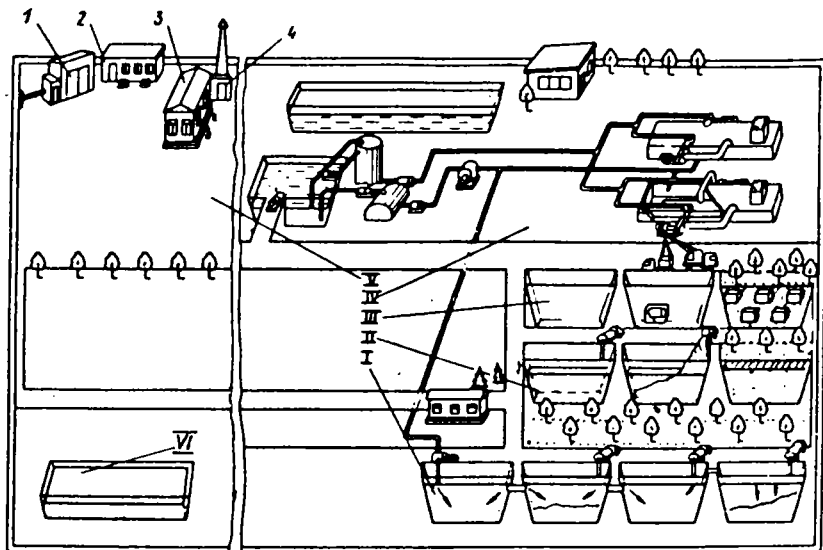


Рис. 6.2. Схема полигона "Красный Бор" для обработки и захоронения промышленных отходов:

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

6.2. Использование биогаза из захоронения отходов

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

Обычно этот газ содержит 60 % метана, а также азот и углекислый газ. Кроме того, в нем могут содержаться и другие вещества, наносящие урон окружающей среде: сероводород и галогенсодержащие углеводороды. Энергетический потенциал биогаза составляет 21 МДж/м³. При наличии непроницаемого верхнего

сложения 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 отводится путем отсоса 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 соединения с всасывающим трубопроводом, 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.

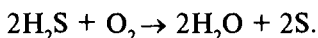
В наиболее простом случае газы могут собираться и направляться по трубопроводам потребителю в качестве топлива вместо других источников энергии.

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 КПД газовых турбин 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 активированный уголь. В первой — он играет роль катализатора превращения сероводорода в элементарную серу. Процесс протекает по реакции:



Остаточное содержание сероводорода после прохождения газом первой стадии очистки равно 5 мг/м³.

Активированный уголь, на котором осаждается элементарная сера, периодически заменяется на свежий.

На второй стадии активированный уголь играет роль адсорбента.

По достижении емкости насыщения активированный уголь со второй стадии восстанавливается путем десорбции адсорбированных галогенсодержащих углеводородов. Десорбция производится с помощью пара, нагретого до температуры 130°C, паро-газовая смесь конденсируется, а конденсат утилизируется.

Для выработки 1 МВт энергии необходима подача биогаза в количестве 525 м³/ч. Считают, что одна скважина дает 80 м³/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 понижение.

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. м³ газа в год, или 6868 м³/ч. Полный ресурс мощности такой свалки составил 13,1 МВт.

С 1983 г. фирма "Блю Серкл" (США) применяет газ из хранилищ отходов для обжига цемента.

Другое хранилище, "Стоун" (США), имеет площадь 40 га, объем полости 10 млн. м³, глубину от 25 до 45 м. Продуктивность хранилища 7500 м³ 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.

Таким образом, к настоящему времени накоплен значительный практический опыт по использованию биогаза из хранилищ мусора и отходов. В нашей стране таких установок нет, что помимо упускаемой экономической выгоды приводит к загрязнению газом окружающей среды.

6.3. Захоронение отходов в море

Одним из методов захоронения промышленных отходов является сброс их в море. Следует сразу отметить, что такому захоронению подлежат только твердые инертные 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. Стоимость названных способов захоронения отличается в десятки раз. Наиболее высокая стоимость у трубопроводной технологии сброса отходов в море, но даже она вдвое ниже стоимости утилизации отходов путем сжигания.

Конечно, захоронение отходов в море является экономически нецелесообразным в случае значительного удаления (более 1000 км) источника образования отходов от морского побережья.

Окисляющая и динамическая способность вод мирового океана позволяет рассеивать и перерабатывать большое количество органических и минеральных отходов.

Однако способность океана к переработке отходов не бесконечна, а потому требует ограниченного применения такого захоронения отходов.

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 сбросами 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.

Контрольные вопросы

1. Какие основные инженерные сооружения входят в полигон для захоронения отходов?
2. Каковы отличительные особенности наземных захоронений отходов?
3. Что такое устойчивость тела захоронения и каковы причины оседания его основания?
4. Что такое биогаз? Из чего он состоит, как осуществляется его сбор? Каковы направления его использования?
5. Какие факторы влияют на генерирование биогаза из отходов?
6. Как производится очистка биогаза от токсичных составляющих?
7. Каковы особенности захоронения отходов в море?

ГЛАВА 7

ПЕРЕРАБОТКА ОТХОДОВ МЕТАЛЛОВ

Металл является важнейшим конструкционным материалом. Несмотря на расширение использования новых материалов (полимеров, керамики и др.), металл остается вещественной основой всех средств труда — машин, инструментов, приборов и др. Со временем орудия труда, машины приходят в негодность и не могут быть использованы по прямому назначению. После окончания срока службы в качестве конструкционного материала различных объектов, старый металл используют уже в новом качестве в виде вторичного металлургического сырья, подвергаемого регенерации. Регенерация металла, закончившего срок службы, является начальным моментом нового цикла его кругооборота.

7.1. 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 первичного 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 м³ газа. При этом экономится более половины энергии, необходимой на выплавку металлов из руды (табл. 7.1).

При использовании металлолома для выплавки металлов значительно снижается нагрузка на окружающую среду (табл. 7. 2).

Поскольку металлы являются важнейшим конструкционным материалом и применяются во всех отраслях промышленности,

Таблица 7.1

**Экономия энергии при использовании металлолома вместо
вылавки металла из руды**

Металл	Экономия энергии, %
Алюминий	95
Медь	83
Сталь	74
Свинец	64
Цинк	60

Таблица 7.2

**Сравнительное воздействие на окружающую среду производства
1000 т стали**

Факторы, влияющие на окружающую среду	Вылавка стали из		Экономия, %
	руды	отходов	
Использование первичного сырья, т	2278	250	90
Расход воды, м ³	62750	32600	40
Количество веществ, загрязня- ющих атмосферу, т	121	17	86
Отходы горнопромышленных разработок, т	2828	63	97

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 военным, судовым, бытовым и бесхозным.

Военный металлолом состоит из предметов военной техники, военно-технического имущества и боеприпасов.

Судовой металлолом состоит из плавучих средств и их оборудования.

Бытовой металлолом состоит из предметов и деталей бытовой техники и бытовых машин.

Металлическая стружка — отходы, образующиеся при резании металла (кроме кусковых отходов).

Скрап — зашлакованные отходы черных металлов. Скрап может быть стальным и чугунным. Стальной скрап — мелкие стальные частицы, образующиеся при разбрызгивании стали во время ее транспортировки и разлива в изложницы, а также остывшая сталь на стенках и дне разливочного ковша. Максимально возможное использование скрапа при выплавке стали зависит от способа производства стали (табл. 7.3).

Т а б л и ц а 7.3

Объем применения скрапа при выплавке стали

Способ производства стали	Объем применения скрапа, %
Мартеновская печь	70—80
Бессемеровский конвертер	20
Кислородный конвертер	50—60
Электропечь	98

Основное количество вторичных черных металлов образуется при их производстве, а также при амортизации оборудования (табл. 7.4).

Амортизационный лом образуется от ликвидации основных средств, при капитальном и текущем ремонте оборудования, при 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, затем в судостроении, станкостроении, приборостроении и других отраслях экономики.

Т а б л и ц а 7.4

Источники образования отходов и лома черных металлов

Источники	Объем образования, %
Производство металла	45
Амортизация оборудования	33
Металлообработка	20
Шлаковые отходы	2

Степень использования металла при изготовлении изделий, возведении сооружений и других объектов называется коэффициентом использования металла (КИМ). КИМ (K) определяют по уравнению:

$$K = Q_1 / Q, \quad (7.1)$$

где Q — количество использованного металла; Q_1 — количество металла, перешедшего в состав нового изделия.

Средний коэффициент использования металла в российской экономике составляет 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 раскросе 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 снижении, 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. Наиболее крупные поставщики лома и отходов цветных металлов — предприятия электротехнической, металлургической, автомобильной и судостроительной отраслей промышленности .

Выработка 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 (табл. 7.5). 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.

Т а б л и ц а 7.5

Доля вторичных цветных металлов в общем балансе

Металл	Россия	Страны ЕЭС
Алюминий	20	35
Медь	30	35
Свинец	23	50
Цинк	18	37

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 т. ч. 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 алюми-

ниевый 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. его высокую экологическую культуру.

Преимущества получения цветных металлов из отходов по сравнению с их получением из рудного сырья характеризуются данными, приведенными в табл. 7.6.

Таблица 7.6

Сравнение основных показателей производства цветных металлов из рудного (числитель) и вторичного (знаменатель) сырья

Показатели	Металлы		
	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 ³ /т	30/5	40/4	20/5

7.2. Классификация металлических отходов

Большое количество 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 состав, 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 рассортировывать их, достигая 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*.

Далее 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 легируемых сталей (группы Б1—Б61) и 6 групп лома и отходов легируемых чугунов (группы Б62—Б67). Помимо этого есть группа легируемых сталей, которые по своему химсоставу 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, т. к. 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, т. к. печи более удобны для загрузки. Производительность таких печей больше зависит от его химической однородности и близости по составу к выплавляемым маркам стали.

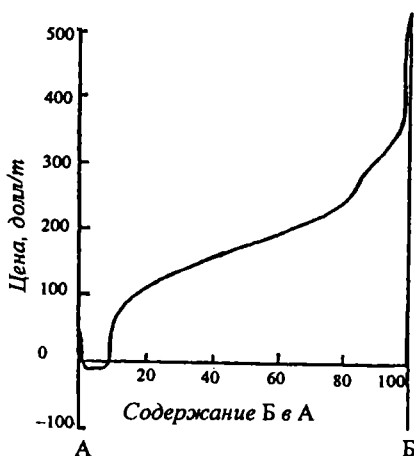
Литейное производство предъявляет высокие требования и к габаритам и к химическому составу лома. Низкокачественный лом используется только в доменном производстве.

Металлолом для сталеплавильного производства должен иметь насыпную плотность не менее 1300—1500 кг/м³. Тяжеловесный металлолом в зависимости от интенсивности продувки печи должен иметь толщину кусков не более 250—350 мм, размеры пакетов не должны превышать 1050×750×2000 мм, а масса пакетов не должна быть менее 40 кг. Конвертерный способ не допускает переплава стружки из-за ее высокого угара.

В дуговых электропечах может переплавляться металлолом в виде пакетов с размерами не более 500×500×600 мм с насыпной плотностью не менее 2500 кг/м³. Дробленый лом должен иметь насыпную плотность не менее 800—900 кг/м³.

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. 7.1), 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.



Группы подразделяют 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

Рис. 7.1. Влияние меди на ценность отходов черных металлов

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 заготавливаемых лома и отходов представлена титаном, никелем, магнием, оловом, вольфрамом, кадмием, кобальтом, молибденом, ртутью или их сплавами.

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

7.3. Технология и оборудование для подготовки металлолома к переплаву

Для использования в различных металлургических агрегатах металлоломом 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 проведению контроля, 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 производится *видовая сортировка*. 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); по клеймам маркировки деталей и изделий по ГОСТ, ТУ или заводской марке; результатам химического, спектрального, рентгеновского, радиационного анализа.

Сортировка отходов цветных металлов в цехах, на базах и площадках производится на сортировочных столах, конвейерах или конвейерных линиях, где сочетаются ручная и механизированная сортировки. При ручной сортировке механизмируют вспомогательные операции: транспортирование, классификацию для выделения примесей и другие.

Для идентификации вида отходов сортировщик использует приборы или визуальный контроль.

Наиболее часто применяют стилоскопы СЛ-11А, СЛ-12 "Спектр" и другие приборы спектрального анализа. Кроме того, используют рентгеновские анализаторы КРАБ-ЗУМ и БАРС-3.

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

Механизированный стол (рис. 7.2) применяется для сортировки лома и отходов крупностью до 250 мм. Исходный материал краном загружается в приемный бункер 1 стола и цепями, укрепленными в нижней части бункера, равномерно выгружается на вращающийся на опорных роликах 2 стол 3. По окружности стола укреплены лотки 5, в которые сбрасывается рассортированный материал. Материал движется из-за давления лома, находящегося в бункере, и вращения стола. При попадании крупногабаритного лома бункер поднимается винтом, приводимым во вращение электроприводом 4.

Обработка крупнокускового лома цветных металлов с выделением железных включений производится на сортировочной линии, изображенной на рис. 7.3.

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

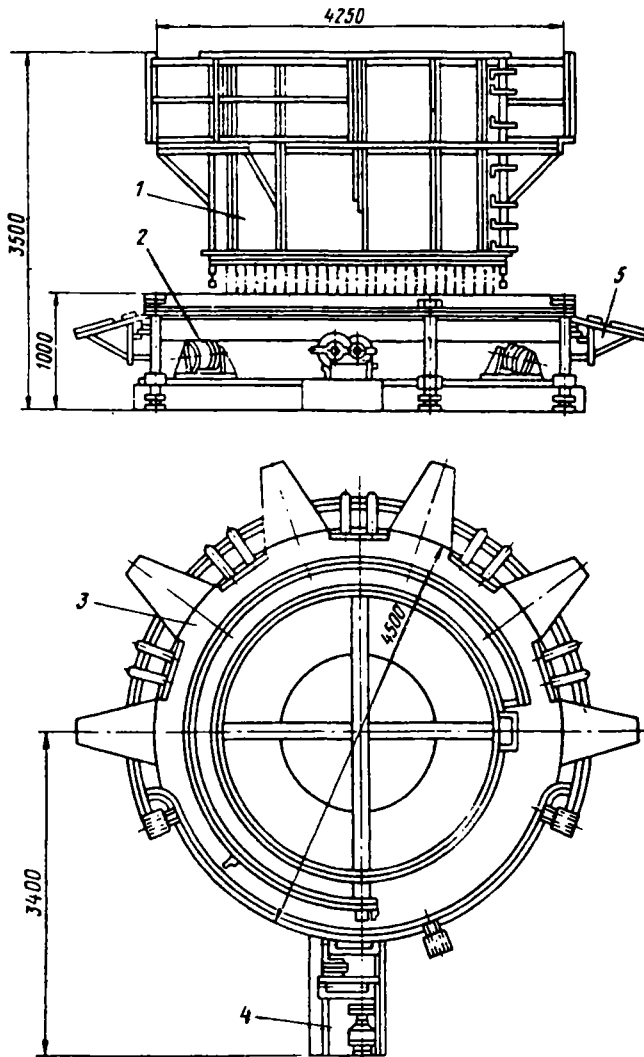


Рис. 7.2. Механизированный стол для сортировки лома и отходов

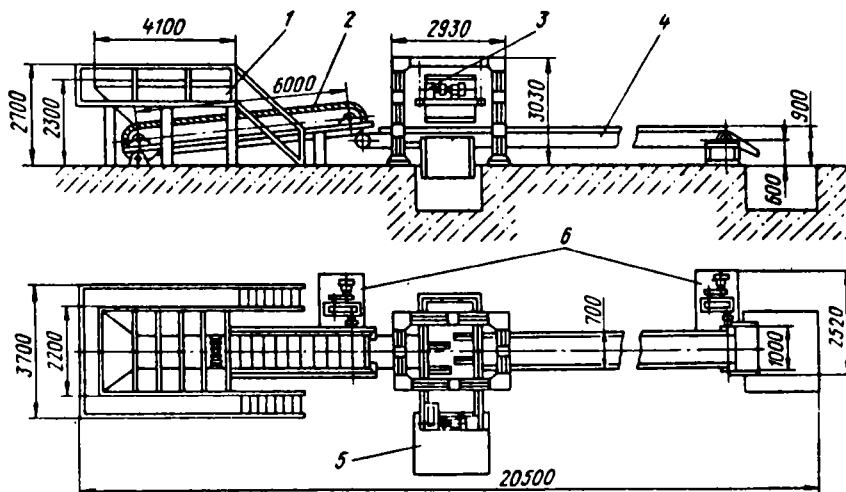


Рис. 7.3. Сортировочная линия лома и отходов

листовой обрести, выштамповки, проволоки, бытового лома, металлоконструкций и т.п.

Для пакетирования металлолома используют пакетировочные прессы отечественного производства. 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 приводит к снижению потерь металла на угар в процессе последующей плавки.

Модель прессы и его рабочие характеристики определяют допустимую толщину листа металлолома и параметры пакетов спрессованного лома. Процесс включает следующие операции: загрузку лома в пресс; прессование в различных направлениях; складирование полуфабрикатов (пакетов). Пресс обслуживают кранами, грузоподъемными электромагнитами и другой механизированной техникой. Отечественная промышленность выпускает гидравлические прессы мощностью от 1 до 31,5 МН. Характеристики некоторых из них приведены в табл. 7.7.

Таблица 7.7

**Технические характеристики некоторых моделей
пакетировочных прессов**

Характеристика	Модель пресса		
	Б 1642	Б 1638	Б 1334
Максимальная толщина прессуемого металлолома (сталь с $\sigma_{в} = 450$ МПа), мм	12	8	4
Усилие прессования, МН	16	6,3	2,5
<i>Габариты пакета (не более), м:</i>			
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
<i>Габариты пресса, мм:</i>			
длина	18700	15100	9000
ширина	18600	11930	5350
высота	5870	4675	2780
Масса пресса, т	598	230	71,5

На рис. 7.4 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. 7.5). Пресс-ножницы могут работать как в режиме прессования, так и

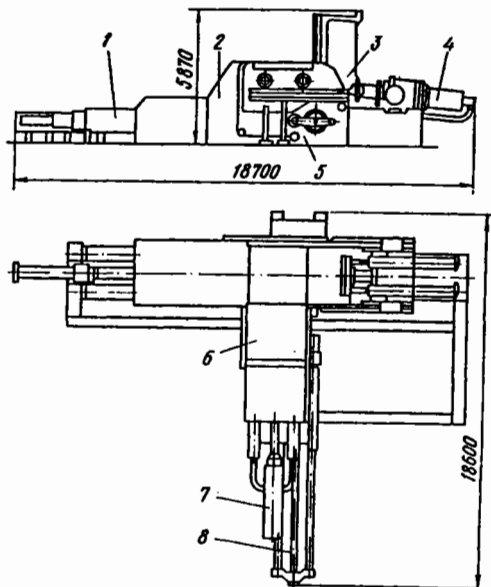


Рис. 7.4. Пакетировочный гидравлический пресс Б 1642

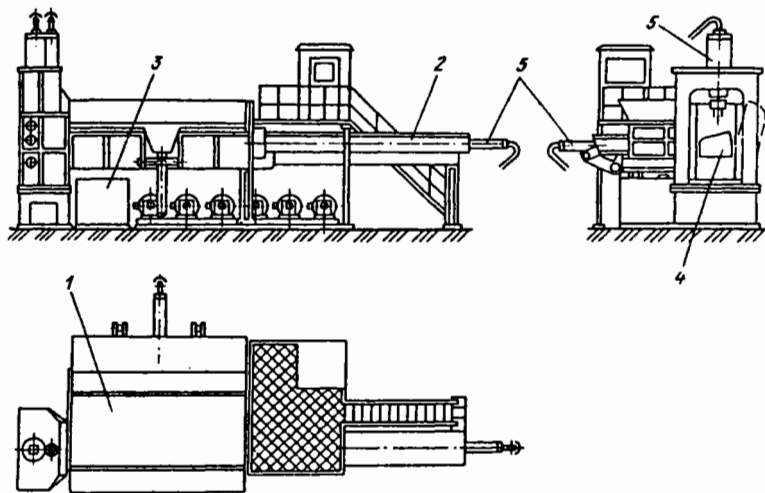


Рис. 7.5. Пресс-ножницы гидравлические:

1 — загрузочная камера; 2 — узел подачи материала; 3 — маслостанция;
4 — нож; 5 — гидроцилиндры

в режиме резки. 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 резки поперечная стенка камеры, являющаяся ножевой балкой, поднимается, металлолом с помощью механизма подачи перемещается под ножи, прижимается вертикально перемещающимся штемпелем механиз-

Таблица 7.8
Характеристики пресс-ножниц для переработки металлолома

Характеристика	Модель	
	H0838	K10.3.36.01
<i>Усилие, МН:</i>		
окончательного прессования	6,3	4,0
резания	6,3	4,0
<i>Размеры загрузочной камеры, мм:</i>		
длина	6000	4800
ширина	3650	2500
высота	1800	1300
Толщина пакетируемого лома, мм	< 8	< 6
<i>Размеры пакета (не более) мм:</i>		
длина	1000	760
ширина	500	500
высота	500	500
Масса пакета, кг	<625	<600
<i>Максимальное сечение лома, разрезаемого за 1 ход ножа (при $\sigma_{\text{в}} 450 \text{ МПа}$), мм:</i>		
диаметр круга	150	110
лист	70×1300	55×750
Установленная мощность электродвигателя, кВт	405	189
Масса пресс-ножниц, т	345	136
<i>Габаритные размеры пресс-ножниц, мм:</i>		
длина	17800	12600
ширина	13000	3200
высота	7800	4700

ма предварительного прессования 5. Резка осуществляется механическим реза 7, работающего от гидропривода 8.

В табл. 7.8 приведены характеристики некоторых типов прессовых ножиц.

Для окускования металлической стружки применяется брикетирование с помощью брикетировочных прессов, характеристики которых приведены в табл. 7.9.

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

Т а б л и ц а 7.9

Характеристика брикетировочных прессов

Характеристика	Модель пресса			
	Б 6241	Б 6238	Б 653	Б 234
Усилие пресса, МН	12,5	6,3	4,0	2,5
<i>Максимальные размеры брикета, мм:</i>				
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
<i>Габариты пресса, мм:</i>				
длина	12500	5150	6260	3780
ширина	3500	3300	3640	1720
высота	4000	2800	3113	1930

Пресс модели Б 6238 для брикетирования стружки показан на рис. 7.6.

Резка металлолома применяется для уменьшения габаритов металлолома. Процесс 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

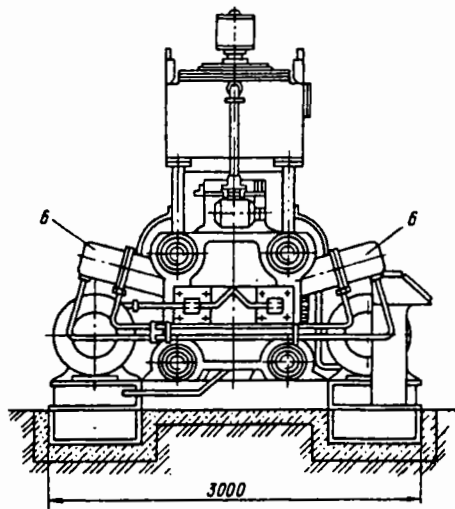
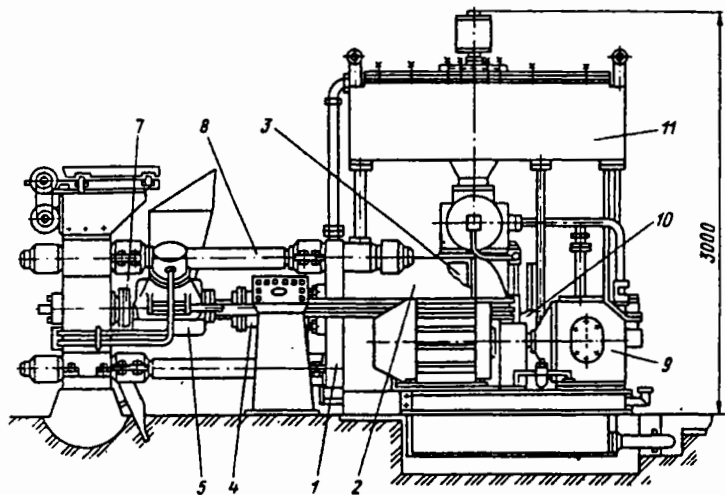


Рис. 7.6. Пресс модели Б 6238 для брикетирования стружки: 1 — станина; 2 — главный цилиндр; 3 — поршень; 4 — штампель; 5 — контейнер; 6 — трамбовка; 7 — матрица; 8 — стяжные шпильки; 9 — масляный насос; 10 — вспомогательный цилиндр; 11 — масляный бак

(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.

Для резки стального проката, труб, армированных стальной кабелей и другого аналогичного металлолома применяются аллигаторные (рычажные) ножницы с усилием резания от 3,15 до 10 МН. В табл. 7.10 приведены характеристики некоторых аллигаторных ножниц.

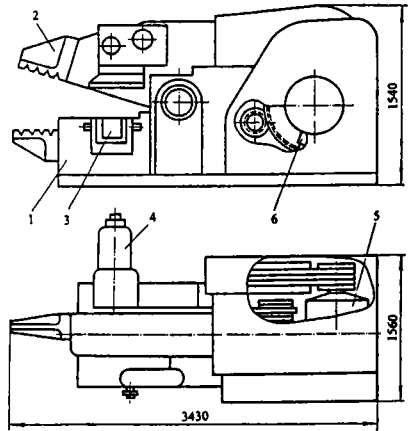
Таблица 7.10
Характеристики аллигаторных ножниц

Характеристика	Модель ножниц		
	H2228	H2230	H2231
<i>Максимальное сечение разрезаемого лома за 1 ход</i>			
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
<i>Габариты ножниц, мм:</i>			
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 изображено на рис. 7.7

Аллигаторные ножницы состоят из подвижной и неподвижной

Рис. 7.7. Схематическое устройство аллигаторных (рычажных) ножниц модели Н2230:
1 — станина; 2 — челюсть; 3 — ролик; 4 — опора; 5 — привод; 6 — предохранительное устройство



ной челюстей, на которых крепятся ножи, механизма регулирования зазора, опоры, кривошипно-шатунного механизма, прижимного устройства, привода и предохранительного устройства.

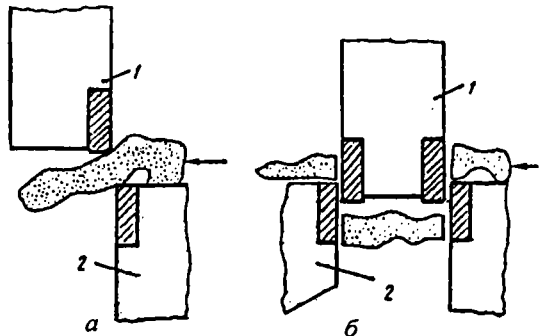
Механический привод состоит из маховика, клиноременной и зубчатой передач.

Кривошипно-шатунный механизм преобразует вращательное движение коленвала в качательное движение подвижной челюсти. Прижимное устройство предназначено для удержания разрезаемого металлолома в процессе резки. Ролик служит для подачи металлолома на резку под нож.

Представляют интерес передвижные (на колесном шасси) аллигаторные ножницы с гидравлическим приводом.

Более совершенны гидравлические (гилютинные) ножницы. В различных конструкциях гилютинных ножниц применяются схемы режущей части, изображенные на рис. 7.8.

Рис. 7.8. Конструктивные схемы режущей части гилютинных ножниц:
а — с одним срезом; б — с двумя срезами; 1 — подвижный нож; 2 — неподвижный нож



При использовании конструкции с одним режущим ножом (а) 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 (б) за одно движение подвижного ножа 1 получаются два среза, а необходимость в прижатии разрезаемого лома к станине отпадает.

Гидравлические ножницы (рис. 7.9) представляют собой агрегат, состоящий из станины, загрузочного и подающего устройств, механизмов прижима и реза, гидро- и электропривода. Конструкция ножниц позволяет резать металлолом порциями, объем которых определяется емкостью загрузочного устройства. Процесс переработки металлолома на гидравлических ножницах состоит из следующих операций: подготовки лома (отборки кусков, не подлежащих резке); загрузки лома в ножницы; резки лома; сортировки нарезанных кусков по габаритам. Ножницы работают совместно с мостовым краном, оборудованным полингрейфером или электромагнитом.

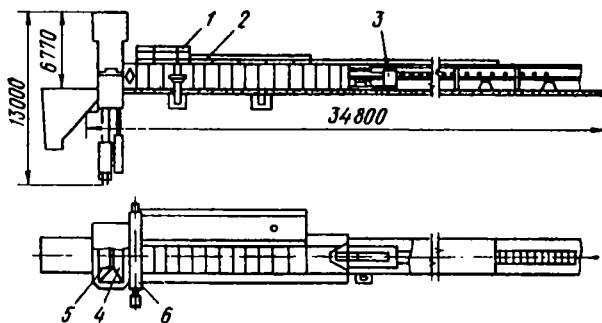


Рис. 7.9. Гидравлические (гильотинные) ножницы модели Н0340

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. Величина хода ползуна механизма подачи регулируется с пульта управления. Перед срабатыванием режущих ножиц 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 грузочный короб заполняется следующей порцией металлолома. Для облегчения процесса резки грузочный желоб гидравлических ножиц оборудован крышкой, кроме того, ножницы снабжены механизмом предварительного смятия металлолома б.

Технические характеристики некоторых различных моделей гидравлических (гильотинных) ножиц представлены в табл. 7.11.

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

В зависимости от вида режущего инструмента различают пилы дисковые и ножовочные. Дисковые пилы применяются с подвижным (салазковые и маятниковые) и стационарно установленным вращающимся диском (рис. 7.10).

У салазковых пил привод диска расположен на подвижной раме с направляющими (салазками). Жесткость направляющих станины и самих салазок исключает боковое биение диска, что является основным достоинством этих пил.

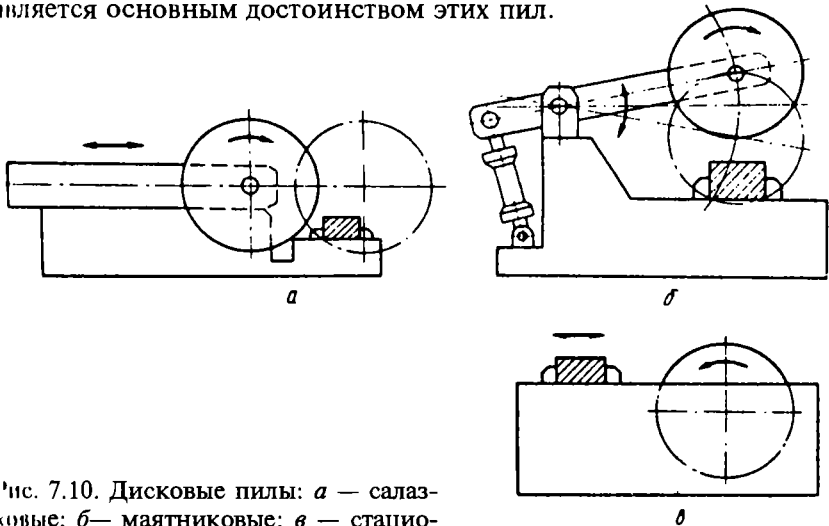


Рис. 7.10. Дисковые пилы: а — салазковые; б — маятниковые; в — стационарные

Техническая характеристика некоторых гидравлических ножниц

Характеристика	Модель ножниц		
	НБ0340	Н0340	Н2335
<i>Максимальное сечение разрезаемого лома за 1 ход (сталь с $\sigma_{в} = 450$ МПа):</i>			
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
<i>Усилие, МН:</i>			
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, 1/мин	2	2	5
<i>Размеры желоба, мм:</i>			
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
<i>Габариты ножниц, мм:</i>			
длина	23150	34800	13000
ширина	12000	8600	3300
высота	8800	13000	5810
Масса ножниц, т	400	459	80

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.

На пилах со стационарно установленным диском отходы при резке подаются под вращающийся диск.

Дробление вьюнообразной стальной стружки осуществляется на стружкодробильном агрегате (рис. 7.11). Стружка загружается с помощью крана порциями по 200—300 кг в разрывное устройство, где происходит ее разрыхление и предварительное дробление

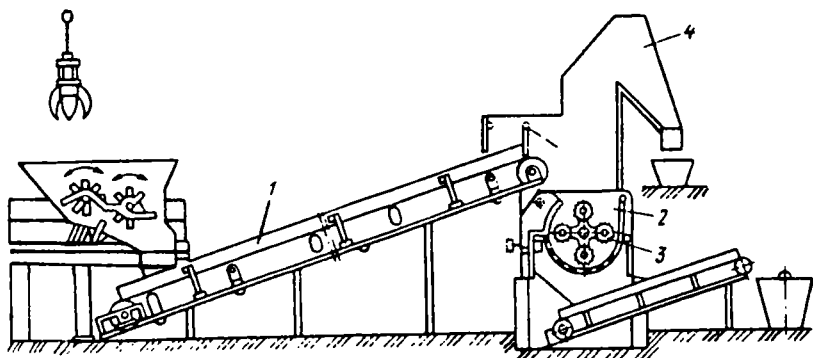


Рис. 7.11. Стружкодробильный агрегат модели СДА-7:

1 — ленточный транспортер; 2 — молотковая дробилка; 3 — молоток; 4 — ловушка

После этого стружка с помощью ленточного транспортера 1 подается в молотковую дробилку 2, а оттуда дробленая стружка с помощью другого транспортера подается в сборочный контейнер.

Иногда 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 цветных металлов получили распространение молотковые, роторные, ножевые, щечковые и виброщечковые, 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 — не измельчаются. 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) (-100) — (-120) °С. Для более низкого (криогенного) охлаждения отходов используют жидкий азот.

Удельная себестоимость получения холода достаточно высока, особенно при использовании жидкого азота. Для снижения затрат на охлаждение отходов используют последовательное применение ТХМ и жидкого азота.

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. 7.12. Схематически копровые установки различных типов показаны на рис. 7.12, 7.13.

Т а б л и ц а 7.12

Характеристики копровых установок для дробления стального лома

Характеристика	Тип установки		
	эстакадный	башенный	
		стационарный	передвижной
Масса копровой бабы, т	15	10	0,75—1,0
Производительность, т/ч	3—8	2—5	2—3
Высота подъема копровой бабы, м	33,5	17	7,7
Скорость передвижения копра, м/мин	43	35	14
Скорость подъема копровой бабы, м/мин	36,6	22,9	21,0

Рис. 7.12. 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

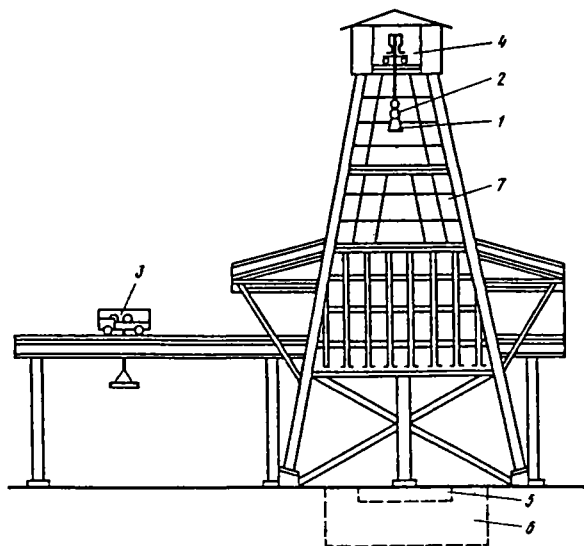
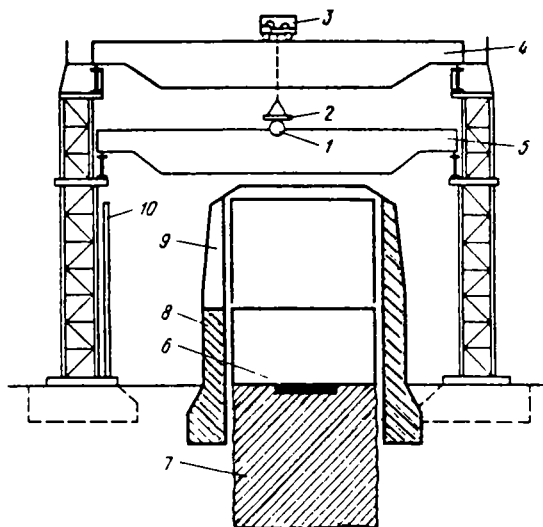


Рис. 7.13. Стационарный башенный копер:

1 — копровая баба; 2 — захват для копровой бабы; 3 — мостовой кран; 4 — подъемный механизм; 5 — шабот; 6 — фундамент; 7 — защитное ограждение

Эстакадные копровые установки имеют загрузочную эстакаду, по которой перемещается мостовой кран, бойное место и второй ярус с перемещающимся по нему бойным краном. Подача лома и удаление готовой продукции с бойного места осуществляется мостовым краном. Подъем и сбрасывание копровой бабы производится бойным краном. Установка монтируется на специальном фундаменте и имеет обшивку, ограничивающую разлет осколков, образующихся при дроблении.

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

Энергия, расходуемая на дробление на копровой установке, зависит от массы и формы копровой бабы, а также высоты ее падения. Существенное влияние на эффективность измельчения оказывает форма бабы. Наиболее 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. 7.14).

Манипулятор перемещается по рельсовым путям и осуществляет захват изложницы, транспортировку ее к прессу, установку и фиксацию изложницы в рабочем положении, вращение ее вокруг вертикальной оси и перемещение ее вдоль и поперек продольной оси прессы. Изложница устанавливается с помощью грузоподъемного механизма 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 и изложницу и отламывает от нее кусок другой стенки. Процесс повторяется несколько раз. Оставшаяся неразломанной часть

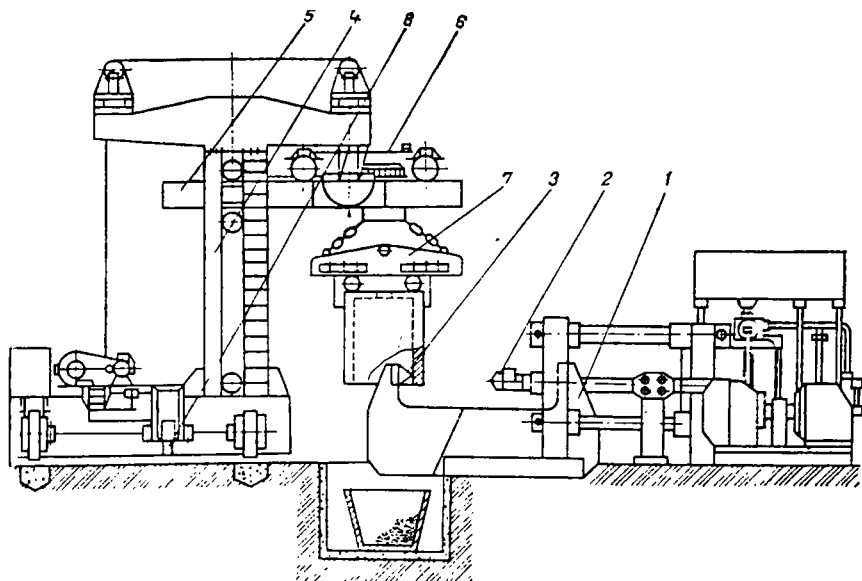


Рис. 7.14. Установка для разделки изложниц соосными клиньями (УРИСК):

1 — пресс П0138; 2 — подвижный клин; 3 — упор; 4 — манипулятор; 5 — каретка; 6 — грузовая тележка; 7 — траверса; 8 — механизм передвижения манипулятора

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*, которое осуществляют во взрывной яме. Этот способ требует специальных навыков, т. к. использует материалы и технологию повышенной опасности.

Взрывная яма представляет собой бронированное сооружение с мощной крышкой. В металлических массивах высверливают шпурсы (отверстия), в которые закладывают заряды. Измельчение металла происходит за счет энергии взрыва заряда.

Взрывом осуществляется предварительная разделка лома. Для дальнейшего измельчения применяют копровые установки.

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

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

Для взрывания металлолома используют бризантные взрывчатые вещества (тринитротолуол, ТЭН, гексоген, их смеси и некоторые другие).

Разнообразие форм лома, подлежащего измельчению, привело к разработке различных методов ведения взрывных работ. 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). Данный способ осуществляется следующим образом. Отходы изложниц 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.

На рис. 7.15 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 возможно применение резиновых прокладок (резиновой крошки) или песчаной засыпки. Для откачки воды по трубе 10 предназначен насос 9. Заряд подвешен в изложнице 11.

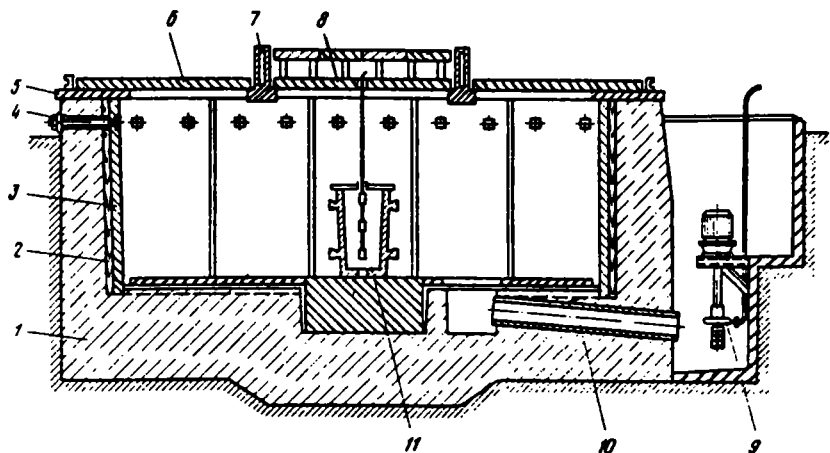


Рис. 7.15. Схема устройства взрывной ямы для подрыва изложниц в воде: 1 — основание и стены; 2 — деревянные балки; 3, 5, 6 — стальные плиты; 4 — болты; 7 — несущая балка; 8 — крышка; 9 — водяной насос; 10 — труба для стока воды; 11 — измельчаемая изложница

Термическое измельчение металлолома заключается в местном расплавлении кусков лома. Различные термические методы измельчения делятся на: кислородную резку; плазменную; кислородно-дуговую и шпурение с помощью кислородного копыя.

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 состоит из трех стадий: подогрева металла в газовом пламени до температуры воспламенения, окисления (сгорания) металла в кислородной струе и выдувания кислородной струей жидких продуктов из зоны резки.

Для разогрева металла ацетилено-кислородное пламя направляют на поверхность металла, а после разогрева до температуры около 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 высоколегированных стальных изделий, 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).

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

Плазменная струя образуется за счет возникновения электрической дуги в газовом потоке. Газ подогревается дугой до такого состояния, что его молекулы частично ионизируются. Энергия образующейся плазменной струи складывается из энергии дуги и энергии, накопленной плазмой.

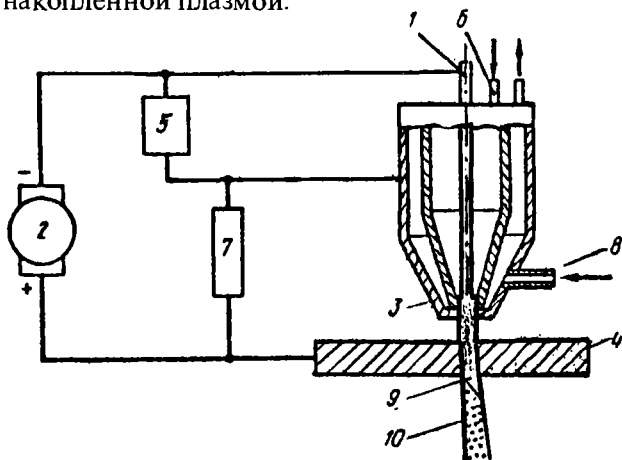


Рис. 7.16. Схема установки для плазменной резки отходов легированных сталей:

- 1 — электрод; 2 — источник постоянного тока; 3 — мундштук; 4 — лом;
 5 — высококачественный генератор; 6 — штуцер для подачи газа;
 7 — электрическое сопротивление; 8 — штуцер для подачи охлаждающей воды;
 9 — плазменная струя; 10 — струя газа с расплавленными каплями металла

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

Схема установки для плазменной резки показана на рис. 7.16.

Вольфрамовый электрод 1 присоединен к отрицательному полюсу источника постоянного тока 2, медный корпус мундштука 3 присоединен к положительному полюсу. К нему же присоединен измельчаемый кусок лома 4. Электрическая дуга создается генератором 5 вследствие высокого напряжения между катодом и мундштуком. За счет возникновения электрической дуги в газовом потоке образуется плазменная струя 9. Дуга ионизирует выходящий из мундштука газ 10, поданный через штуцер 6.

Мундштук предохраняется от расплавления охлаждающей водой, подаваемой через штуцер 8. При сближении плазменного резака с куском лома дуга переходит на последний за счет создания с помощью сопротивления 7 более высокого напряжения между электродом и ломом.

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. 7.17) состоит в постоянном сжигании в кислородном пламени стальной трубы, по которой подается газ (копье). Для создания кислородного копья используют стальные трубы с внутренним диаметром 3 и 6 мм.

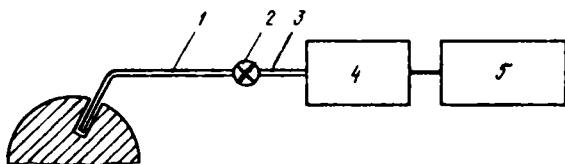


Рис. 7.17. Схема установки для шпурения с кислородным копьем:

1 — копье; 2 — вентиль регулировки подачи кислорода; 3 — кислородный шланг; 4 — редуктор; 5 — кислородная установка

Резка цветного металлолома огневými 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.

7.4. 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 (сухой метод) или в различных жидкостях (мокрый метод).

К сухим методам сепарации относятся: магнитные, электродинамические, электрические и пневматические.

К мокрым методам сепарации относятся: тяжелосредные, магнитогидростатические и гидравлические.

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

Для получения магнитных полей с малой величиной *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 стальным сердечником. 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:

$$F_{\text{магн}} = V \cdot \psi \cdot H \cdot \text{grad } H, \quad (7.2)$$

где V — объем частицы; ψ — объемная магнитная восприимчивость; H — напряженность магнитного поля.

Удельное значение магнитной силы равно

$$f_{\text{магн}} = \frac{F_{\text{магн}}}{Q} = \frac{V\psi H \cdot \text{grad}H}{V\delta} = \chi \cdot H \cdot \text{grad}H, \quad (7.3)$$

где Q — масса частицы; δ — плотность вещества частицы; χ — удельная магнитная восприимчивость частицы.

Принцип работы магнитного сепаратора схематически показан на рис. 7.18.

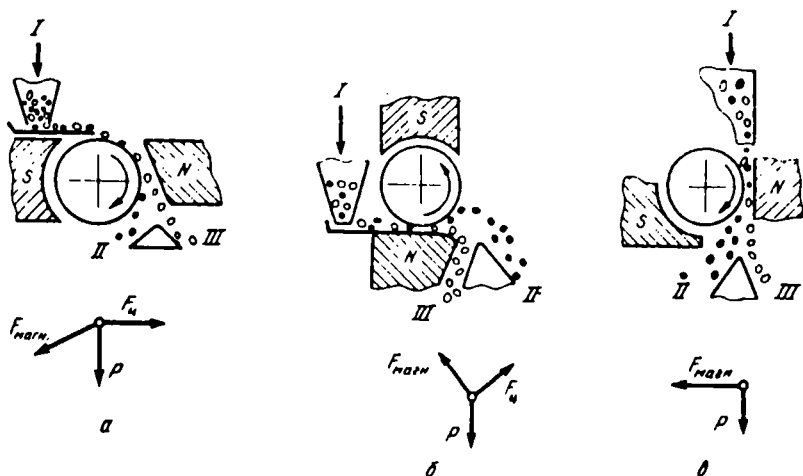


Рис. 7.18. Принцип работы магнитного сепаратора:

a — верхняя зона; *б* — нижняя зона; *в* — 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 $F_{\text{т}}$, 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 силами $F_{\text{магн}}$, P и $F_{\text{ц}}$ зависит от способа подачи сырья в рабочую зону сепаратора, конструктивных особенностей аппарата, режима его работы.

Для удаления магнитных материалов из продуктов дробления лома и отходов цветных металлов (бронированного кабеля, сталеалюминиевого провода, поршней, автомобильного лома) применяют шкивные электромагнитные сепараторы (железоотделители) типа Ш, которые представляют собой ленточный конвейер, в ведущем барабане которого смонтирована много- или двухполюсная электромагнитная система.

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.

Другой разновидностью сепараторов являются железоотделители подвесные саморазгружающиеся типа ПС, предназначенные для извлечения и удаления ферромагнитных предметов и сыпучих немагнитных материалов, в том числе из лома и отходов цветных металлов.

Сепараторы типа ПС можно устанавливать в двух вариантах: над лентой транспортирующего конвейера перпендикулярно его продольной оси (рис. 7.19) и под углом над барабаном транспортирующего конвейера, при этом продольные оси конвейера и сепаратора совпадают (рис. 7.20).

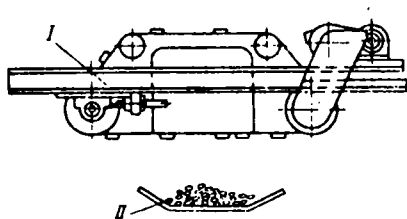


Рис. 7.19. Схема установки железоотделителя (I) с разгрузкой в сторону от конвейера (II)

Наиболее предпочтительной является установка сепаратора над барабаном в зоне разгрузки материала, так как материал там находится в разрыхленном состоянии, как бы псевдоожиген.

Для обезжелезивания сыпучих материалов, в том числе стружки цветных металлов, разработаны барабанные сепараторы серии ПБСЦ (рис. 7.21).

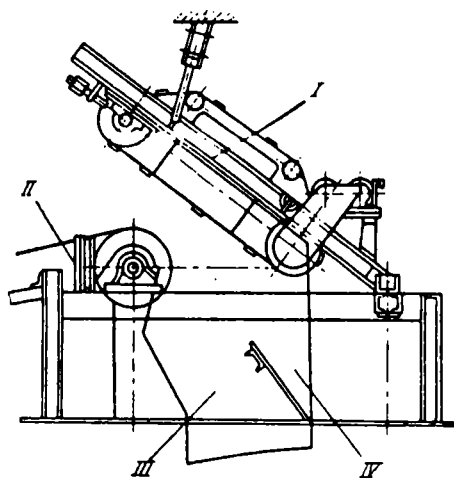


Рис. 7.20. Схема установки железотделителя (I) над барабаном конвейера (II) в зоне его разгрузки; выход цветного металла (III) и ферромагнитного материала (IV)

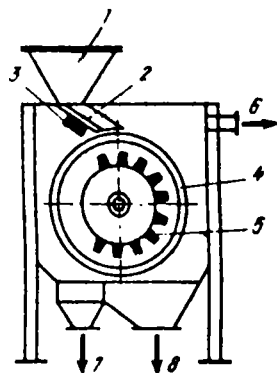


Рис. 7.21. Схема сепаратора барабанного типа ПБСЦ:

1 — бункер; 2 — питатель; 3 — вибратор; 4 — барабан; 5 — магнитная система; 6 — отсос пыли; 7 — выход магнитной фракции; 8 — выход немагнитной фракции

Существуют и другие отечественные и импортные магнитные сепараторы. Так, для разделения слабомагнитных и немагнитных отходов цветных металлов размером частиц менее 20 мм (например, смешанной стружки сплавов на медной основе) используют сепараторы электромагнитные типа СЭ-3 и СЭ-4 (рис. 7.22).

Электродинамическая сепарация. Метод электродинамической (ЭД) сепарации основывается на силовом взаимодействии переменного электромагнитного поля с твердыми электропроводными телами с различными значениями электропроводности.

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

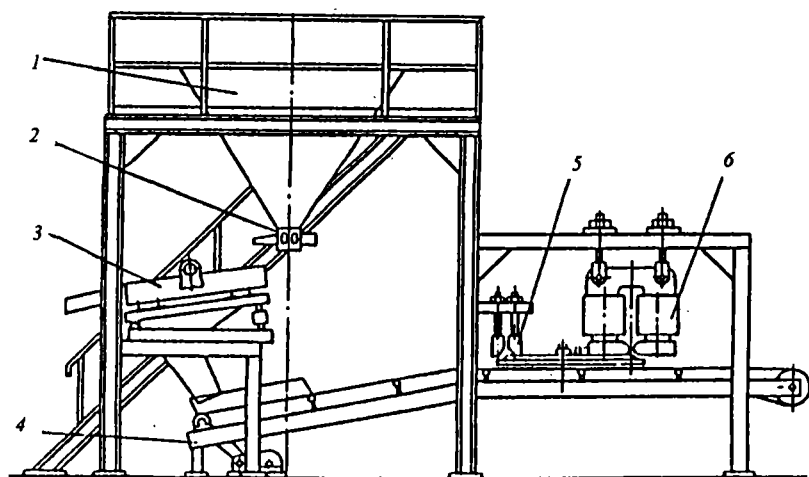


Рис. 7.22. Сепаратор выделения слабомагнитных материалов:
 1 — бункер; 2 — питатель; 3 — грохот; 4 — конвейер; 5 — собственно сепаратор СЭ-3; 6 — устройство для удаления железа

частиц относительно неоднородного магнитного поля постоянных магнитов.

Одним из видов ЭД сепараторов с вращающимся магнитным полем являются однороторные сепараторы (рис. 7.23). Вращающееся магнитное поле сепаратора создается многополюсным ротором с независимым приводом вращения. Магнитное поле ротора возбуждается обмоткой, питаемой постоянным током.

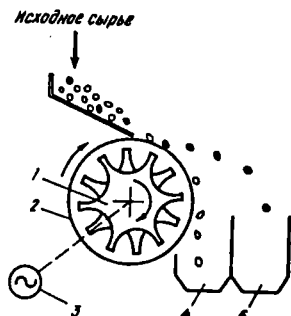


Рис. 7.23. Электродинамический сепаратор однороторный:

1 — многополюсный ротор; 2 — барабан; 3 — привод; 4 — приемник не электропроводного материала; 5 — приемник электропроводного материала

Ротор находится внутри барабана из нержавеющей стали, служащего для транспортирования разделяемого материала в зоне действия вращающегося магнитного поля. Частота вращения ротора 17 с^{-1} . Барабан вращается под влиянием электродинамических сил взаимодействия с полем ротора. Частота его вращения поддерживается на уровне $0,11 \text{ с}^{-1}$ специальным демпфирующим устройством. Разделяемый материал равномерно подается на барабан сепаратора, откуда электропроводные частицы отбрасываются полем ротора в дальний приемный бункер, а неэлектропроводные частицы свободно скатываются с барабана в ближний бункер.

Электродинамический сепаратор *ленточного типа* (рис. 7.24) представляет комплекс механизмов, включающий ленточный транспортер, приводной барабан которого выполняет роль сепаратора. Вращающееся магнитное поле создается обмоткой трехфазного переменного тока, помещенной в пазы ротора.

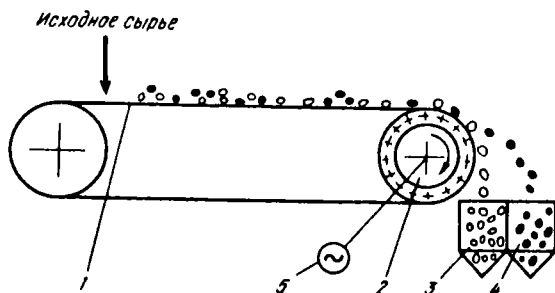


Рис. 7.24. Электродинамический сепаратор ленточного типа: 1 — ленточный конвейер; 2 — барабанный трехфазный ротор; 3 — приемник неэлектропроводного материала; 4 — приемник электропроводного материала; 5 — привод

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 цветных металлов используются различия в эффектах взаимодействия заряженных частиц разделяемых компонентов с электрическим

полем. В электрическом поле и при контакте с электродами определенного потенциала частицы цветных металлов приобретают и отдают заряды свободно при соприкосновении с электродами другой полярности, а диэлектрики поляризуются из-за равновесного противоположного смещения поверхностных зарядов различного знака.

По конструктивному исполнению основного элемента (электрода) электрические сепараторы разделяют на барабанные, камерные, пластинчатые.

В отечественной и зарубежной практике для обогащения дробленых отходов цветных металлов практическое применение находят барабанные коронно-электростатические сепараторы.

На рис. 7.25 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 зарядки частиц цветных металлов одноименным зарядом при контакте с барабаном они отталкиваются от барабана и, двигаясь по криволинейным траекториям, попадают в приемник для электропроводных фракций 7. Регулирование качества этих фракций осуществляется поворотом делительной перегородки 6. 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 концентрируется в среднем приемнике 5.

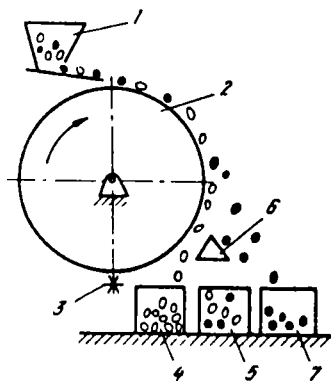


Рис. 7.25. Барабанный электрический сепаратор

Пневматическая сепарация. Метод пневматической сепарации основан на различии в скоростях падения частиц различного 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.

Свойства вторичного сырья как объекта пневматической сепарации изучены недостаточно, поэтому применение пневматических сепараторов в процессе переработки отходов цветных металлов требует их индивидуальной настройки.

Зигзагообразный пневматический сепаратор (рис. 7.26) 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 отбирает 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. 7.27) работает следующим образом. Материал поступает из бункера 1 в разделительную камеру 2. Наклонные полки 3 сепаратора обеспечивают пересечение 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.

Сепарация в тяжелых суспензиях основана на разделении механической смеси материалов по их плотности в гравитационном поле. Разделительная среда — суспензия имеет промежуточную

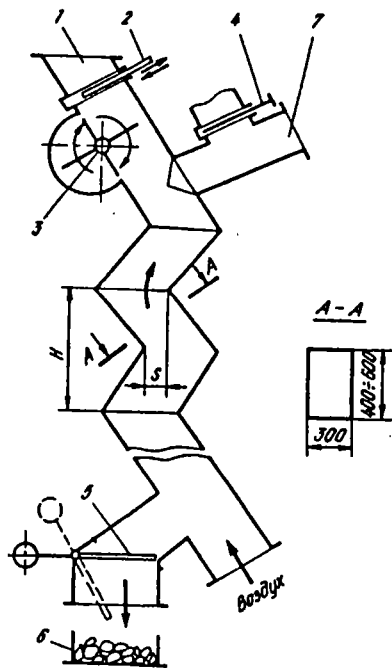


Рис. 7.26. Зигзагообразный пневматический сепаратор

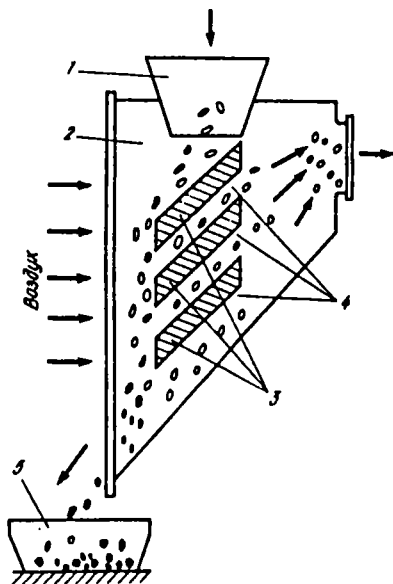


Рис. 7.27. Поперечно-поточный пневмосепаратор

плотность между плотностями легкой и тяжелой фракций и представляет собой механическую взвесь тонкодисперсных частиц тяжелых металлов или других утяжелителей в воде. Для создания во всей системе одинаковой плотности суспензии жидкость постоянно перемешивают мешалками или создают циркуляционные потоки с помощью шламовых насосов.

В качестве утяжелителя суспензии используют магнетит, ферросилиций или их смесь. Жидкой фазой обычно является вода. Наилучшим утяжелителем являются гранулированный ферросилиций (сплав: 85 % Fe — 15 % Si) плотностью 6900 кг/м³. Максимально возможная плотность суспензии 3500—3800 кг/м³.

Сепаратор СБС-5 (табл. 7.13) разработан специально для технологических линий по переработке алюминиевого лома и 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 медно-кремниевые алюминиевые сплавы промежуточной плотности.

Таблица 7.13

Техническая характеристика сепаратора СБС-5

Параметры	Значение
Производительность по исходному продукту, т/ч	10
Крупность исходного продукта, мм	10-100
Плотность сортируемого материала, 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 суспензией 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.

Рассмотренные 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*, позволяющие получить на конечной стадии сертификационную шихту. Одним из перспективных информационных способов сепарации является радиометрический.

Радиометрическая сепарация лома и отходов цветных металлов основана на эффектах взаимодействия излучений с частицами исходного сырья. 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 свойства куска или порции исходного материала.

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 (элементарным составом). Усложнение схем обработки информации связано с учетом размера и массы куска или порции, усложнением критериев (например, многоэлементный анализ) для отнесения их к определенному сорту.

Для обогащения и сортировки лома и отходов цветных металлов наиболее перспективными являются 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 подачи обрабатываемого сырья в узлы обслуживания, регистрации и разделения, а также, как правило, для создания покускового

режима питания. По типу транспортирующего устройства сепараторы могут быть разбиты на ленточные, вибрационные, ковшовые и карусельные. Устройства вибрационного типа обеспечивают скорость перемещения материала до 0,8—1,2 м/с, ленточного типа — до 2—4 м/с и более. Транспортирующее устройство может быть одно- или многоканальным. Скорость движения материала на нем обычно выше, чем на питателе, поэтому при сходе с питателя кусок отрывается от идущего за ним следом, что позволяет получить нужный между ними интервал.

Узел первичного излучения и детекторные системы, регистрирующие вторичное излучение, обеспечивают практическую реализацию сортировки лома и отходов. 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 осуществляют выведение из потока исходного сырья тех или иных кусков цветных металлов в соответствующие приемные бункеры. В радиометрических сепараторах чаще применяют электропневматические и шиберные исполнительные механизмы с приводом от тяговых электромагнитов.

На рис. 7.28 приведена схема работы радиометрического сепаратора с электродинамическими сбрасывателями. Электродинамический сбрасыватель создает бегущее электромагнитное поле, обеспечивающее силовое воздействие на немагнитные электропроводящие тела (куски цветных металлов и их сплавов).

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 числом получаемых продуктов.

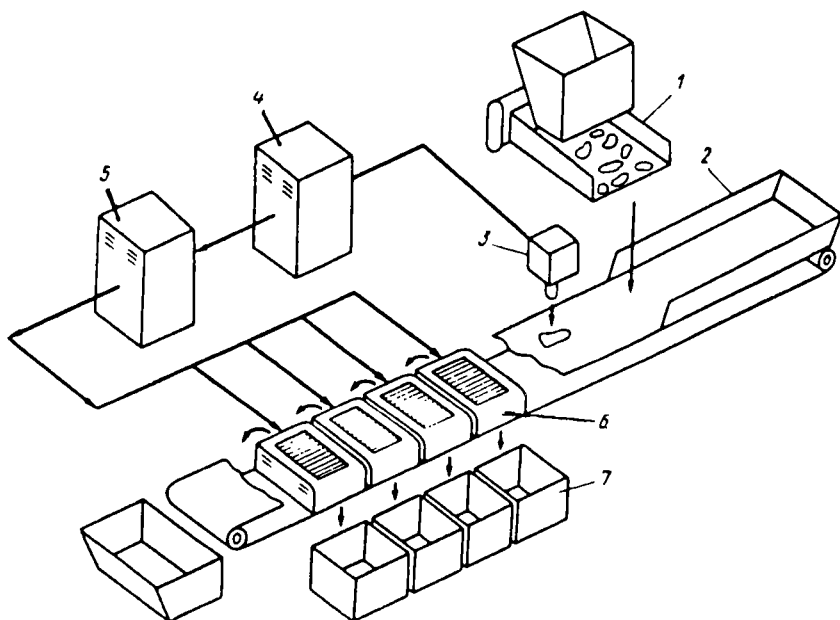


Рис. 7.28. Схема рентгенорадиометрического сепаратора с электродинамическими сбрасывателями:

1 — устройство формирования покусковой подачи; 2 — конвейер; 3 — детектор; 4 — блок-анализатор; 5 — блок управления исполнительными механизмами; 6 — ЭД-сбрасыватель; 7 — коробка

На рис. 7.29 показана линия переработки низкокачественных отходов цветных металлов с использованием комплекса радиометрической сортировки.

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-пучковывделитель 8, с помощью которого из дробленого лома выделяются пучки проволоки, текстиля и т. п. Далее сырье поступает на ленточный конвейер 9, над которым

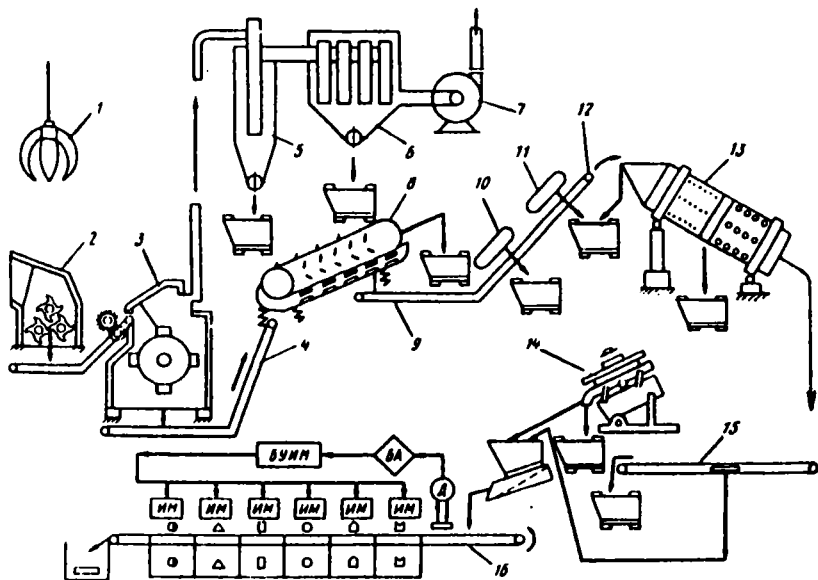


Рис. 7.29. Линия переработки низкокачественных отходов цветных металлов

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. На ЭД-сепараторах 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-

Т а б л и ц а 7.14

Технические характеристики комплекса автоматизированной сортировки отходов цветных металлов

Параметры	Значение
<i>Производительность при сортировке, т/ч:</i>	
низкокачественного алюминиевого лома	5—7
сплавов медной группы	2—3
<i>Крупность исходного сырья при сортировке, мм:</i>	
низкокачественного дробленого алюминиевого лома	+10—150
сплавов медной группы	+40—300
Установленная мощность электрооборудования, кВт	15

анализатор, который определяет элементный состав кусков. Выделение кусков в соответствующий короб осуществляется исполнительными механизмами блока управления. Технические характеристики комплекса представлены в табл. 7.14.

7.5. 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. 7.30.

Для дробления и сортировки легковесного металлолома применяют комплексные установки. В табл. 7.15 приведены характеристики некоторых комплексных установок для дробления легковесного металлолома, выпускаемых фирмой "Lindemann" (Германия).

Таблица 7.15

Характеристика установок для дробления легковесного металлолома

Характеристика	Модель установки		
	K175-100 Nanur	Nabri	Nadus
Мощность двигателя, кВт	370	1200	3000
Производительность, т/ч	5—10	19—25	40—65
Число оборотов ротора, об/мин	600	—	—
Насыпная плотность дробленого металлолома, т/м ³	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. 7.31. Установка состоит из: загрузочного устройства; дробителя; комплекса оборудования для сортировки; системы конвейеров; электропривода и гидропривода; системы пылеулавливания; пульта управления.

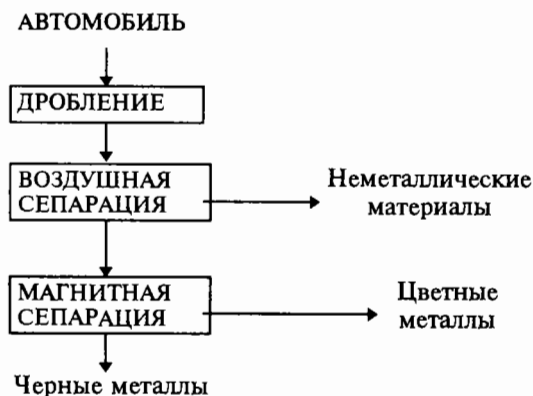


Рис. 7.30. Принципиальная схема утилизации изношенных автомобилей

Технологический процесс переработки легковесного металлолома на установке состоит из следующих операций: подготовки металлолома (сортировки); загрузки металлолома в дробитель; дробления металлолома; очистки и сортировки дробленого металлолома; удаления и складирования готовой продукции.

Загрузочное устройство состоит из опрокидывающегося лотка и двух подающих роликов.

Расход энергии при дроблении кузовов зависит, как это видно из данных табл. 7.16, от комплектности автомобиля, в частности наличия шин, двигателя и др.

Для измельчения автомобильных кузовов применяют в основном дробители молоткового типа, состоящие из разъемного стального корпуса, облицованного износостойчивыми плитами, дискового ротора и дробящей плиты.

Молотковые дробилки для измельчения автомобильных кузовов могут различаться расположением ротора и колосниковой решетки для удаления измельченного продукта. По этому признаку

Таблица 7.16

Расход энергии при дроблении автомобилей

Состояние автомобиля	Расход энергии, кВт · ч/т
Вместе с двигателем, шинами, сиденьями	25—28
Без двигателя, шин и сидений	20—23
Сплюснутый кузов	15—18

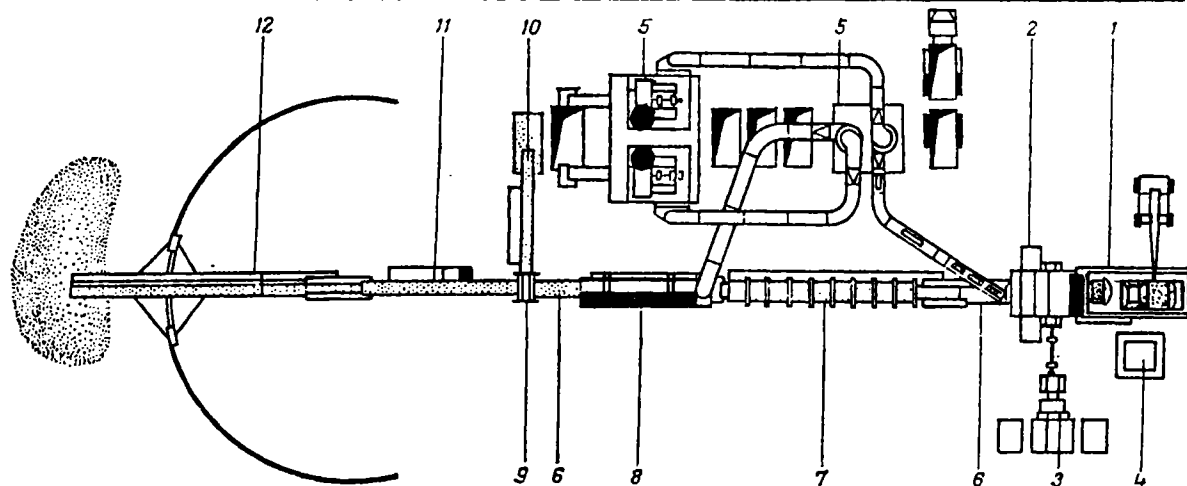
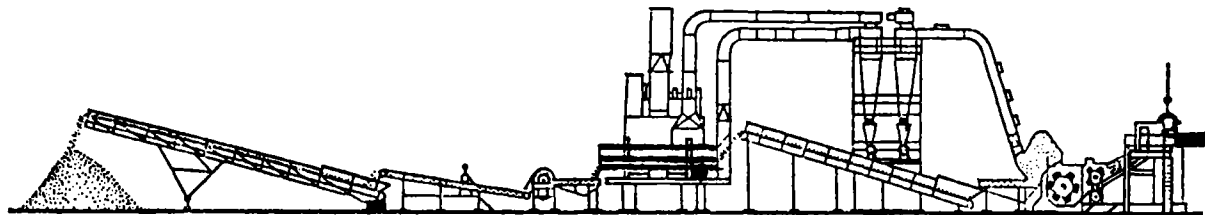


Рис. 7.31. Установка для дробления легковесного металлолома:

1 — опрокидывающийся лоток; 2 — дробитель; 3 — привод дробителя; 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 — уборочный конвейер

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.

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.

С автомобиля перед дроблением снимаются шины, топливный бак, аккумулятор, радиатор. После дробления автомобиля получают три фракции: магнитную (черные металлы), воздушную (неметаллические материалы с низкой плотностью) и цветную, в которую входят все цветные металлы — алюминий, цинк, медь, а также нержавеющая сталь.

При измельчении автомобиля образуется пожароопасная пыль полимерных и текстильных материалов, присутствующих в автомобиле, а также взрывоопасные смеси распыленных масел и остатков топлива, имеющихся 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.

Для очистки стального лома от неметаллических примесей и небольших частиц цветных металлов предназначен барабанный сепаратор. Сепарация производится с помощью воздушного потока. Кроме того, используется магнитная сепарация и ручная сортировка для отбора цветных металлов. Магнитная сепарация оборудована специальным конвейером.

Система конвейеров включает конвейер для передачи дробленого лома на сортировку, конвейер для уборки пыли, конвейер для уборки готовой продукции, сортировочные конвейеры.

Очистка воздуха производится с помощью циклонов и мультициклонов со спиральными отводами воздуха.

Первичная очистка металлолома от пыли и большей части неметаллических загрязнений (см. рис. 7.31) осуществляется в процессе измельчения в дробителе 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.

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.

Готовая продукция, представляющая собой сыпучий продукт с высокой степенью чистоты, с сортировочного конвейера поступает на уборочный конвейер, с которого отгружается на склад.

Линия переработки моторного лома (рис. 7.32). Исходным сырьем моторного лома являются отходы литейных алюминиевых сплавов в виде двигателей внутреннего сгорания, карбюраторов и корпусов коробок передач с содержанием 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/м³.

Отходы литейного лома гидравлическим многочелюстным грейфером 1 (см. рис. 7.32) 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 до 750 кг/м³), 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 цветных сплавов. Исходным сырьем являются отходы алюминиевых сплавов

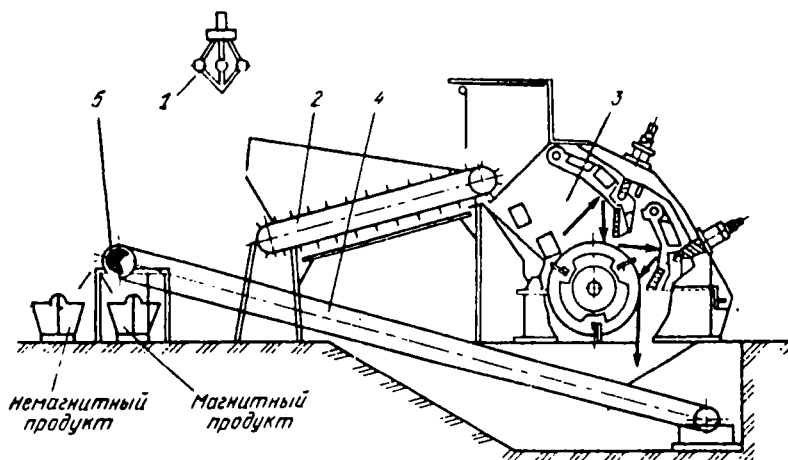


Рис. 7.32. Линия переработки моторного лома

с содержанием включений железа до 30 %, масла и влаги до 5 %. Максимальные размеры перерабатываемого сырья не должны превышать: для листового материала — $1400 \times 1400 \times 10$ мм (максимальная доля листовых отходов толщиной до 10 мм может составлять 10 % от общего количества исходного сырья); для самолетного лома — $1000 \times 1100 \times 500$ мм; для пакетированных отходов — $400 \times 500 \times 600$ мм (плотность пакета — не ниже 800 кг/м^3); для моторного лома — $600 \times 1100 \times 600$ мм (максимальная толщина стенки — 50 мм).

Отходы алюминиевых сплавов гидравлическим грейфером 1 (рис. 7.33) подают в загрузочное устройство 2. Под действием гравитационных сил отходы скользят по днищу к приводным валкам, которые установлены на нижнем конце течи 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

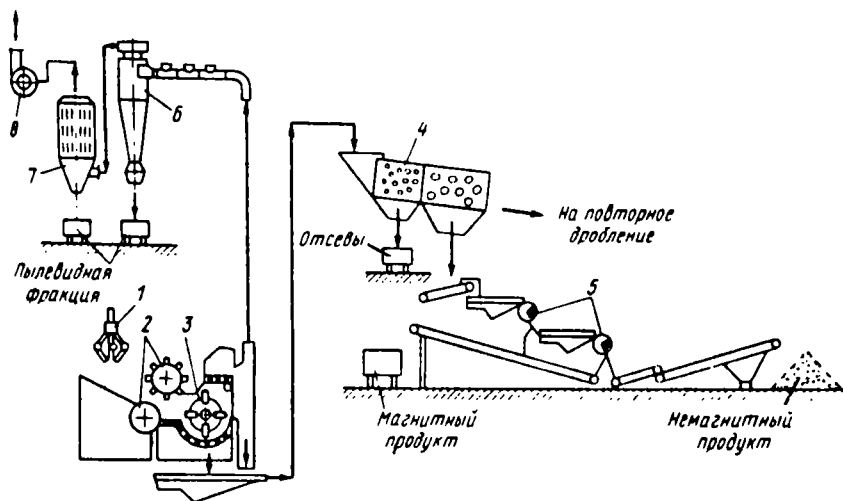


Рис. 7.33. Линия переработки отходов деформируемых и литейных сплавов

недостаточно для сжатия сырья, оператор увеличивает усилие при помощи двух гидравлических цилиндров.

В молотковой дробилке подпрессованные отходы, опирающиеся на отбойный брус, разрушаются частыми ударами молотков. Дробленый продукт разгружается на вибрационный конвейер через нижнюю под ротором и верхнюю над ротором решетки грохота 4. Из дробленной 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.

Переработка лома радиаторов. Применяемые в настоящее время типы и конструкции радиаторов можно разделить на четыре группы по видам основных конструкционных материалов: а) медные, б) алюминиевые, в) стальные и г) комбинированные.

Лом радиаторов подвергают разделке для отделения стальных деталей от цветных металлов ручным, механическим или огневым способами. Разделку радиаторов ручным способом производят

инструментом, 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 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 производят сортировку полученных продуктов. 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 бачки подвергают пакетированию. Припой, который стекает при оплавлении на площадку, накапливают и переплавляют в слитки, которые реализуют как оловянно-свинцовые 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 мг/м^3 . В пыли находятся свинец, олово, цинк, медь, т. е. металлы, содержание которых в воздухе рабочей зоны и в атмосфере населенных пунктов лимитируется санитарными нормами.

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 мало производителен и требует большого количества разделяющих. 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 свинецсодержащего лома и отходов. Основными операциями при подготовке лома аккумуляторов к металлургическому переделу являются дробление, классификация и сепарация. При этом различают следующие технологические линии: сухие, гидравлические и с использованием тяжелых сред. В качестве тяжелой среды применяют смеси, искусственно создаваемые или самообразующиеся в процессе работы установки.

Переработка аккумуляторов с применением гидравлических методов классификации по технологическим операциям аналогична сухим методам. Отличие состоит в замене процесса воздушной классификации на гидравлическую сепарацию.

Технологическая схема переработки аккумуляторного лома изображена на рис. 7.34. 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

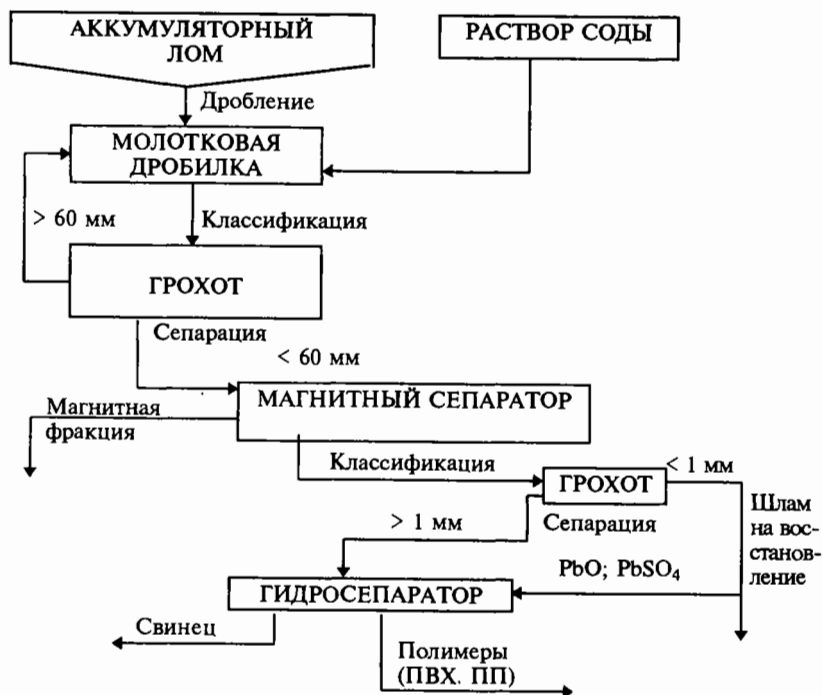


Рис. 7.34. Технологическая схема переработки аккумуляторного лома

дробление, подрешетный проходит магнитную сепарацию и направляется для обесшламливания на грохот с ситами, имеющими размер ячеек 4 и 1 мм. Шламовый продукт класса крупности -1 мм поступает на сгущение, классификацию и обезвоживание, классы крупности $-4+1$ и $+4$ мм подвергают гидросепарации с получением в качестве конечных продуктов металлического свинца и органических материалов. Готовые продукты подвергают отмывке на грохотах для удаления остаточных шламовых продуктов.

Схемы тяжелосредней сепарации при разделке аккумуляторного лома получили распространение в зарубежной практике. Различают два способа разделения — в искусственных и самообразующихся суспензиях.

Более совершенной технологией с применением сепарации в тяжелых средах являются схемы разделения в самообразующихся суспензиях, в которых как утяжелитель используется тонкодисперсный оксидно-сульфатный свинец, выделяющийся из перерабатываемых аккумуляторов. Технология позволяет извлекать до 99,4 % свинца, содержавшегося в ломе.

Комплексная линия переработки отходов металлов (рис. 7.35). 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,

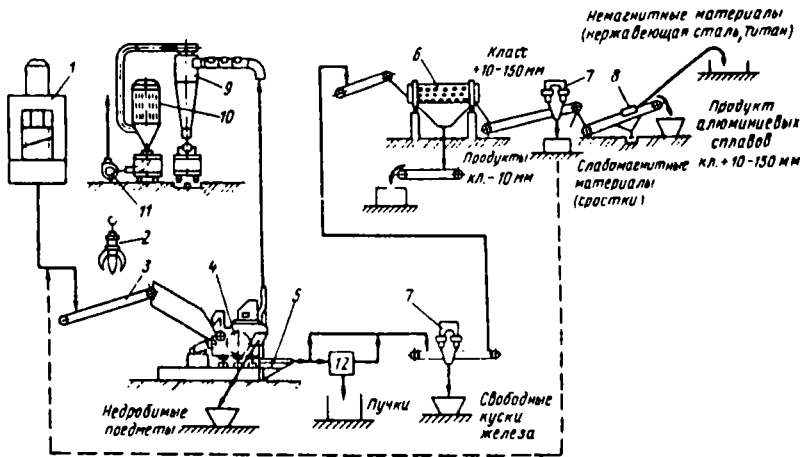


Рис. 7.35. Комплексная линия переработки отходов алюминиевых сплавов:

- 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

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 по-

грузочно-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.

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 полигональный барабанный грохот, который по длине разделен на две секции.

Контрольные вопросы

1. В чем состоит эффективность использования металлолома?
2. Что такое кругооборот металла в экономике?
3. Как классифицируют отходы черных и цветных металлов?
4. Какие требования предъявляются к металлолому?
5. Какие существуют виды металлолома?
6. Каковы источники образования металлолома?

7. Что такое коэффициент использования металла и какова его величина в различных отраслях экономики?
8. Какие существуют способы подготовки металлолома к переплаву?
9. Что такое взрывное дробление крупногабаритного лома?
10. Какие термические методы используют для измельчения металлолома?
11. Какие существуют способы сортировки отходов цветных металлов?
12. Что такое силовые методы сепарации лома и отходов цветных металлов?
13. Что такое информационные методы сепарации отходов цветных металлов?
14. Приведите технологическую схему переработки моторного лома.
15. Приведите технологическую схему переработки лома отработанных аккумуляторов.

Г Л А В А 8 УТИЛИЗАЦИЯ ШЛАКОВ, ЗОЛЫ, ОГНЕУПОРОВ И ГОРЕЛОЙ ЗЕМЛИ

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, а их освоение и рекультивация земель требуют значительных затрат, утилизация такого количества отходов представляет важную и очень перспективную с точки зрения экономики задачу.

Что же такое шлак? *Шлак* — это отвердевшее камневидное или стекловидное вещество, образующееся при выплавке металлов или сгорании твердого топлива. Роль шлака в металлургическом процессе велика: он защищает металл от вредного воздействия газовой среды печи, поглощает всплывающие примеси и участвует в различных физико-химических процессах, происходящих при выплавке металлов. Металлургические шлаки состоят из продуктов химических реакций между вводимыми в печь флюсами, металлической 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_o). Величину $M_k = 1/M_o$ называют *степенью кислотности*. При $M_o < 1$ шлаки кислые, а при $M_o > 1$ — 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. 8.1.

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 произ-



Рис. 8.1. Основные направления использования шлаков черной металлургии

водстве цемента и шлакопортландцемента высших марок, удобрений и других материалов.

8.1. Производство строительных материалов из металлургических шлаков

Производство цемента. Цементная промышленность использует гранулированный шлак как активную минеральную добавку при производстве шлакопортландцемента — вяжущего вещества, твердеющего в воде и на воздухе. Шлакопортландцемент получают путем измельчения клинкера (обоженной 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 составляет 1–5 мм.

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 гидрожелобных, 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 парогазовой смеси, оказывающей неблагоприятное влияние на окружающую среду.

Более прогрессивна припечная бесковшовая технология гранулирования шлака (рис. 8.2). 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, парогазовая смесь улавливается, очищается в скруббере 2 и удаляется в вытяжную трубу 1, а вода возвращается для повторного использования.

Технологические параметры процесса припечной грануляции шлака, описанного выше, приведены в табл. 8.1.

Таблица 8.1

Технологические параметры процесса припечной гидрожелобной грануляции доменного шлака

Характеристики процесса	Значения параметров
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 ³	0,9—1,2

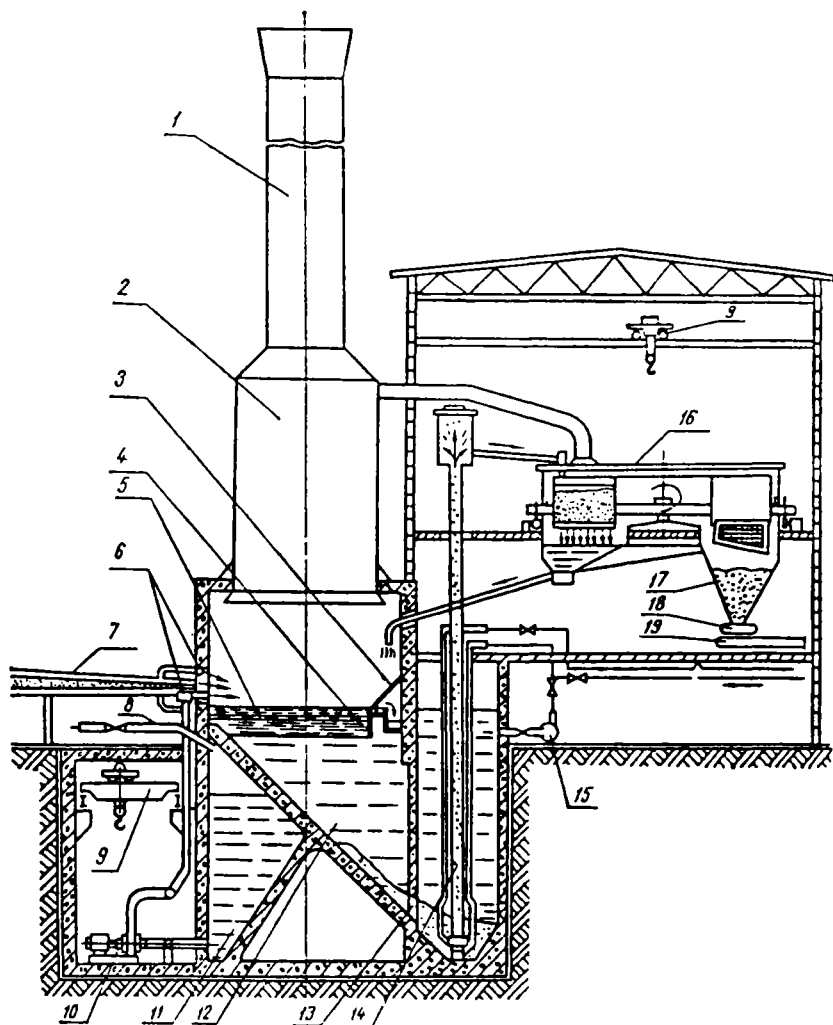


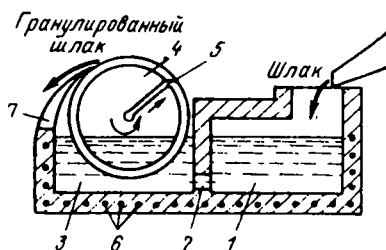
Рис. 8.2. Схема припечной гранулирующей установки шлака:

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

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. 8.3). 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.

Рис. 8.3. Схема контактной грануляции шлака



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 утилизироваться.

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

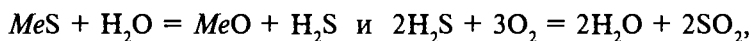
Объемная плотность шлакобетона составляет 1400—1600 кг/м³, прочность при сжатии — до 10 МПа. Его используют в строительстве для изготовления легких перекрытий, строительных блоков и камня, используемых для кладки стен.

Производство пемзы из доменных шлаков. При производстве легких бетонов и конструкций, а также теплоизоляционных засыпок используют *термозит (шлаковую пемзу)* — искусственный пористый наполнитель, получаемый вспучиванием расплава 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/м³. Термозитный щебень выпускается трех марок — с плотностью 400, 600 и 800 кг/м³.

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

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

Образование пор в шлаке является следствием выделения газов, образующихся 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 плотностью, прочностью, морозостойкостью, теплопроводностью, жаростойкостью и другими свойствами, которые зависят от ее пористости, определяемой по формуле:

$$V_{\text{п}} = (1 - \rho_{\text{к}}/\rho_{\text{ш}}) \cdot 100, \quad (8.1)$$

где $V_{\text{п}}$ — пористость шлака, %; $\rho_{\text{к}}$ — плотность пемзы в куске; $\rho_{\text{ш}}$ — плотность исходного шлака в куске.

Зависимость между плотностью пемзы в куске и насыпной плотностью выражается уравнением:

$$\rho_{\text{к}} = K/\rho_{\text{н}}, \quad (8.2)$$

где K — коэффициент, обычно составляющий 1,6—2,5; $\rho_{\text{н}}$ — насыпная плотность пемзы.

Существуют различные способы получения пемзы, из которых наибольшее распространение получил бассейновый, при котором шлак с температурой 1260—1320 °С обрабатывается в ваннах-бассейнах водой под давлением 0,08—0,1 МПа.

Расход воды составляет 0,2—0,4 м³/т шлака. После вспучивания получившаяся масса охлаждается в течение 3—5 ч до 100—150 °С на промежуточном складе, затем дробится на валковых дробилках и сортируется на грохотах.

Более прогрессивным является барабанный припечной способ получения пемзы (рис. 8.4).

Шлак из ковша 1 сливается по наклонному желобу 2 в приемную ванну 3, где предварительно вспучивается под воздействием 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. Расход воды составляет 1 м³/т шлака. Получаемая гранулированная пемза имеет размеры 8—16 мм и насыпную плотность 650—850 кг/м³.

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

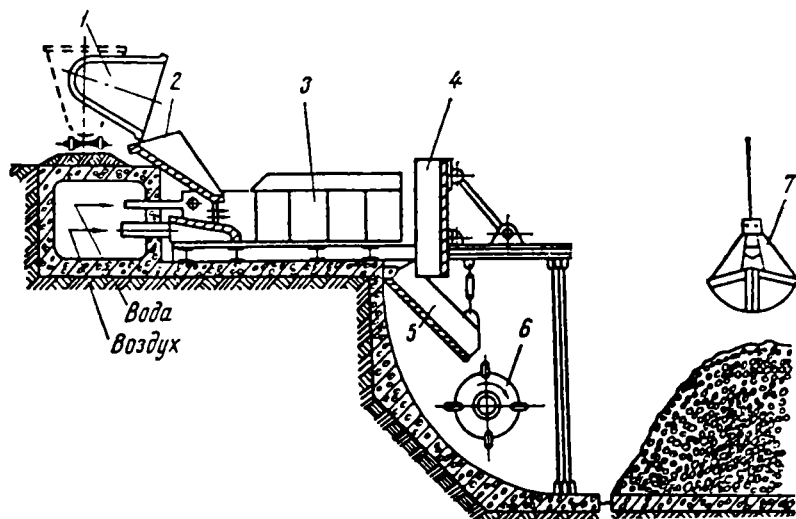


Рис. 8.4. Технологическая схема получения пемзы с применением лопастного барабана:

1 — ковш со шлаком; 2 — наклонный желоб; 3 — приемная ванна; 4 — экран; 5 — направляющий лоток; 6 — лопастной барабан; 7 — грейферный кран

фракцию размером до 5 мм, которую называют шлаковой мелочью, обладающую вяжущими свойствами, используют при изготовлении монолитных шлакобетонных оснований.

Требования, предъявляемые к щебню, определяются областями его применения. Одним из важных показателей является морозостойкость щебня, за которую принимается количество циклов замораживания и оттаивания, выдерживаемое насыщенным водой щебнем без изменения своей прочности. Существующие марки щебня имеют морозостойкость 15, 25, 50, 100, 150, 200 и 300, т.е. выдерживают количество циклов замораживания—размораживания (Мрз), равное номеру марки. Для производства бетонов используют щебень с величиной $M_{рз} = 300$. Формирование необходимой структуры щебня достигается регулированием скорости 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. 8.5.

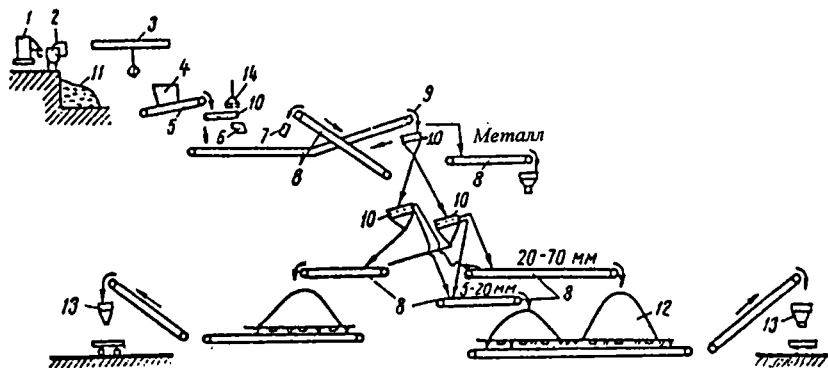


Рис. 8.5. Технологическая схема производства щебня из доменного шлака:

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

Оптимальная толщина слоя шлака при сливе его в траншею составляет 100—200 мм. Обычно площадь траншей составляет на отечественных металлургических заводах 3—10 тыс. м².

Полезная толщина разрабатываемого в траншее остывшего шлака составляет 4—5 м (высота реза экскаватора). Обычно в траншею сливают 25—40 партий шлака с интервалом 20—30 мин. После этого шлак медленно в течение 3—4 суток охлаждается, а затем застывший слой разрабатывается экскаватором и вывозится на дробление.

Для дробления застывшего шлака используются 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 производится сортировка измельченного шлака на грохотах. Сортированный по фракциям щебень транспортируется с помощью ленточных конвейеров на склад готовой продукции.

Производство минераловатных изделий. Металлургические шлаки являются отличным сырьем и 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/м³ 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 производить минеральную вату из первичного расплава шлака без его повторного переплава, который требует дополнительного расхода энергии. Схема производства минеральной ваты из расплава шлака показана на рис. 8.6.

Расплавленный шлак из ковша 1 по сливному желобу 2 стекает в ванну-печь 3, где подогревается до 1400—1450 °С, 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 (модуль кислотности). В качестве добавок используют бой стекла, базальт, горелую землю и др.

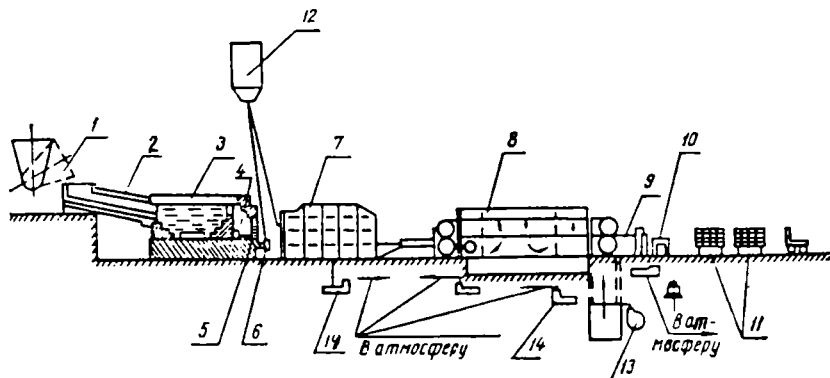


Рис. 8.6. Схема производства минеральной ваты:
 1 — шлаковоз; 2 — сливной желоб; 3 — ванна-печь; 4 — печь-питатель; 5 — летка; 6 — центрифуга; 7 — камера волокноосаждения; 8 — камера полимеризации; 9 — камера охлаждения; 10 — ножи поперечной и продольной резки; 11 — поддоны для упаковки; 12 — емкость для полимерного связующего; 13 — эксгаустер подачи теплоносителя; 14 — вентилятор

Образование волокон происходит за счет воздействия центробежных сил на струю расплава шлака. Наибольшая скорость распыления струи достигается при одновременном воздействии 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 терморезактивная фенолформальдегидная смола, которая полимеризуется при $160\text{—}200\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Эта смола является токсичным продуктом вследствие содержания в ней свободного фенола и целесообразна ее замена на другие материалы.

Промышленность выпускает плиты с различными плотностью укладки волокна и содержанием фенолформальдегидной смолы (табл. 8.2).

Марки минераловатных плит (ρ — плотность, τ_n — продолжительность полимеризации)

Тип плиты	ρ , кг/м ³	Расход смолы, кг/м ³	τ_n , мин
Мягкая	75	7—9	7—9
Полужесткая	125	9—11	9—12
Жесткая	150	11—13	12—15

Используя шлаки в качестве наполнителя, а также вяжущие, полученные на их основе, производят стеновые панели для малоэтажного строительства, промышленных конструкций и плит дорожного покрытия. Технологическая схема цеха по переработке 150 тыс. м³/год шлаков, боя кирпича, других минеральных отходов с получением строительных деталей приведена на рис. 8.7. 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.

Производство шлакоситаллов. Превосходными материалами, получаемыми из доменных шлаков, являются шлакоситаллы. Они 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 каталитических добавок, параметров технологического процесса изготовления.

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 (до 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.

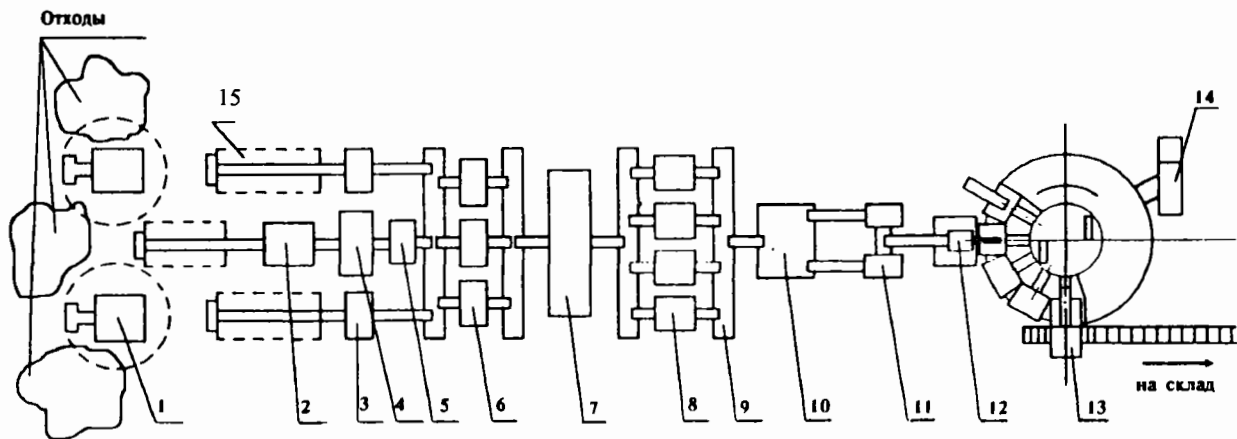


Рис. 8.7. Технологическая схема производства строительных деталей из шлаков:

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

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 выше, чем у гранита и мрамора, и 35 раз больше, 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, электровакуумные и оптические приборы, подшипники и фильеры, 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 извлеченный сплав, содержание которого 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 предварительного 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 производится отбор металла подвесными магнитными сепараторами.

Переработка шлаков может осуществляться на дооборудованных магнитными сепараторами мобильных дробильно-сортировочных установках, используемых при 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 производства, 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 организовать вначале их утилизацию с целью извлечения цветных и редких металлов, т. е. переработка шлаков цветной металлургии должна быть комплексной.

Переработка таких шлаков производится 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.

Шлаки свинцовоцинкового производства также дополнительно перерабатываются.

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.

Значительное обеднение шлака 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.

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 °С, на выходе газов из печи 580—650 °С. При этом процессе возгоняется в виде оксидов цинка до 95 % и свинца 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.

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.

8.2. Утилизация золы и топливных шлаков

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

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

Золошлаковые отходы являются загрязнителями окружающей среды. В 1994 г. принята Федеральная программа по переработке золошлаковых отходов ТЭС России до 2000 г., предусматривающая строительство предприятий по переработке их в стройматериалы с последующей рекультивацией земель.

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 %) и несгоревшие частицы топлива (7—23 %).

Температура в топливных камерах современных ТЭС 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 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/ч: 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. 8.3).

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.

Таблица 8.3

**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	—	—

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.

Топливные шлаки жидкого удаления 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 вяжущего, 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.

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 утилизируется не более 9 % топливных шлаков.

8.3. Производство удобрений из шлаков

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

На рис. 8.8 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.

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.

8.4. 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

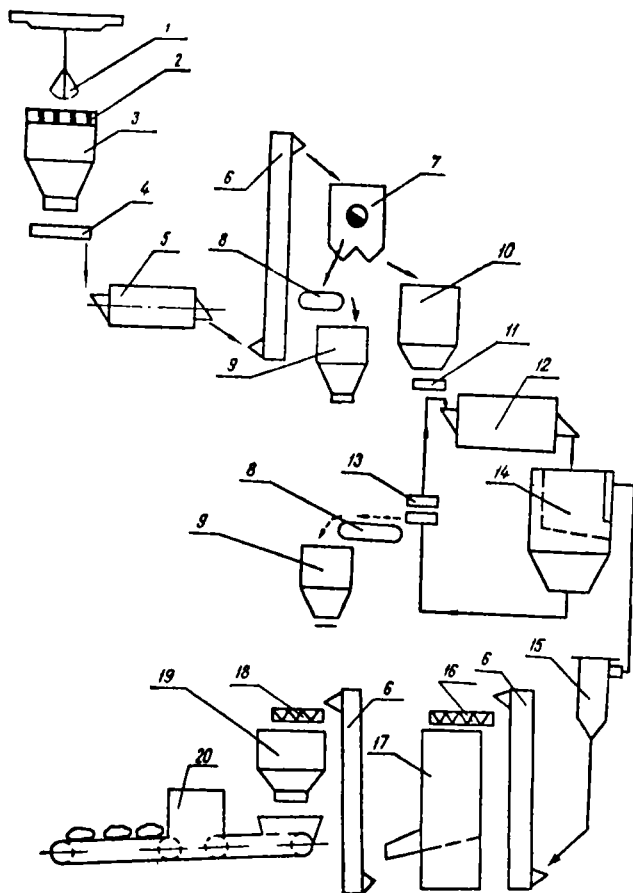


Рис. 8.8. Технологическая схема производства фосфат-шлакового удобрения:

1 — грейферный кран; 2 — приемная решетка; 3 — приемный бункер; 4 — каретковый питатель; 5 — шаровая мельница грубого помола; 6 — леватор; 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

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 карбид-кремниевых 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 отработанных футеровок в шлаковики вводят скрепер-машины, которые подают отработанные огнеупоры и шлак в контейнеры. Далее контейнеры транспортируются на сортировочные площадки.

Начальная стадия сортировки изношенной кладки мартовских 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 со шлаком и металлом размером более 500 мм, 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 обогащении огнеупорного лома для извлечения частиц металла, имеющих в шлаке, 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. 8.9.

Обогащение методом магнитной сепарации позволяет повысить качество и увеличить объем использования огнеупорного лома.

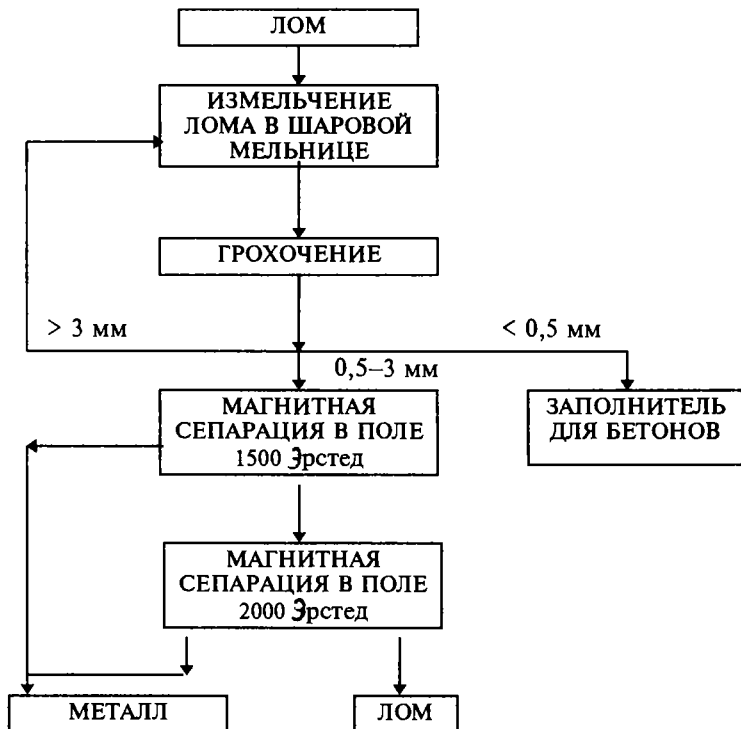


Рис. 8.9. Схема магнитной сепарации магнезиального лома

Огнеупорный лом используется как вторичное сырье для производства огнеупоров. Шамотный лом применяется при изготовлении нормального и ваграночного кирпича, в производстве пористой керамики, жаропрочных бетонов.

Магнезиальный лом используют при изготовлении периклазохромитовых и хромитопериклазовых изделий и порошков. Лом дианасовых изделий применяют в огнеупорной промыш-

ленности при изготовлении бетонных и диасовых 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, но позволяет экономить первичные огнеупоры.

8.5. Регенерация горелой земли

На многих машиностроительных предприятиях имеется свое литейное производство, использующее при изготовлении формованных литых металлических деталей формовочную землю для изготовления литейных форм и стержней. После использования литейных форм 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 электрокоронный.

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, т. к. в ней содержатся жидкие стекло и щелочь.

Контрольные вопросы

1. Что такое шлак? Каковы его состав и роль в металлургических процессах?
2. Каковы основные направления использования металлургических шлаков?
3. Каковы особенности и технологические схемы припечной и контактной грануляции доменного шлака?
4. Что такое шлаковая пемза? Какова роль воды при изготовлении пемзы?
5. Расскажите о технологии траншейного способа производства щебня из доменного шлака.
6. Назовите основные свойства минераловатных изделий и опишите схему их производства из шлака.
7. Приведите схему производства минеральных удобрений из шлаков.
8. Что такое шлакоситаллы? Каковы их свойства, состав и основные области применения?
9. Расскажите об особенностях утилизации шлаков цветной металлургии.
10. Как производится утилизация лома огнеупорных материалов?
11. Что такое горелая земля и каковы способы ее регенерации?
12. Расскажите о направлениях утилизации золы и топливных шлаков.

ГЛАВА 9

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.

9.1. Особенности строения полимеров

Полимеры составляют особую группу веществ. Они обладают очень ценными свойствами: высокой эластичностью в сочетании с низкой плотностью, прочностью, соизмеримой с прочностью металлов, и многими другими. Эластичность и жесткость, агрегатные и фазовые переходы и другие специфические свойства полимеров определяются гибкостью молекул и их межмолекулярным взаимодействием.

Межмолекулярное взаимодействие проявляется как на уровне самых низших структурных элементов — элементарных звеньев, так и на уровне более сложных образований — сегментов и целых макромолекул.

При нагревании полимеров на температурное воздействие в первую очередь реагируют сегменты макромолекул. С увеличением температуры потенциальная энергия сегментов растет и, достигнув величины энергии межмолекулярного взаимодействия, приводит к разрыву существующих межмолекулярных связей. Постепенно такой процесс при непрерывном подведении к полимеру тепла происходит вдоль всей молекулы. Молекулы начинают перемещаться друг относительно друга, т. е. полимер начинает течь. Следовательно, чем чаще и прочнее межмолекулярные связи в полимере, тем большую внешнюю энергию нужно приложить к полимеру для того, чтобы преодолеть энергию межмолекулярного взаимодействия в нем.

Ярким проявлением основных особенностей полимерного состояния является наличие высокоорганизованных структур полимеров в твердом и жидком состояниях, что определяет ряд физических свойств полимеров. Сложные агрегаты, образованные из большого числа макромолекул в результате действия межмолекулярных сил, создают *надмолекулярную структуру полимеров*.

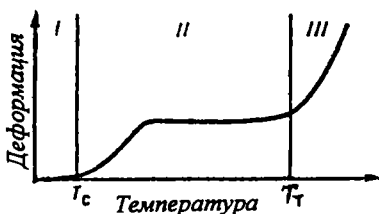
Принято различать три фазовых состояния вещества: кристаллическое, жидкое и газообразное. *Кристаллическое фазовое состояние* — устойчивое состояние твердого тела, характеризующееся дальним трехмерным порядком в расположении атомов, ионов, молекул. *Жидкое фазовое состояние*, наоборот, характеризуется отсутствием дальнего трехмерного порядка, и часто поэтому его называют *аморфным фазовым состоянием*. Газообразное фазовое состояние у полимеров не может быть реализовано.

В зависимости от температуры аморфные полимеры могут существовать в трех физических состояниях: *стеклообразном, высокоэластическом и вязкотекучем*.

Переходы полимеров из одного физического состояния в другое характеризуются определенной температурой: из стеклообразного состояния в высокоэластическое — температурой стеклования, а из высокоэластического состояния в вязкотекучее — температурой текучести (рис. 9.1). Такие переходы сопровождаются значительным изменением большинства свойств полимеров: механических, акустических, теплофизических.

Из рис. 9.1 видно, что выше температуры текучести деформация полимеров под нагрузкой очень велика. Это связано с увеличением подвижности молекул вследствие уменьшения межмолекулярного взаимодействия. Поэтому все процессы

Рис. 9.1. Типичная термомеханическая кривая линейного аморфного полимера: T_c — температура стеклования; T_f — температура текучести; I—III — температурные области трех физических состояний (соответственно стеклообразного, высокоэластического и вязкотекучего)



переработки в изделия термопластичных аморфных полимерных материалов и их отходов проводят при температурах выше температуры текучести, т. е. когда полимер находится в вязкотекучем состоянии. Практически все методы переработки полимеров в изделия (начиная от изготовления автопокрышек и кончая производством волокон и пленок) основаны на переводе полимера в вязкотекучее или расплавленное состояние и придании ему формы именно в этом состоянии, когда вся деформация полимера или ее большая часть является необратимой.

Отрасль науки, изучающая течение жидкостей, носит название *реологии* от греческого слова “рео”, что значит “течение”, “течь”.

Реологическое поведение полимеров и их растворов определяется температурой, природой полимера, его молекулярной массой и молекулярно-массовым распределением (ММР), а также напряжением и скоростью сдвига, при которых осуществляется течение раствора или расплава. Охарактеризовать реологическое поведение полимера можно, лишь установив зависимость вязкости от напряжения или от скорости сдвига либо зависимость напряжения сдвига от скорости сдвига и получив при этом *кривые течения*.

В технологической практике часто для оценки вязкости расплава полимера применяют показатель, называемый *индексом* или *текучестью расплава*. Показатель текучести расплава (ПТР) определяют в граммах полимера, прошедшего через капилляр данного диаметра и длины за время и при температуре, которые также строго регламентированы стандартами или техническими условиями. Заранее задана и нагрузка, прилагаемая к расплаву извне. Чем меньше ПТР, тем больше вязкость.

Часто в технологических или эксплуатационных целях бывает необходимо понизить характерные температуры полимера — температуры стеклования T_c и текучести T_r (если полимер аморфный) или $T_{пл}$ (если полимер кристаллический). Для этой цели в полимер вводится пластификатор.

В процессе хранения и эксплуатации под действием света, тепла, радиоактивных излучений, кислорода, различных химических веществ, механических напряжений изделия из полимеров стареют, т. е. происходит распад молекулярных цепей, а также сшивание макромолекул. Старение полимера является

причиной ухудшения его свойств: появляется хрупкость, жесткость, снижается прочность и эластичность. В итоге изделия из полимеров теряют работоспособность. Поэтому проблема защиты полимеров от вредного воздействия различных структурирующих и деструктурирующих факторов имеет важное значение.

Одним из основных химических агентов, вызывающих старение полимеров, является кислород, контакт с которым имеется практически у всякого полимерного изделия в условиях эксплуатации.

Старение полимеров может активироваться различными факторами: тепловым воздействием (термоокислительное старение), солями металлов переменной валентности (отравление полимера металлами), светом, излучениями высоких энергий (световое и радиационное старение), механическими воздействиями (усталость). Распад полимерных молекул может протекать также под действием высоких температур и в отсутствие кислорода (термическая деструкция, деполимеризация и тепловое старение), под влиянием озона (озонное и атмосферное старение), химических веществ, расщепляющих функциональные группы в полимерах, например, путем гидролиза (химическая деструкция).

В реальных условиях работы изделий из полимеров все эти деструктурирующие, а также структурирующие факторы действуют комбинированно и сильно усложняют разработку методов защиты полимеров от этих воздействий.

В широком смысле *старением* называется всякое изменение молекулярной, надмолекулярной и фазовой структуры полимерных материалов в процессе переработки, хранения или эксплуатации, приводящее к изменению их физико-механических свойств.

Тепловое воздействие является одной из наиболее часто встречающихся нагрузок при переработке и эксплуатации полимерных изделий.

Чувствительность различных материалов к нагреванию колеблется в достаточно широких пределах. Так, полиэтилен при нагревании деструктирует сравнительно медленно, полипропилен и полистирол быстрее, а ПВХ разлагается очень быстро.

Механодеструкция в большей степени протекает у полимеров в стеклообразном состоянии, в меньшей — в высокоэластическом и еще в меньшей — в вязкотекучем.

Химические реакции в полимерах вызываются также действием света или излучений высоких энергий. Обычно такие изменения вызываются светом с длинами волн 230—410 нм. При повышении температуры резко ускоряется процесс деструкции, который в этом случае называют фотолизом. Особенно чувствительны к действию света тонкие пленки из полимеров. Под действием ультрафиолетового облучения меняется окраска полимеров, уменьшается их прочность и вязкость растворов.

Для защиты полимеров и изделий из них от старения используют *стабилизаторы* — низкомолекулярные вещества, введение которых в полимерную композицию в очень малых количествах позволяет замедлить этот процесс.

Все эти особенности полимерных материалов необходимо учитывать при переработке промышленных отходов различных пластмасс, а также изделий из них, отслуживших необходимый срок (отходы потребления).

9.2. Изготовление композиций на основе полимеров

Переработка полимеров в изделия заключается в выполнении ряда производственных операций, объем и последовательность которых определяются технологическими и экономическими факторами, такими как природа полимера, тип изделия, которое необходимо получить (пленка, волокна, формованные изделия и т. д.), а также количество изделий.

Как правило, для получения конкретных полимерных материалов изготавливают многокомпонентные композиции, в которые помимо полимеров входят различные специальные добавки.

Ингредиенты, вводимые в полимеры, могут быть в виде газов, жидкостей или твердых частиц, причем каждая добавка оказывает специфическое влияние на полимер.

Введение в полимерную композицию добавок или вспомогательных материалов позволяет:

- изменить физические и химические свойства;
- предотвратить или замедлить деструкцию при старении;
- снизить стоимость материала;
- изменить цвет, прозрачность и другие оптические свойства

и внешний вид;

□ улучшить технологические свойства (способность к переработке).

При введении добавок в полимер должно обеспечиваться получение гомогенной массы материала в наиболее пригодном для переработки на соответствующем оборудовании виде. Выбор применяемого оборудования зависит от типа полимера и метода переработки. Для перемешивания полимерной композиции используют следующее оборудование: лопастные мешалки и смесители, вальцы, закрытые смесители, смесители-экструдеры.

Основное требование, предъявляемое к процессу смешения, – достижение равномерного распределения компонентов в смеси за минимально возможное время.

Простейший вид оборудования для смешения — барабанный смеситель: все компоненты загружают в барабан, который вращается одновременно в разных плоскостях, обеспечивая тщательное перемешивание смеси.

Лопастные смесители бывают двух видов: а) смесители с Z- и Σ -образными рабочими органами (лопастями); б) ленточные смесители. В Z- и Σ -образных смесителях роторы вращаются в двух смежных камерах с различными скоростями, обеспечивая возникновение сложного потока материала.

Роль лопастей в ленточном смесителе выполняет лента, обвивающая по спирали вал. Последний вращается в смесительной камере, выполненной в форме эллипсоидного цилиндра.

Смесители с псевдооживленным слоем позволяют осуществлять смешение быстро и с высокой степенью диспергирования. Движение компонентов обеспечивается регулируемыми струями воздуха.

Интенсивное перемешивание компонентов происходит на вальцах при прохождении материала в зазоре между валками. Валки вращаются в противоположных направлениях, в результате чего материал втягивается в зазор. Для интенсификации процесса смешения валки вращаются с различными скоростями (с так называемой фрикцией). Максимальное значение фрикции валков составляет 1:1,4.

Рабочую температуру валков, зависящую от природы смешиваемых компонентов, поддерживают за счет циркуляции пара, воды или другого теплоносителя через внутренние полости валков.

Смешиваемый материал проходит в зазор между валками и постепенно образует сплошное полотно, охватывающее передний (рабочий) валок, температура которого поддерживается на 3—5 °С выше, чем заднего. Производительность вальцов сравнительно низка, а трудовые затраты высоки. Поэтому их использование в промышленности ограничивается специальными технологическими процессами.

Интенсивное перемешивание компонентов происходит в смесителях закрытого типа. Загрузочная камера такого смесителя закрывается гидравлическим затвором. Эти машины в принципе схожи со смесителями с Z- и Σ -образными лопастями, установленными в закрытой сдвоенной смесительной камере. Хорошее перемешивание компонентов в смесителе закрытого типа достигается за счет развитой поверхности роторов, контактирующей с материалом, малой фрикции, относительно низкой температуры роторов, узкого рабочего зазора, создания сложной траектории потока перемешиваемых материалов.

Вальцы и смесители закрытого типа обеспечивают достаточно высокое качество смешения. Однако их использование для переработки полимеров сопряжено со значительными неудобствами из-за периодичности загрузки. Для обеспечения непрерывного процесса необходимо использовать шнековые экструдеры. Одно-, двух- и многошнековые экструдеры по выходу и качеству получаемого продукта значительно превосходят смесители закрытого типа.

Гомогенизирующая способность двухшнековых экструдеров выше, чем одношнековых.

9.3. Методы изготовления изделий из пластмасс

Большинство процессов переработки пластмасс в изделия включает в себя три основные операции: а) нагревание и размягчение полимера; б) собственно формование изделий; в) охлаждение изделий.

Прессование, хотя и является старейшим методом переработки полимеров в изделия, все еще остается одним из основных. Технология процесса состоит в том, что материалу под давлением до 200 МПа придают заданную форму. Прессованием перерабатывают как термореактивные, так и термопластичные полимерные материалы.

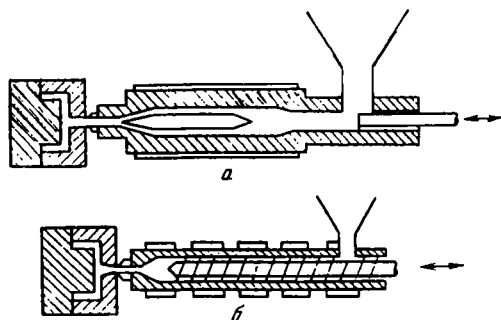
Прессование — удобный способ, которым можно получать изделия хорошего качества с высокой точностью размеров. Однако в аппаратном оформлении этот метод достаточно громоздок и малопроизводителен.

Прямое (компрессионное) прессование применяют главным образом для терморезистивных пластмасс и резин, хотя в принципе оно применимо и для переработки термопластов. Но в последнем случае необходимость охлаждения формы перед извлечением из нее изделия удлиняет цикл, усложняет процесс и часто делает его нерентабельным.

Дальнейшим логическим развитием прессования с предварительным нагревом полимерных материалов является метод литьевого прессования, при котором порция полимера расплавляется в камере перед формой, а затем расплав подается в форму, где осуществляют собственно прессование под давлением и отверждение.

Метод литья под давлением является развитием процесса литьевого прессования. По этой технологии полимер расплавляется в материальном цилиндре литьевой машины, а затем впрыскивается непосредственно в охлажденную форму. Процесс литья под давлением осуществляется на поршневых и шнековых машинах (рис. 9.2).

Рис. 9.2. Принципиальная схема поршневой (а) и шнековой (б) машин для литья под давлением



Использование шнекового (червячного) пластикатора с возвратно-поступательным движением шнека вместо плунжера позволяет не только нагреть и пластицировать полимер перед впрыском, но и улучшить гомогенизацию расплава и повысить точность дозирования.

Факторы, влияющие на качество конечного продукта при литье под давлением, сложны и взаимозависимы.

Экструзия — достаточно старый и хорошо известный технологический процесс. Ее применяют в различных отраслях промышленности для переработки самых разных материалов — от изготовления макарон до производства керамических труб. Любой, кто выдавливал зубную пасту из тюбика или пользовался мясорубкой, воспроизводил экструзионные процессы. Методом экструзии изготавливают различные погонажные изделия (трубы, пленки) и формованные выдувные изделия.

На рис. 9.3 показаны схемы технологических процессов изготовления изделий из полимеров, в основе которых лежит экструзия.

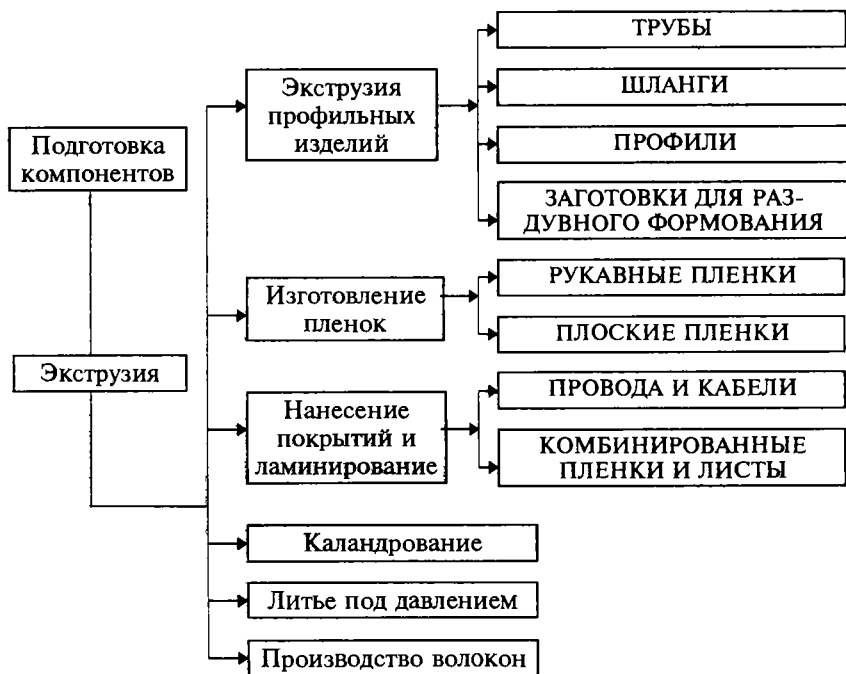


Рис. 9.3. Экструзия и технологические процессы на ее базе

Одно из основных достоинств одношнекового экструдера — относительная простота конструкции и, как следствие этого, низкая стоимость. В связи с этим одношнековые экструдеры широко используются в современной химической технологии.

Одношнековый экструдер обычно характеризуют основными параметрами шнека — диаметром и отношением длины к диаметру. Производительность экструдера зависит от его характеристик и от свойств перерабатываемого материала.

При конструировании формующего инструмента необходимо учитывать особенности течения расплавов полимеров.

Экструзионно-выдувной метод широко применяют для изготовления полых (объемных) изделий. С его помощью получают контейнеры различной емкости — от топливных баков до маленьких медицинских флаконов (рис. 9.4).

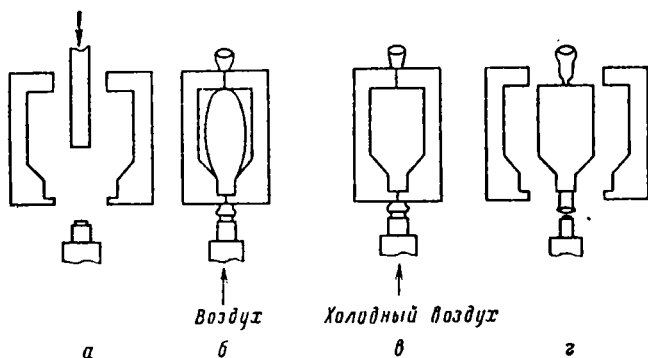


Рис. 9.4. Основные стадии получения пластмассовых бутылей экструзионно-выдувным методом:
 а — подача заготовки; б — выдувание; в — охлаждение изделия; г — удаление изделия из выдувной формы

Вначале экструдировать тонкостенную трубу (шланг), которая затем разрезается на отрезки определенной длины. Отрезок трубы, называемый заготовкой, помещают между двумя частями полый раздувной формы. Форму смыкают, после чего заготовку раздувают.

Каландрование является одним из методов переработки полимеров. В процессе каландрования получают листы и пленки из

пластмасс. Каландр состоит из трех или более нагретых валков. Проходя между ними, высоковязкая полимерная масса перерабатывается в пленку или лист. Масса материала подается в зазор между двумя первыми валками, оттуда она выходит уже в виде пленки. Затем материал проходит вокруг остальных валков, каждый из которых выполняет определенную функцию. В обычном четырехвалковом каландре имеются три формирующих (рабочих) зазора; первый регулирует скорость подачи материала, второй действует как дозирующее устройство. Толщину листа определяет зазор между последней парой валков (рис. 9.5). Эти валки могут быть глянцевыми, матовыми или рифлеными. Каландрование часто сравнивают с экструзией, рассматривая последнюю пару валков как фильеру с вращающимися поверхностями.

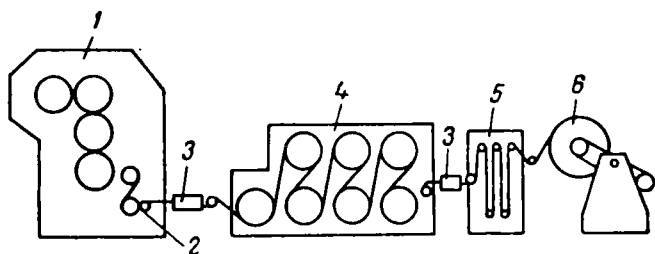


Рис. 9.5. Схема технологической линии на базе L-образного каландра для производства листов из пластмасс:
 1 — основной каландр; 2 — гофрирующий каландр; 3 — регулятор толщины; 4 — система водяного охлаждения; 5 — компенсатор; 6 — намотчик

Листы и пленки высокого качества можно с одинаковым успехом получать как каландрованием, так и экструзией. В общем случае нелегко оценить преимущества и недостатки этих процессов, и обычно приходится решать в каждом конкретном случае, какой метод следует выбрать. Можно, однако, констатировать, что пленки и листы из полиэтилена, полипропилена и полистирола чаще получают экструзией. Что касается переработки ПВХ, а также резины, то для этих целей почти всегда используют каландрование, так как при каландровании опасность деструкции полимера меньше, чем при экструзии.

Экструдеры легче размещать и удобнее обслуживать, чем каландры. Однако каландры обеспечивают более высокие рабочие скорости, чем экструдеры, что свидетельствует о преимуществе технологических линий на базе каландров, несмотря на то, что для их размещения необходимы большие производственные площади.

Термоформование изделий из листовых и пленочных полимерных материалов объединяет три основных метода: вакуум-формование, пневмоформование и формование с помощью сопряженных металлических форм. Всех их объединяет то, что при этом изделия из листовых пластиков можно получать, прижимая размягченный полуфабрикат к оформляющей внутренней или внешней полости формы.

Наибольшее распространение в промышленности имеет вакуум-формование (рис. 9.6). В этом процессе обычно используют листы, которые закрепляют в раме, а затем нагревают. По достижении необходимой температуры и состояния полимерного листа его нагрев прекращают и из полости между листом и формой откачивают воздух. Атмосферное давление прижимает лист к форме, на которой он охлаждается и затвердевает, точно воспроизводя ее геометрию.

Одно из основных преимуществ процесса термоформования состоит в низкой стоимости форм. При изготовлении образцов или опытных партий изделий обычно используют формы из таких материалов, как дерево, бетон, пластмассы и металлонаполненные эпоксидные смолы. Формы, предназначенные для длительной

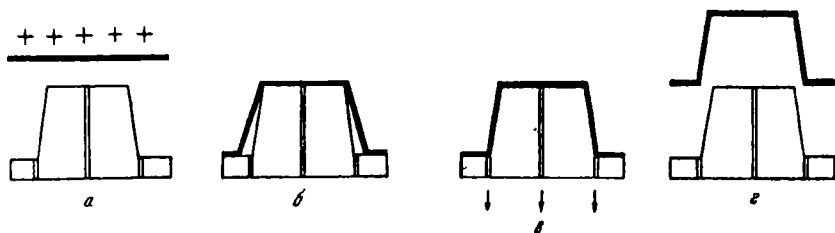


Рис. 9.6. Последовательность операций при вакуум-формовании заготовки с предварительной вытяжкой пуансоном:

а — нагрев заготовки; б — предварительная вытяжка материала; в — формование вакуумом; г — удаление отформованного изделия

эксплуатации, как правило, выполняют из стали или алюминиевых сплавов.

Технология термоформования относительно проста и дешева, при этом используется простое оборудование, а исходными материалами служат пленки в рулонах или листы. Недостаток этой технологии состоит в большом количестве образующихся отходов, которое при формовании некоторых изделий достигают 40 %.

9.4. Утилизация отходов пластмасс

Утилизация отходов пластмасс ввиду 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.

Отходы термопластичных пластмасс можно классифицировать следующим образом:

- ♦ технологические отходы производства, образующиеся при синтезе и переработке пластмасс и составляющие от 5 до 35 % (по массе). 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.

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 производится. Поэтому значительная часть отходов пластмасс не перерабатывается.

Захоронение отходов ведет к загрязнению окружающей среды и нерациональному использованию ресурсов. Сжигание также наносит ущерб природе, но при этом хотя бы возможно использовать выделяющееся при горении тепло.

Создание био-, фото- и воздухоразрушаемых полимеров хотя и возможно, но во многих случаях нерационально, так как такие материалы не обладают необходимыми эксплуатационными свойствами. Они могут найти применение для изготовления упаковочных пленочных материалов, одноразовой посуды и тары, так как эти изделия имеют ограниченный срок эксплуатации. Однако издержки при изготовлении таких полимерных материалов выше, чем при производстве обычных пластиков, и поэтому создание полимеров, способных к быстрому разложению под воздействием факторов окружающей среды, имеет ограниченное значение.

В промышленности применяются 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.

Основной путь 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.

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.

Весьма перспективна переработка отходов пластмасс пиролизом, в результате которого из пластмассовых отходов при 425 °С и давлении 20 МПа 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.

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 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, уменьшение количества остановок оборудования на ремонт или замену формующей оснастки.

В общем виде последовательность операций при переработке отходов пластмасс с целью их повторного использования представлена на рис. 9.7.

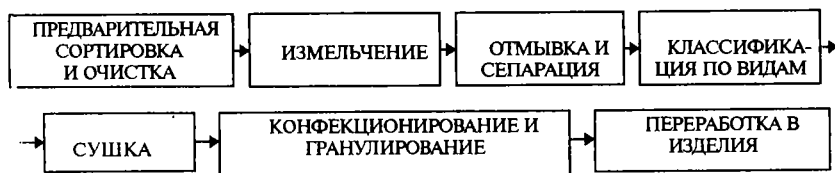


Рис. 9.7. Последовательность операций при переработке отходов пластмасс

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 технологического процесса, показанного на этой схеме. Бытовые полимерные отходы, наоборот, нуждаются в тщательной подготовке. Производственная схема переработки таких отходов пластмасс приведена на рис. 9.8.

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.

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

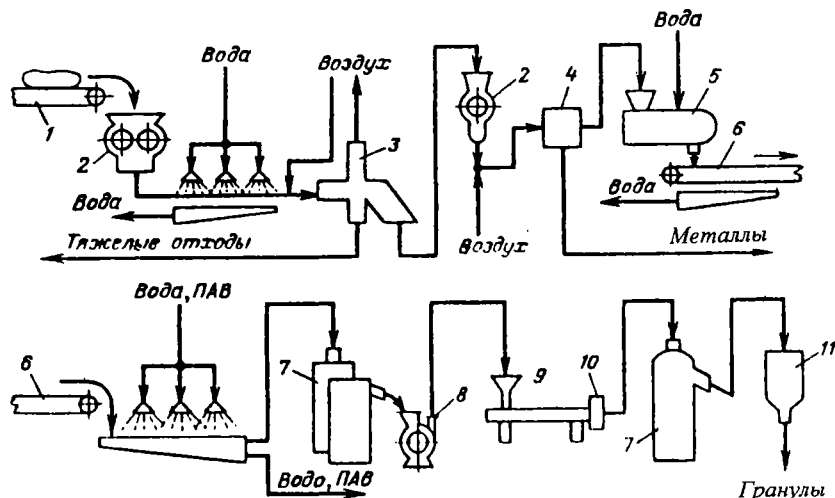


Рис. 9.8. Производственная схема переработки отходов пласт масс:

1 — конвейер; 2 — дробилка; 3 — воздушный классификатор; 4 — магнитный сепаратор; 5 — промыватель; 6 — конвейер; 7 — центробежные сушилки; 8 — дробилка; 9 — бункер; 10 — экструдер; 11 — бункер для гранул

специализированные предприятия по переработке отходов. Если количество полимерных отходов невелико, то целесообразно передавать их на переработку предприятию—изготовителю первичной продукции.

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), которым подвергают полимер 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 настолько больших затрат, что 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 околomашинный сбор отходов).

Околomашинная переработка отходов позволяет добавлять к первичному сырью наиболее близкие по свойствам вторичные материалы, при этом устраняется необходимость их сортировки по цветам, 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 сортировка должна производиться на местах образования, так как переработка нерассортированных отходов у потребителя связана со значительно более высокими затратами на сортировку и дополнительную очистку отходов от загрязнений.

С целью 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. 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 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 терморезистивного, следует приложить к образцу раскаленный металлический предмет. Если при этом поверхность контакта с ним 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, вероятнее всего, из неполярного полимера — *полиэтилена* или *полипропилена*. Продукты горения таких материалов пахнут горячей 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. 9.1.

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.

Т а б л и ц а 9.1

Особенности горения полимеров

Полимер	Поведение при горении	Запах при горении
Полиэтилен, полипропилен	Горит голубым пламенем с желтой верхушкой, мало дыма, капли расплава	Горящего парафина
Поливинил-ацетат	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
Полиэтилен-терефталат	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 запах формальдегида
Поливинилхлорид	Горит зеленым с голубой верхушкой пламенем, при выносе из пламени затухает	Резкий

Повторному использованию отходов термопластов, как правило, предшествует переработка, связанная с их *измельчением* и *гранулированием*. С этой целью разработаны специальные машины и установки для переработки отходов самых разнообразных форм и размеров для получения вторичного сырья, которое по форме и размерам в значительной мере соответствовало бы первичному сырью.

Первичное сырье, используемое при переработке пластмасс, представляет собой главным образом гранулы со стандартной величиной зерен, с постоянной объемной массой и хорошей сыпучестью.

Отходы термопластов должны иметь аналогичный гранулометрический состав.

Крупногабаритные отходы пластмасс предварительно нарезаются на циркулярных пилах или ленточно-пильных станках.

Для гранулирования 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. 9.2 приведены характеристики роторных измельчителей, выпускаемых отечественной промышленностью. Конструкция роторно-ножевого измельчителя изображена на рис. 9.9.

Таблица 9.2

Характеристики роторных измельчителей пластмасс

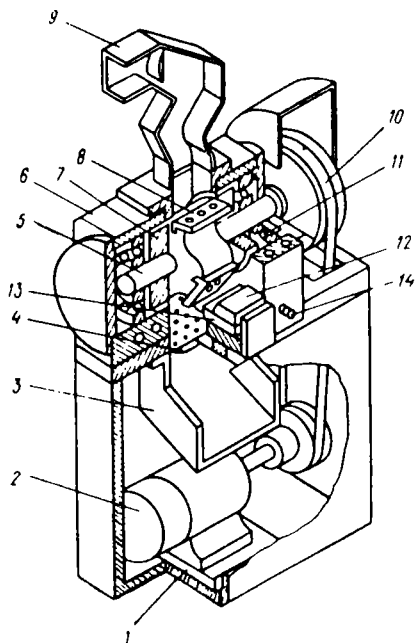
Техническая характеристика	Марка гранулятора			
	ИПР-100	ИПР-150	ИПР-300	ИПР-450
Производительность, кг/ч	25—60	50—150	150—350	200—1500
Диаметр ротора, мм	100	150	300	450
Скорость вращения ротора, об/мин	1500	1300	700	700
Количество ножей ротора, шт.	3	3	9	15
Количество неподвижных ножей, шт.	2	2	2	3
Зазоры между ножами, мм	0,1	0,1	0,1—0,2	0,2—0,4
Мощность электропривода,	1,0	1,6	18,5	27,5

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 необходимо при падении производительности измельчителя на 20—30 % от первоначального значения при работе на одном материале проводить периодическую заточку ножей.

Степень измельчения отходов определяется размером ячеек сита, ограждающего камеру помола со стороны выхода измельченного материала. Размер частиц измельченных отходов

Рис. 9.9. Конструкция роторно-ножевого измельчителя с водяным охлаждением:

1 — поворотная плита; 2 — электродвигатель; 3 — лоток; 4 — съемная калибрующая решетка; 5 — ротор; 6 — статор; 7 — маслоотражатели; 8 — ножи ротора; 9 — загрузочный бункер; 10 — маховик; 11 — упорные подшипники; 12 — маслодробители; 13 — регулируемые ножи статора; 14 — штуцер для подачи воды



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 вязких термопластов, в том числе полиамида, полиэтилена, пластифицированного поливинилхлорида и др., производительность роторных дробилок сильно падает по сравнению с паспортными данными и составляет всего 20—30 % (для полиэтилена) и 35—55 % (для полиамида) от паспортного значения. Для их измельчения перспективно использование криогенной техники. После глубокого охлаждения таких отходов в среде жидкого азота (температура испарения $-195,8^{\circ}\text{C}$) полимер переходит в стеклообразное состояние и становится хрупким, что значительно упрощает его измельчение.

Некоторые виды отходов можно измельчать после охлаждения в среде сжиженного углекислого газа (температура испарения $78,5^{\circ}\text{C}$). Хладагенты вводят или 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 Вт · ч/кг 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. Поэтому отходы такого типа, имеющие насыпную массу менее 0,25 г/см³, превращают в гранулят с помощью экструдеров, т. е. с помощью 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 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 скользящими вдоль решетки ножами. Полученные при резке гранулы охлаждаются воздухом или водой. При гранулировании полиоле-

финов 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 м³ на 1 т гранулята. Размер получаемых гранул зависит от размера и формы отверстий, скорости вращения шнека и количества срезающих ножей.

При гранулировании в экструдере материал постоянно находится под воздействием механических сил и 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 отходов термопластов всех видов: полиэфирных, полипропиленовых, полистирольных, полиамидных, поливинилхлоридных и других.

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 раблей, в которой расположена головка, оснащенная 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 поставленные устройство охлаждения и режущие элементы, получают гранулят. Размер частиц 2—15 мм, насыпная плотность 400 кг/м³. 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.

Разделение смесей термопластов можно осуществить сочетанием процесса 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 из легкого компонента равна скорости оседания самых малых частиц тяжелого компонента. С помощью этого метода можно разделить до пяти-шести видов материалов.

Хорошие результаты получаются при последовательном разделении отходов различных пластмасс методом флотации в солевых растворах с различной плотностью.

Рассмотрим для примера последовательность технологических операций при разделении смеси следующего состава: 54 % — поливинилхлорида (ПВХ) (плотность 1,38 г/см³); 22,7% — полистирола (ПС) (плотность 1,05 г/см³); 22,3% — полиэтилена (ПЭ) (плотность 0,95 г/см³). Отходы измельчают до частиц размером не менее 4 мм и подают в бункер, куда заливают разделительную жидкость с плотностью 1,08 г/см³ в таком количестве, чтобы на 1 объемную часть полимеров приходилось 60 частей жидкости. В качестве разделительной жидкости используют воду с добавлением поваренной соли. Суспензия, получаемая в смесительном бункере, подается центробежным насосом в гидроциклон. Коническая часть гидроциклона для отделения ПВХ имеет угол 9°, а отношение длины верхней цилиндрической части к диаметру равно 4.

В гидроциклоне часть несущей жидкости сливается через край вместе с ПС и ПЭ, а другая часть выводится через нижнее отверстие вместе с фракцией ПВХ, частицы которого потонули. Перелившаяся через край смесь состоит из 49,5 % ПС и 50,5 % ПЭ. Жидкость, сливаемая через сито, возвращается по трубам в бункер. ПС и ПЭ от остатков соли промывают водой. Из нижнего сливного отверстия на сито подается фракция, содержащая 98,9 %

ПВХ, который также промывают водой от соли. ПС и ПЭ направляют в другой бункер, где они суспендируются в несущей жидкости с плотностью $0,97 \text{ г/см}^3$, например состоящей из спирта и воды, для проведения следующей ступени разделения в гидроциклоне с почти плоским дном, угол конуса которого составляет 170° . Отношение высоты верхней цилиндрической части гидроциклона к его диаметру равно 8. Перелившаяся из гидроциклона фракция попадает на сито и содержит 90,8 % ПЭ, выход его составляет 94,4 %. Фракция, выведенная через нижнее отверстие и собранная на другое сито, содержит 94,4 % ПС, выход которого составляет 90,3 %.

9.5. Особенности переработки отходов некоторых термопластов

Переработка отходов полиолефинов. Полиолефины — самый многотоннажный вид термопластов, которые находят широкое применение в различных отраслях промышленности, транспорта 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 отходы потребления полиэтилена низкой плотности в 1995 г. достигли 2,0 млн. т.

Способы переработки отходов полиолефинов зависят от марки полимера и их происхождения. Наиболее просто перерабатываются технологические отходы, т. е. отходы производства, которые не подверглись 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 также не претерпевают значительных воздействий вследствие своей конструкции и назначения (толстостенные 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, оказываемого на полимер при переработке 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. 9.3 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 9.3

Изменение свойств полиэтилена низкой плотности при повторной переработке и при старении

Наименование показателя	ПЭ		
	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, поверхностно-активные вещества 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.

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 с целью 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.

Многokратная переработка другого полимера из класса полиолефинов — полипропилена приводит обычно к увеличению 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. 9.4 приведено изменение свойств полипропилена в процессе многократной переработки.

Т а б л и ц а 9.4

Влияние многократной переработки методом литья под давлением на свойства полипропилена

Наименование показателя	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 ²	1300	1 250	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 м³/т, расход воды для отмывки пленки 5,5 м³/т, размеры гранул 4×4 мм.

Отечественная линия ЛПВ-2000 (рис. 9.10), выпускаемая в г. Пензе 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, ИРПП-300-600 — для пленочных отходов). Измельченные отходы в виде пульпы поступают в шнековый промыватель, откуда отмытые отходы 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.

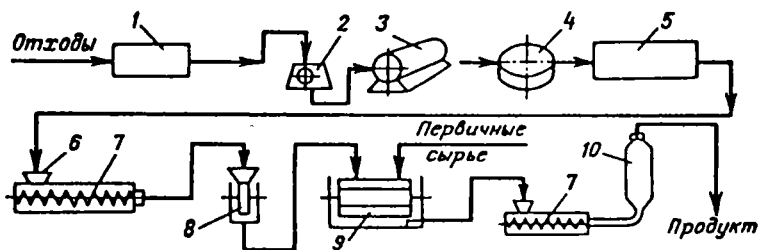


Рис. 9.10. Схема производства вторичной полиэтиленовой пленки: 1 — узел сортировки отходов; 2 — дробилка; 3 — моечная машина; 4 — центрифуга; 5 — сушилка; 6 — питатель; 7 — экструзионные прессы; 8 — гранулятор; 9 — смеситель; 10 — пленочный агрегат

Переработка отходов поливинилхлорида. Поливинилхлорид и его сополимеры широко применяют в производстве покрытий для полов, стен, мебели, различных обивочных искусственных кож, пленок, 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 образуется до 1500 т 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 перемешивания обрезков искусственной кожи различных цветов.

В общем виде схема регенерации отходов искусственной кожи и пленочных материалов представлена на рис. 9.11. По такой схеме можно изготавливать различные покрытия для полов (линолеум, линолеумную плитку), искусственные кожи технического назначения и другие материалы.

Отходы искусственных кож сначала поступают на измельчение в дробилку.

Из дробилки получившаяся крошка через пропускное отверстие выталкивается в накопительную емкость.

При переработке отходов сильно загрязненных ПВХ-пленок основным процессом подготовки является их очистка и промывка, которые осуществляются в промывочном устройстве, включающем горизонтально расположенную 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



Рис. 9.11. Схема регенерации отходов искусственной кожи и пленочных материалов

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 промывочного устройства ниже зоны турбулентности, создаваемой мешалкой, собирают включения, отделенные от крошки, и выводят их через трубопровод. Крошку, поднятую вертикальным транспортером, разгружают на желоб, по которому она стекает во входное отверстие, питающее воздухоудку, и из нее выдувается на вихревое сито. Подсушенная крошка падает вниз и захватывается поперечным потоком подогретого воздуха, создаваемым подъемной воздухоудкой. Высушенная крошка по трубопроводу через цик-

лоны направляется на гомогенизацию на рифайнер-валцы.

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.

Наиболее целесообразно было бы при использовании отходов искусственных кож предварительно производить отделение пленочного полимерного покрытия 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 обрабатывают 20 %-ным раствором серной кислоты для удаления остатков волокон основы, обрабатывают 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 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 текстильную основу (пленок, листовых материалов, безосновного 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 механо-деструкционных 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 (табл. 9.5).

Т а б л и ц а 9.5

**Свойства искусственной кожи на тканевой основе
с монолитным покрытием**

Наименование показателя	Единица измерения	Свойства материала	
		с использованием отходов	без отходов
Масса 1 м ²	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, изображенной на рис. 9.12.

Процесс осуществляется с использованием технологического оборудования, используемого 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.

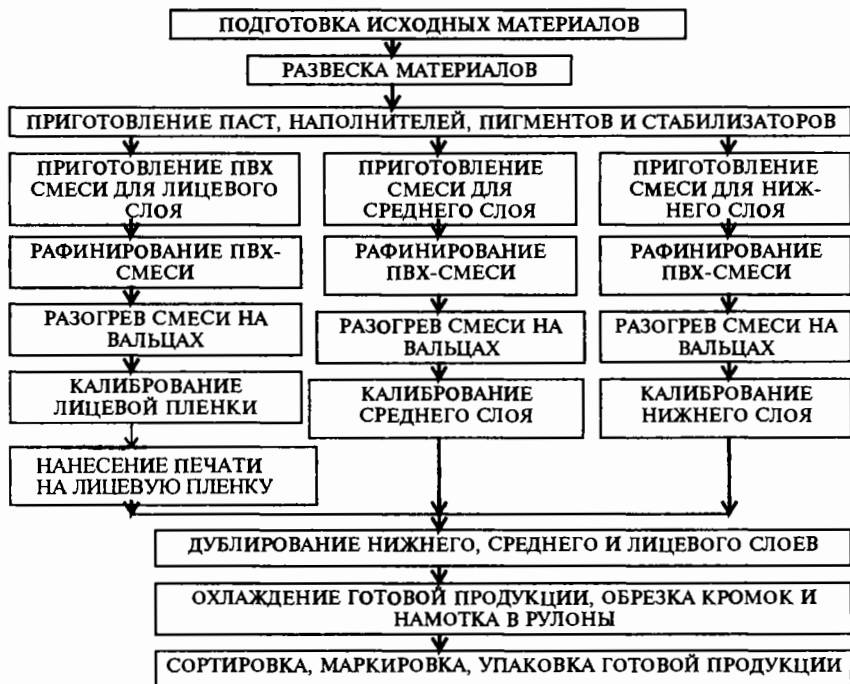


Рис. 9.12. Схема процесса производства трехслойного линолеума с применением отходов искусственной кожи

Способ состоит из следующих стадий:

- 1) измельчения отходов, обработки их в полярном растворителе в течение времени, достаточного для полного растворения полимера;
- 2) фильтрации полученной смеси и отделения фильтрата, содержащего полимер, от твердого осадка, содержащего нерастворимые компоненты отходов;
- 3) осаждения полимера из раствора добавлением воды, насыщенного углеводорода, имеющего более низкую температуру кипения, чем использованный растворитель, или смеси указанного углеводорода и алифатического спирта с $C_1 - C_4$;
- 4) восстановления осажденного полимера или сополимера.

Схема химической переработки отходов искусственных кож с ПВХ покрытием представлена на рис. 9.13.

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.

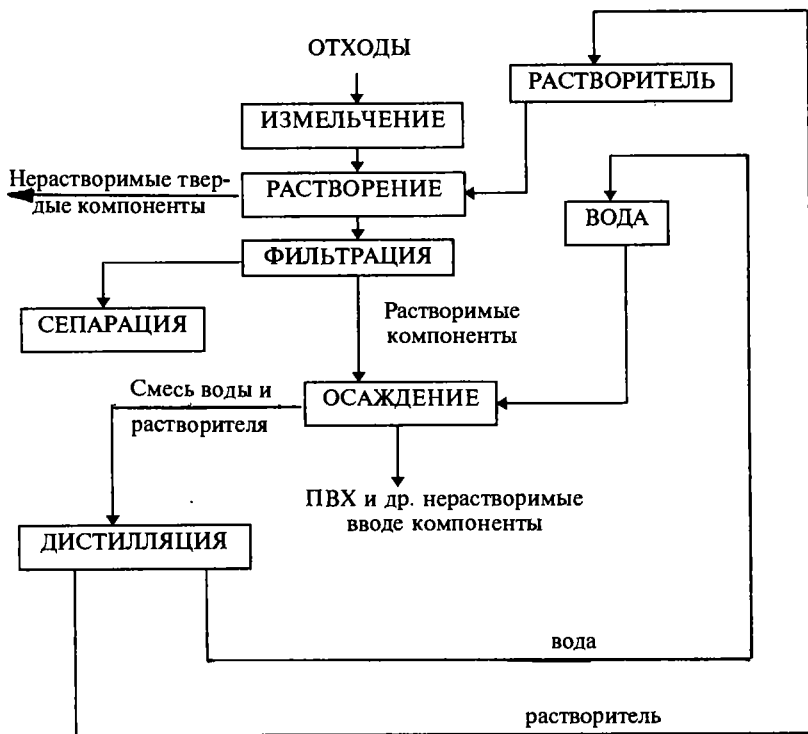


Рис. 9.13. Схема химической переработки отходов искусственных кож с ПВХ покрытием

Готовый раствор фильтруется на центрифуге, осадок, оставшийся на фильтре, высушивается и сепарируется.

Фильтрат, содержащий все растворенные ингредиенты, при быстром перемешивании обрабатывается водой. Осажденные 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 восстанавливают 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 приобретает особое значение в современных условиях, так как позволяет получить значительную экономию энергии (до 80 %) и ценного химического сырья.

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 рео-

логические 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 первому направлению измельченные отходы эластичного пенополиуретана (ППУ) на основе простых полиэфиров при температуре 180—200 °С при непрерывном перемешивании обрабатывают низкомолекулярным 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. 9.6 приведены физико-механические показатели изделий, изготовленных с использованием заливочных 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 амины и жидкие полимерные продукты.

Физико-механические показатели изделий, изготовленных с использованием отходов ПУ

Наименование показателей	Значение показателя 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
Сопротивление раздиру, Н/мм	96	82	78
Твердость по Шору, усл. ед.	94	93,5	92

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 % (по массе).

Например, для изготовления различных упругих деталей используют композицию, состоящую из 6—25 % уретанового форполимера, 4—5 % полистирола и 60—90 % измельченных отходов ПУ.

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 и полученные компаунды представляют собой эластичные термопластичные материалы, которые обладают хорошими физико-механическими свойствами и применяются при изготовлении формованных деталей методом литья под давлением.

В табл. 9.7 представлены физико-механические показатели таких деталей.

Т а б л и ц а 9.7

Физико-механические показатели формованных деталей

Наименование показателей	Значение показателей
Прочность при растяжении, МПа	50
Относительное удлинение, %	300
Плотность, г/см ³	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. Более высокая температура 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, формования пленок, листов, а также формованных изделий путем центробежного нанесения и спекания. Полиамидные порошки применяются для изготовления 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 полиамиду, 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 смешением 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. Так, в автомобильной промышленности используются изделия из ударопрочного полистирола, из акрилонитрилбутадиенстирола (АБС). Это детали облицовки интерьера, различные крупногабаритные детали, получаемые термоформованием из листовых материалов. 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: техно-

логические промышленные; сильно загрязненные; амортизованные 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. 9.8 приведены данные об изменении свойств полистирола в процессе многократной переработки.

Таблица 9.8

Влияние многократной переработки на свойства ударопрочного полистирола

Наименование показателя	Кратность переработки				
	1	2	3	4	5
Удельная ударная вязкость, кДж/м ²	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 значительные деструктивные процессы, протекающие при многократной переработке полистирола, о чем свидетельствует уменьшение молекулярной массы, его основные физико-механические свойства изменяются незначительно.

Многократная (до 5 раз) экструзия полистирола (см. табл. 9.8) приводит к незначительному увеличению показателя текучести расплава (ПТР) и небольшому уменьшению прочностных свойств. И то же время относительное удлинение уменьшается почти в 2 раза

Бракованные и амортизированные изделия из полистирола перерабатывают после измельчения, как правило, в смеси с первичным продуктом. Измельчение проводится на роторных измельчителях, а полученная крошка вследствие однородности по гранулометрическому составу не требует дополнительной грануляции через расплав. 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 совмещать 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 °С, т. е. не достигая плавления, частицы полистирола слипаются между собой и налипают на детали оборудования. Образующиеся крупные агломераты мешают процессу, поэтому при переработке полистирольной пленки необходимо особо тщательно следить за температурой.

Переработка отходов пенополистирола требует особого подхода. Этот материал применяется для упаковки радиоприборов, аудиотехники, посуды, холодильников и т. д. Отходы пенополистирола сначала нагревают в течение 7 мин до 110 °С, т.е. выше температуры стеклования, которая составляет 105 °С. Объем вспененного полимера уменьшается на 40 %. Полученную смесь

вакуумируют при давлении 1,3 кПа, после этого ее объем уменьшается еще на 30 %. В итоге объем материала уменьшается до 6,5 % от исходного. 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 удается.

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 % (по массе) 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 °С. При температуре выше 200 °С происходит интенсивная термодеструкция АБС-пластика, что приводит к значительному уменьшению его прочностных свойств и ухудшению других характеристик.

9.6. 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 образовавшейся в процессе сшивания макромолекул трехмерной сетки, препятствующей переходу полимера в расплав при нагревании (или в раствор при растворении).

Однако реактопласты содержат небольшое количество несшитого полимера, что позволяет использовать измельченные отходы 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 применения 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, перешли 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 сортируются. Сортировку выполняют с целью 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 крупный возвращается на доизмельчение, а мелкий 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 внешнего вида.

Особую сложность представляют отходы стеклопластиков, которые состоят из реактопластов и непрерывного стеклянного наполнителя в виде нитей или текстильной основы. Стеклянный наполнитель, являясь чрезвычайно прочным, 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 органо-минеральным наполнителем (ОМН). ОМН помимо роли наполнителя 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 прессовочных 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 асфальто-битумных смесей, для изготовления полимербетона, для устройства гидроизоляции промышленных сооружений. По сравнению с полимербетоном на основе минеральных наполнителей полимербетоны 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. В табл. 9.9 приведены свойства полимербетона с содержанием ОМН 30 массовых частей на 100 массовых частей композиции.

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 которого происходит пиролиз органической части, разрушение композиционного материала, 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, оксид азота и др., состоит из пяти ступеней: каталитического окисления, высокотемпературного сжигания углеводородов, восстановления оксидов азота аммиаком, адсорбционной очистки и очистки на волокнистом фильтре.

Таблица 9.9

Свойства полимербетона на основе отходов стеклопластиков

Наименование показателей	Значение показателей
Прочность при 20 °С: при сжатии при растяжении	20—70 МПа 7—25 МПа
Водонасыщение	0,3—0,6 % (объемн.)
Относительное удлинение при 20 °С	2,5—5,0 %
Мгновенный модуль упругости при 20 °С	2000—7000 МПа

9.7. Классификация резиновых отходов и способов их переработки

Особенности химического строения эластомеров, заключающиеся в наличии длинных молекул с радикалами, 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 экономики.

В то же время именно эти свойства, в ряде случаев усугубляющиеся сложной конструкцией изделия (например, шин), являются основой значительных трудностей, связанных с утилизацией отработанных резиноподобных материалов.

Изделия из резины, благодаря уникальным свойствам этого материала (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 может быть очень различным и 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 их смешение между собой 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. 9.14.



Рис. 9.14. 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 ковриков, кровельных материалов, рукавиц, поддонов для пола салонов легковых автомобилей и других неотвественных 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 % (по массе).

Невулканизованные и частично вулканизованные резиновые отходы используют для изготовления шифера и кровли (соответственно 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 резино-содержащих отходов можно разделить на *химические*, *физико-химические* и *физические* (рис. 9.15).

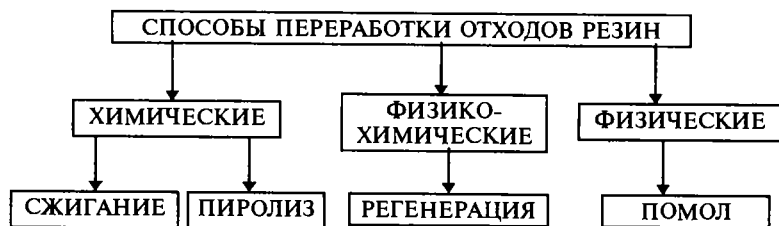


Рис. 9.15. Классификация способов утилизации отходов резин

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 является недостаточно эффективной, поскольку она не позволяет сохранить исходные полимерные материалы.

Физико-химические методы переработки отходов, под которыми имеется в виду 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 отходов представляют собой различные способы их измельчения с целью получения резиновой крошки (муки), наиболее полно сохраняющей свойства 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. Если процесс измельчения происходит при температуре ниже температуры стеклования полимера, то его деформации невелики и разрушение носит хрупкий характер.

Наиболее крупными по габаритам, многотоннажными 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. При этом накопление изношенных шин происходит по всей территории нашей страны, включая отдаленные и плохо

освоенные территории, где сбор и транспортировка шин к месту их утилизации являются дорогостоящими мероприятиями и практически неосуществимы. Несмотря на значительную рас-средоточенность регионов накопления, шины являются основным источником сырья для получения вторичных материальных ресурсов, образующихся при переработке резиносодержащих отходов.

В этой связи следует упомянуть об опыте Японии, добившейся утилизации 75 % всех изношенных автопокрышек, в том числе 30 % используется для производства регенерата, 38 % — для получения тепловой энергии, 7 % — для производства восстановленных шин, остальное количество — для укрепления берегов и в дорожном строительстве без предварительной обработки.

9.8. Изготовление и применение резиновой муки

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 следующей 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 помолочные вальцы, 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, вальцы, роторно-ножевые дробилки и другое оборудование.

Традиционно применяемое у нас в стране оборудование для дробления резиновых отходов — вальцы. За рубежом чаще применяют дисковые и роторные измельчители. Однако схема, основанная на применении вальцов, является более производительной и менее энергоемкой.

Наиболее простая технология измельчения отходов резины представлена на рис. 9.16. Крупные отходы резины поступают на дробильные вальцы 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 размера 0,3—5 мм. Необходимость разделения потока после мельницы грубого помола вызвана более длительным процессом 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.

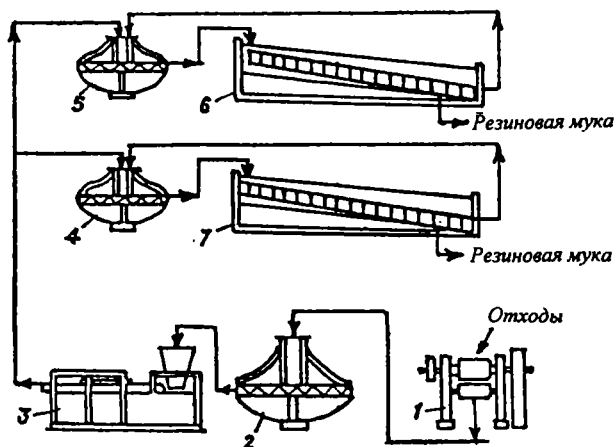


Рис. 9.16. Технологическая схема измельчения резиновых отходов

Производительность такой линии 300—350 кг/ч резиновой муки с размером частиц до 1 мм. Более половины частиц имеют размер менее 0,5 мм.

Покрышки с металлокордом по описанной технологии измельчить нельзя. Для этого используется другое, более мощное оборудование, предусматривающее предварительное вырезание из покрышки бортовых колец и нарезку покрышек на куски.

В последнее время за рубежом получило широкое распространение криогенное измельчение резиносодержащих отходов, и прежде всего изношенных шин, основанное на новейших представлениях о прочности полимерных материалов. В частности, используется тот факт, 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; исключение загрязнения окружающей среды.

Эффективность криогенного измельчения покрышек является следствием:

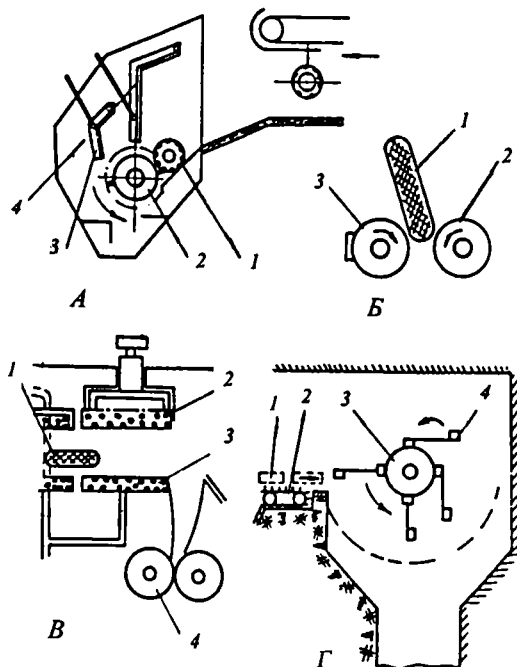
- ослабления связи между металлокордом и резиной при низкой температуре, что приводит к частичному отделению резины от металла;
- резкого снижения эластичности резины и ее хрупкого разрушения уже при незначительных деформациях.

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. 9.17) дробилках. Наиболее эффективно применение оборудования, изображенного на рис. 9.17, 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 установки.

Рис. 9.17. 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. 9.18. 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 спрофилированные пуансон и матрицу, на которых происходит разбивание стеклообразной покрышки. Энергия удара составляет 38 кДж, ход пуансона 700 мм, масса пуансона 800 кг.

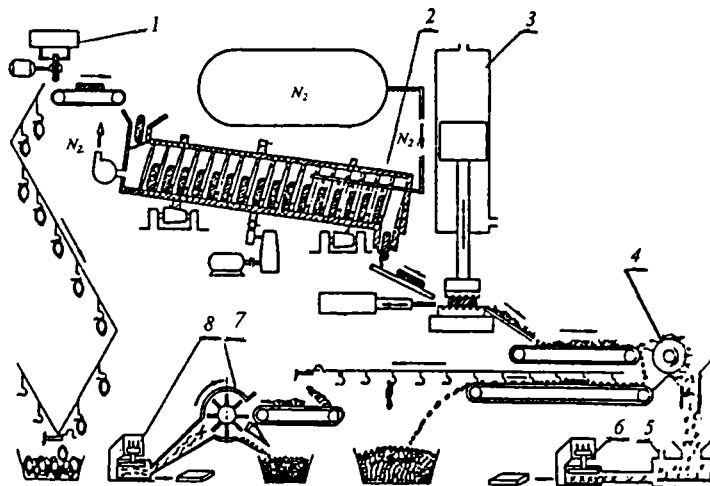


Рис. 9.18. Схема криогенного дробления изношенных покрышек

Измельченная покрышка после молота транспортером подается на шкивной железобетонный сепаратор 4, где происходит разделение резины, текстиля и металла. Резиновая крошка поступает на сепарацию, фракционирование и доизмельчение на стандартных дробильных и размольных вальцах.

Металлокорд поступает в обжигную 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 от 1,25 до 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.

Для резки и измельчения амортизированных шин с металлокордом целесообразно применение двухроторных машин с дисковыми ножами, имеющих большую мощность. Однако сегодня, несмотря на многочисленные работы, надежного про-

мышленного оборудования для измельчения шин с металлокордом не создано. Рабочие органы машин при измельчении таких покрышек интенсивно изнашиваются.

Интересный способ отделения резины от металлокорда после измельчения покрышек предложили японские инженеры. Они предлагают продукты измельчения подвергнуть высокочастотному нагреву, в результате которого происходит нагрев металла и обугливание пограничного с ним слоя резины. Вследствие этого происходит ее отслоение 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 возможное количество 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, составляющих несколько микрон, что достигается при новейших способах измельчения, например, 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, обеспечиваемые дорожному покрытию резиновой фракцией, делают этот материал весьма полезным для создания дорог в регионах с большими температурными перепадами, при 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 обычных бетономешалках (бетонные смеси) или обогреваемых смесителях (асфальтовые смеси). Для укладки покрытия используются обычные дорожно-строительные машины.

9.9. 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 резина 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. В процессе 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.

Этот перечень протекающих изменений 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 получения 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.

При получении регенерата *водонейтральным* способом (рис. 9.19) 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 не должно превышать 10 % (по массе). 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 — температура поднимается до 180±5 °С,

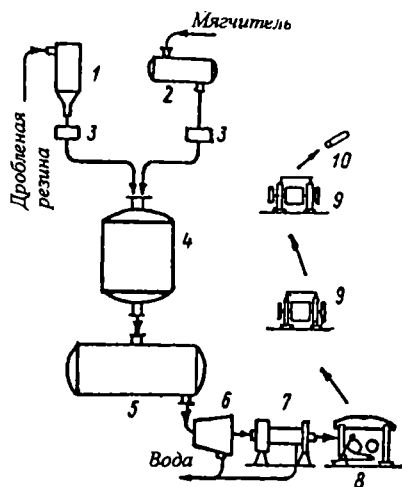


Рис. 9.19. Схема производства регенерата водонейтральным способом:

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

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 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% (по массе). По этой технологии (рис. 9.20) резиновая крошка непрерывно подается в двухчервячный смеситель, охлаждаемый водой.

Под влиянием механических воздействий и температуры в смесителе в тонком зазоре между шнеком и корпусом происходит девулканизация резины за счет тепла, выделяющегося при деформации резины, и воздействия кислорода и мягчителя. Средняя длительность пребывания резины в шнековом смесителе не превышает 7 мин, осевое усилие, развиваемое шнеком, составляет

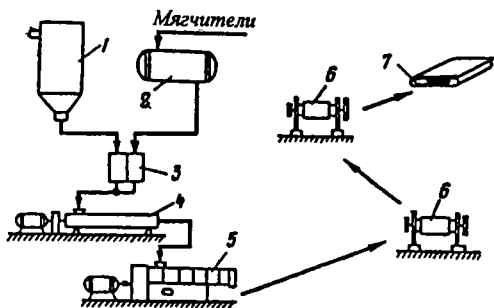


Рис. 9.20. Схема производства регенерата термомеханическим способом: 1 — бункер резиновой крошки; 2 — емкость с мягчителем; 3 — дозаторы резиновой крошки и мягчителя; 4 — смеситель непрерывного действия; 5 — червячный девулканизатор; 6 — рафинировочные вальцы; 7 — готовая продукция

1000 кН. Температура продукта, выходящего из головки шнека, не должна превышать 190°C , для чего корпус шнека охлаждается водой. При дальнейшем прохождении через червячный девулканизатор продукт охлаждается до $70\text{--}80^{\circ}\text{C}$ 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. С целью 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.

Отечественная промышленность выпускает шесть марок регенерата, свойства которых зависят от используемого сырья и технологии производства (табл. 9.10).

Регенерат является ценным вторичным сырьем и используется при изготовлении резино-технических изделий, подошвенных резин и шин. Потребление регенерата в шинной промышленности

Свойства регенерата

Наименование показателя	Марка регенерата				
	РШТ	РСТ	РЦ	РКЕ	РС
Содержание летучих, % (по массе), при: 110 °С	≤ 0,6	≤ 0,65	—	—	—
150 °С	—	—	≤ 2,5	≤ 1,6	≤ 2,75
Содержание золы, % (по массе)	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, мм	1,15±0,45	0,5–2,0	1,2±0,55	1,2±0,55	0,5–2,0
Прочность при растяжении, МПа (не менее)	≥ 5,39	≥ 3,92	≥ 5,39	≥ 6,86	≥ 3,92
Относительное удлинение, %	400±50	≥ 300	≥ 420	≥ 450	≥ 300

составляет 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 изготовлении 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.

9.10. Термические методы утилизации резиновых отходов

Широкое распространение получили термические методы утилизации отходов резины и шин, к которым относятся пиролиз и сжигание.

В результате пиролиза получают вещества, напоминающие продукты крекинга нефти и, следовательно, являющиеся ценным исходным сырьем нефтехимических производств.

В зависимости от конструкции технологического оборудования пиролизу могут подвергаться как измельченные резиновые отходы (отделенные от металла), так и целые автопокрышки. Пиролиз происходит в отсутствие кислорода при температуре 500—1000 °С.

От температуры зависит состав продуктов, образующихся при пиролизе, и соотношение твердой, жидкой и газообразной фракций. В процессе пиролиза выделяется значительное количество тепла, так что его подвод извне к реактору необходим только на начальной стадии процесса. Схема установки для пиролиза приведена на рис. 9.21.

Средний массовый баланс процесса пиролиза шин при различных температурах приведен в табл. 9.11.

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.

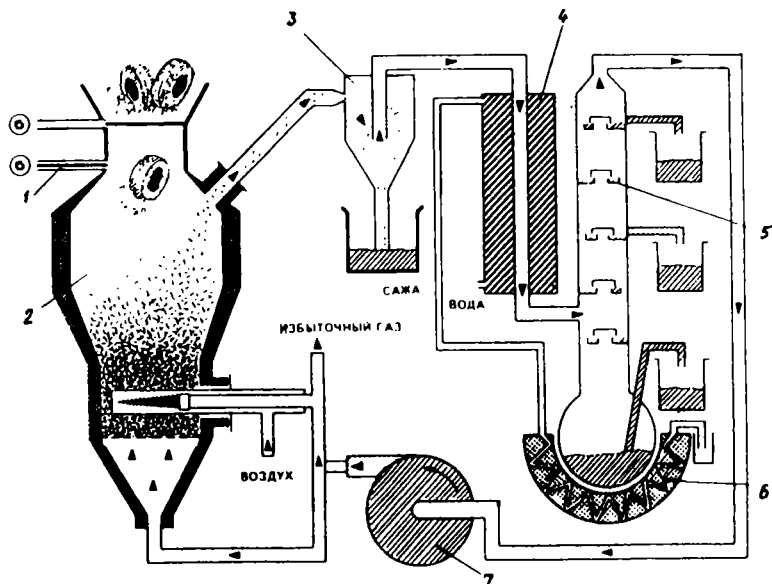


Рис. 9.21. Схема установки для пиролиза изношенных покрышек:
 1 — заслонка; 2 — вихревой реактор; 3 — сажелуловитель; 4 — охладитель;
 5 — дистилляционная колонна; 6 — теплообменник; 7 — компрессор

Таблица 9.11
Выход и теплота сгорания продуктов пиролиза шин

Продукты, теплота сгорания	Температура пиролиза, °С		
	500	700	800
Твердые, % (по массе)	60,5	52,0	44,0
Жидкие, % (по массе)	30,3	27,9	17,7
Газообразные, % (по массе)	6,8	18,2	26,2
Потери, % (по массе)	2,4	1,9	2,1
Расход энергии, МДж/кг	4,2	5,7	4,6
<i>Теплота сгорания продуктов, МДж/кг:</i>			
газообразных	34,018	44,095	37,768
жидких	44,125	42,080	25,620
твердых	35,350	33,390	31,080

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 амортизованных 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, поэтому их утилизация путем сжигания в качестве источника энергии также весьма эффективна.

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 вся сталь, присутствующая 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 вес каждой покрышки, что необходимо для правильного дозирования кис-

лорода и основного топлива, которое осуществляется автоматически с помощью ЭВМ. 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 оплавляется, окисляется и переходит в виде оксидов в вырабатываемый клинкер (полуфабрикат цемента).

9.11. 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 в неизменном виде 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 толщиной 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 спрос 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 реализации продуктов утилизации в данном регионе в условиях рыночной экономики.

Контрольные вопросы

1. Каковы особенности строения полимеров? Какие известны физические состояния полимеров? Какова взаимосвязь условий переработки полимеров с их физическим состоянием?
2. Какова классификация отходов пластмасс?
3. Какие существуют направления утилизации и обезвреживания пластмасс?
4. Каковы пути сокращения объемов образования отходов при переработке пластмасс?
5. Приведите схему регенерации отходов пластмасс.
6. Какие приемы идентификации пластмасс Вам известны?
7. Какие Вы знаете способы сортировки и разделения смесей отходов пластмасс?
8. Как проводятся измельчение и гранулирование отходов пластмасс? Расскажите о роторных измельчителях, экструдерах-грануляторах, агломераторах, применяемых для производства гранул из отходов пластмасс.
9. Расскажите об особенностях использования отходов искусственных кож и пленочных материалов.
10. Приведите схему регенерации отходов искусственных кож и пленочных материалов.

11. Приведите схему химической переработки отходов искусственных кож с поливинилхлоридным покрытием.
12. Расскажите об особенностях переработки отходов полиамида.
13. Приведите схему переработки отходов полиэтилена.
14. Расскажите о переработке отходов полистирольных пластиков.
15. Какова классификация резиновых отходов и способов их переработки?
16. Как производят резиновую муку и где ее применяют?
17. Что такое криогенное измельчение отходов РТИ и шин, в чем состоят его преимущества?
18. Приведите схему измельчения автопокрышек.
19. Расскажите о способах производства и областях применения резинового регенерата.
20. Расскажите о термических методах утилизации резиновых отходов: пиролизе и сжигании.

ГЛАВА 10

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 волоконного 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.

10.1. 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 могут быть разбиты на три крупные категории:

1. Отходы от производства сырья. Они образуются на предприятиях, вырабатывающих волокна и производящих пряжу.

2. Отходы, образующиеся при производстве текстильных материалов.

3. Отходы, образующиеся при использовании текстильных материалов, которые, в свою очередь, делятся на отходы бытового и промышленного потребления.

Текстильные отходы различаются по структуре и химическому составу в зависимости от технологии того производства, в котором они образовались.

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 материалы технического назначения после использования сильно загрязнены отходами других материалов, использованных в тех или иных технологических процессах. Поэтому перед утилизацией отходы технического потребления должны быть тщательно очищены от загрязнений: металлической стружки и других посторонних включений.

Отходы изношенной спецодежды после стирки могут быть использованы в качестве протирачного материала.

Сложнее обстоит дело с сильно загрязненными отходами фильтровальных, шлифовальных, полировальных и т. п. текстильных материалов, использованных для технологических целей. Их

регенерация нецелесообразна, и потому они подлежат сжиганию или захоронению.

Классификация текстильных отходов возможна по следующим признакам: по химической природе волокна; по технологии производства и виду текстильных материалов; по стадии производства текстильных материалов; по цвету; по чистоте.

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), темные (т. е. окрашенные в красный, зеленый, синий, черный цвета и их комбинации) и разноцветные.

В зависимости от чистоты текстильные отходы делятся на неочищенные и очищенные (т.е. подвергшиеся стирке, химчистке, дезинфекции и другим способам чистки).

Любое использование текстильных отходов предусматривает их предварительную подготовку и разрыхление. Объем подготовительных работ зависит от их вида, состава, места образования в технологическом процессе и степени загрязнения.

10.2. Использование отходов при получении пряжи из первичного сырья

Для производства волокна из первичного натурального сырья используется разрыхлительно-трепальное оборудование различного типа, от совершенства конструкции и качества наладки которого зависит степень очистки сырья от посторонних примесей.

При первичной очистке в отходы уходит до 40 % волокна. Для более полного извлечения его используют установки вторичной очистки и переработки полученных отходов.

Задача состоит в том, чтобы в конечном счете, с одной стороны, получить высокую степень очистки, а с другой — максимально снизить содержание волокна в отходах. Эта задача осложняется тем, что по мере увеличения количества циклов переработки образующихся отходов доля волокна, содержащегося в них, растет. Количество циклов переработки отходов, образующихся при изготовлении волокна из первичного сырья, целесообразно ограничивать, так как при их увеличении выход волокна возрастает незначительно, но при этом сильно растут затраты энергии на очистку, т. е. существуют определенные экономические пределы утилизации отходов.

Кроме того, количество отходов, которые можно добавлять в смесь без ухудшения качества пряжи, ограничено. Например, при изготовлении пряжи на кольцепрядильных машинах можно добавлять в смесь до 5 % отходов, а на пневмомеханических прядильных машинах можно использовать до 10 % отходов без ухудшения качества пряжи.

10.3. Первичная обработка и разволокнение текстильных отходов

Первичная обработка и разволокнение текстильных отходов включают ряд стадий, объем использования которых зависит от происхождения и качества отходов. Некоторые 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, изображенной на рис. 10.1.

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/м³, расход пара 0,25—0,4 кг/м³, продолжительность обработки 60 мин. В последние годы разработаны новые,

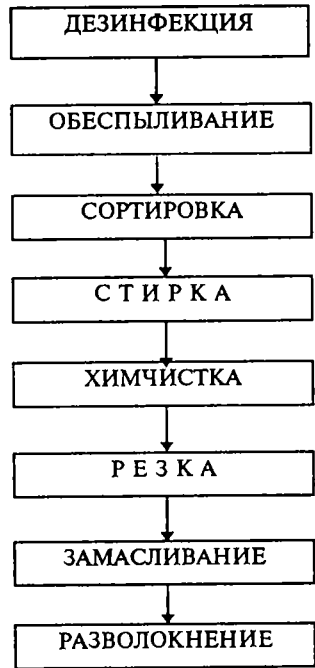
Рис. 10.1. Схема первичной обработки текстильных отходов

более современные способы дезинфекции: с помощью переменного электрического поля высокой частоты, ультразвука, ультрафиолетового и инфракрасного излучений, γ -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 выпускающиеся в Бельгии и США комбинированные машины, в которых производится и обеспыливание, и разволокнение текстильных отходов.

Сортировка текстильных отходов бытового потребления производится с целью удаления застёжек, кнопок, нетекстильных элементов изделий. Сортировка осуществляется вручную с применением малой механизации: сортировочных столиков, оборудованных дисковыми и ленточными ножами. После сортировки отходы прессуются в кипы по 80 кг. Загрязненное вторичное текстильное сырье подвергается *стирке* для извлечения поглощенной грязи, для чего применяются стиральные машины периодического действия СМО-100 и ПК-53А. 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 раство-



рителями на машинах КХ-007, КХ-012. Применение химической чистки вместо стирки уменьшает износ материала, сокращает продолжительность обработки и эксплуатационные расходы, повышает производительность труда.

Предварительно отходы обрабатывают в высококонцентрированном растворе 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 ротационные машины.

Ротационные машины оборудованы ротором, на котором закреплены ножи или диски, нарезающие материал на определенную ширину. Ширина резки регулируется путем изменения скорости движения транспортера, подающего кипы отходов.

При выборе типа резальных машин необходимо учитывать вид и химическую природу текстильных отходов. В частности, ротационные 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 оксигетилированные жирные спирты.

Кроме того, применяются сульфозэфиры 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.

На рис.10.2 показана линия фирмы "Лярош" (Франция) производительностью 1500 кг/ч для подготовки и разволокнения отходов текстильных материалов. Кипы отходов освобождают от оброчей 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 электронным 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 подается к вентилятору 7 и второму конденсеру 8, который заполняет регулируемую 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.

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 следую-

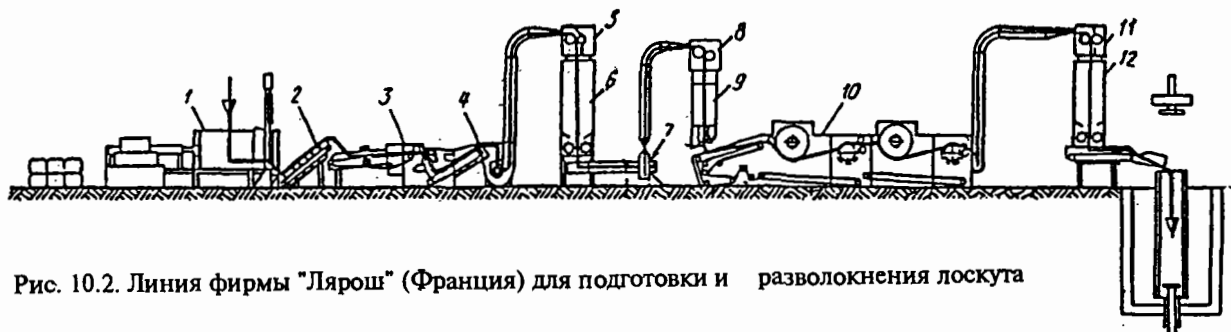


Рис. 10.2. Линия фирмы "Лярош" (Франция) для подготовки и разволокнения лоскута

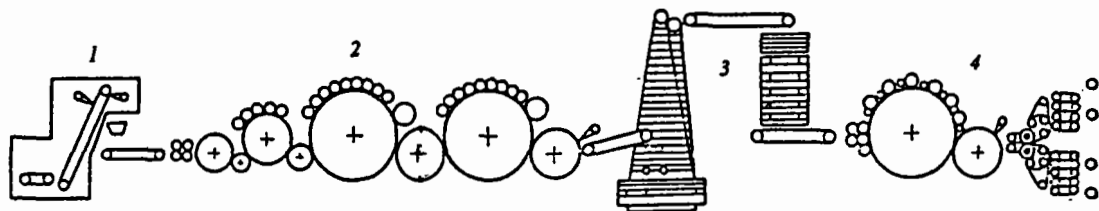


Рис. 10.3. Агрегат для разволокнения отходов из синтетических волокон:
1 — питатель; 2 — четырехбарabanная щипальная машина; 3 — транспортирующая
решетка; 4 — чесальная машина

щую 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. Основное назначение щипальной машины — разволокнение нарезанных отходов.

После разволокнения полностью восстановленные волокна прессуются в кипы или наслаиваются в камере. Пресс 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. 10.3. 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 вязанных 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, не разрушая структуру волокна и не снижая его прочности.

В современном текстильном производстве все перечисленные операции производятся на поточных линиях. Обслуживание линий выполняется автоматически с помощью системы управления, которая: включает и отключает линию в случае каких-либо неполадок и срабатывания блокировок; 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 сырья, так и в смеси с последними. Из восстановленного волокна получают аппаратную пряжу. Кроме того, минуя стадию прядения, из вторичных волокон изготавливают нетканые текстильные материалы различного назначения.

При смешении восстановленного волокна с исходным первичным волокном получают сырье для производства 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.

10.4. 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.

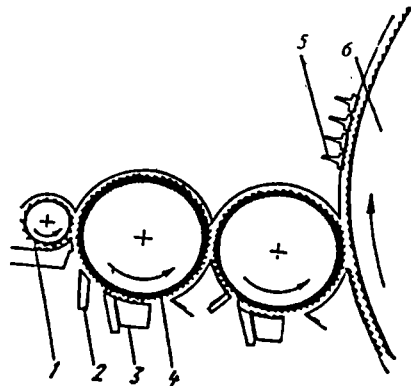
Современные чесальные машины полностью закрыты, что улучшает условия труда на них. Они могут иметь один и более приемных барабанов и зубчатые разрыхляющие сегменты (рис. 10.4).

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.

Рис. 10.4. Узел разрыхления чесальной машины:

1 — питающий валик; 2 — соротбойный нож; 3 — разрыхляющий сегмент на приемном барабане; 4 — приемный барабан; 5 — разрыхляющий сегмент на главном барабане; 6 — главный барабан



Для изготовления пряжи большой линейной плотности из разволокненных текстильных отходов у нас в стране выпускают роторную прядильную машину ПР-150-1 и пневматическую прядильную машину ПАМ-150.

Особенности восстановленного волокна делают предпочтительным применение для прядения пневмомеханических прядильных машин, которые менее чувствительны к большим различиям в длине и толщине перерабатываемых волокон.

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^{-1} . Частота вращения ротора в машине достигает 20000 мин^{-1} , а расчесывающего валика 8000 мин^{-1} , скорость выпуска пряжи 65 м/мин. Пряжа с этих машин линейной плотностью 140 текс используется для производства ковров, изоляции для кабелей, а пряжа 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⁻¹.

Частота вращения расчесывающего валика составляет 7000—12000 мин⁻¹, крутящего элемента 6000—16000 мин⁻¹, производительность вентилятора 2000 м³/ч.

Вентилятор не только создает разрежение воздуха в аэродинамической камере, необходимое для образования пряжи, но и отделяет сорные примеси и неразработанные 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 машине имеется устройство для автоматической ее очистки, зарядки, замены полных бобин на пустые и т. д.

Для прядения шерстяных волокон у нас в стране 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 волокнами, 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⁻¹.

Для переработки вторичных волокон существуют и автоматизированные поточные линии.

Технологический процесс на такой линии (рис. 10.5) 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). Оттуда волокнистая масса перемещается в дозирующие бункеры ДБ-У (2). Из дозирующего бункера волокно поступает на питающий конвейер (3), где образуется многослойный (из разных бункеров в нужном соотношении) настил. Далее смесь через конденсер КБ-3 подается в разрыхлительно-замазывающую машину ШЗ-140-ШЗ (4), где все компоненты перемешиваются. Затем смесь волокон в течение 10—12 ч выравнивается по составу

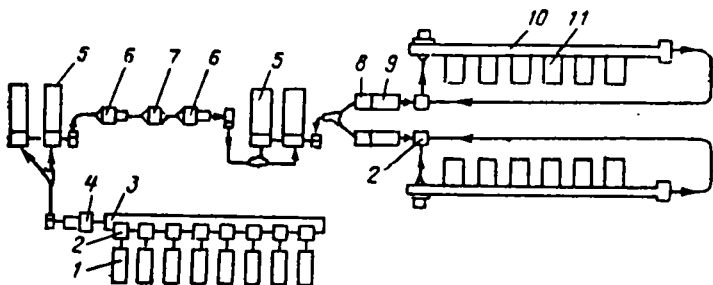


Рис. 10.5. Автоматизированная линия для переработки вторичных волокон

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.

После этого смесь кондиционируется в двух других смесовых машинах МСП-8 (5) в течение 10—12 ч при заданном режиме, после чего 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 с помощью прядильных машин ПАМ-150 или ПР-150-1, упомянутых выше, производится пряжа.

Производительность такой поточной линии составляет 360—400 кг/ч.

10.5. Производство нетканых материалов из вторичных волокон

Большие возможности для использования регенерированных волокон представляет производство нетканых материалов, которые изготавливают из холста, минуя стадию выработки пряжи.

Технология производства нетканых материалов имеет следующие преимущества: сокращение производственного цикла и интенсификация производства; использование регенерированных волокон; быстрая смена ассортимента выпускаемой продукции; 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 может осуществляться механическим, аэродинамическим и гидродинамическим способами.

Механическое холстообразование осуществляется с помощью чесальных машин, которые позволяют получить холст заданной ширины и развеса. Этот способ отличают хорошие 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 равномерного по всей ширине холста. 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 формирование холста осуществляется с помощью воздушного потока, который транспортирует волокно в зону образования холста.

При аэродинамическом 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 перерабатывать волокна, значительно отличающиеся по своим свойствам и длине; возможность быстрого изменения развеса холста; высокая производительность.

Аэродинамическим способом из отходов текстильного сырья можно изготавливать холст развесом 10—2000 г/м². Недостатком аэродинамического способа является зависимость качества полотна от линейной плотности перерабатываемых волокон. В частности, тонкие легкие волокна забивают 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. 10.6. 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 барабана и транспортируются на поверхность перфорированного барабана или сетчатого конвейера. Одним из главных технических

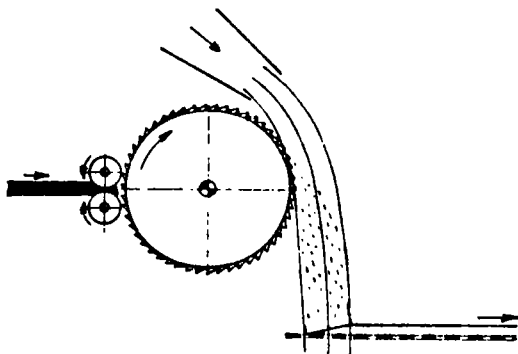


Рис. 10.6. Схема аэродинамического формирования холста НТМ

параметров процесса является скорость воздушного потока. При малой скорости воздушного потока 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 дешевые 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; получать холст с плотностью 10–2000 г/м². На рис. 10.7 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. 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. Скорость выпуска холста по этому способу на современных машинах достигает 400 м/мин при ширине 5 м.

По этому способу можно формировать холсты для изготовления тяжелых и среднетяжелых нетканых материалов, используемых в производстве линолеума, геотекстильных мате-

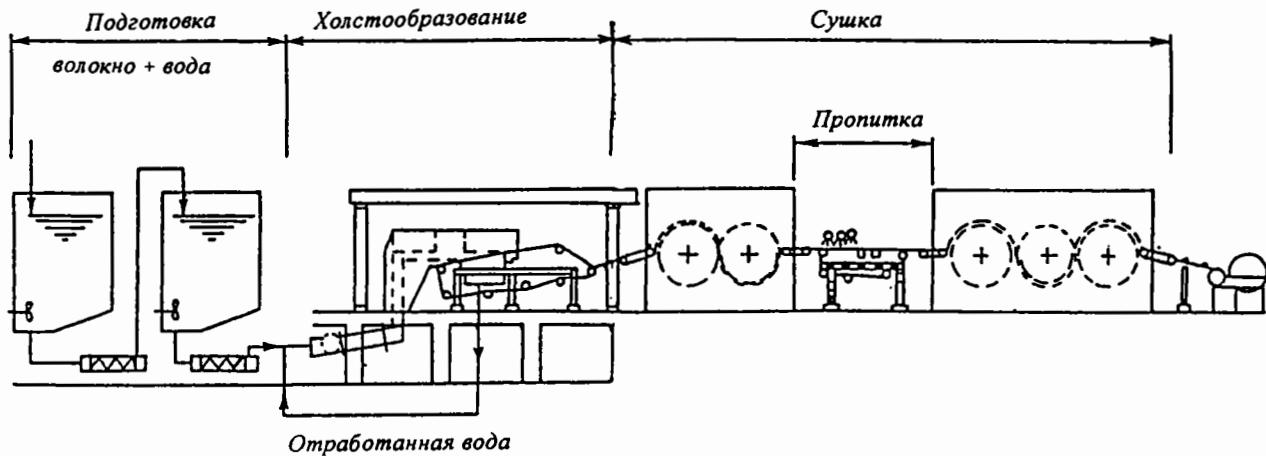


Рис. 10.7. Принципиальная схема установки гидродинамического формирования холста НТМ

риалов, фильтров с большой плотностью, гидро- и электроизоляционных материалов.

Производство нетканых текстильных материалов из сформированного волокнистого холста осуществляется иглопробивным, вязальным-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/м², а иногда и до 5000 г/м². Иглопробивная технология состоит из следующих операций: подготовки и смешивания волокна; формирования холста; иглопрокалывания; финишной отделки (при необходимости).

Для увеличения прочностных свойств иглопробивных НТМ 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 производить 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/м², полученные иглопробивным способом из текстильных отходов. Такие материалы, изготавливаемые из регенерированных волокон, обладают прекрасными акустическими и механическими свойствами (табл. 10.1).

Таблица 10.1

Физико-механические и акустические свойства шумопоглощающего иглопробивного нетканого материала из регенерированных волокон

Наименование показателей	Значение показателей для полотна из	
	восстановленной шерсти	смеси ПВХ и полиамидных волокон
Толщина, мм	4	10
Поверхностная плотность, г/м ²	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:		
250 Гц	8	8
500 Гц	12	15
1000 Гц	18	34
2000 Гц	25	48
4000 Гц	39	55
6000 Гц	51	78

Иглопробивным способом изготавливаются и геотекстильные материалы. Они имеют плотность холста 250—850 г/м² 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 такие волокна не подвержены гниению. Наиболее целесообразно применять 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/м².

При *клеевом способе* закрепление холста производится с помощью пропитки дисперсией связующего вещества или оплавлением термопластичных волокон, входящих в состав полотна. В качестве связующего для закрепления холста применяются полиакрилатные дисперсии, бутадиен-стирольные и бутадиен-акрилонитрильные латексы, связующие вещества на основе поливинилацетата, полиуретана и др.

На рис. 10.8 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 термопластичных 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

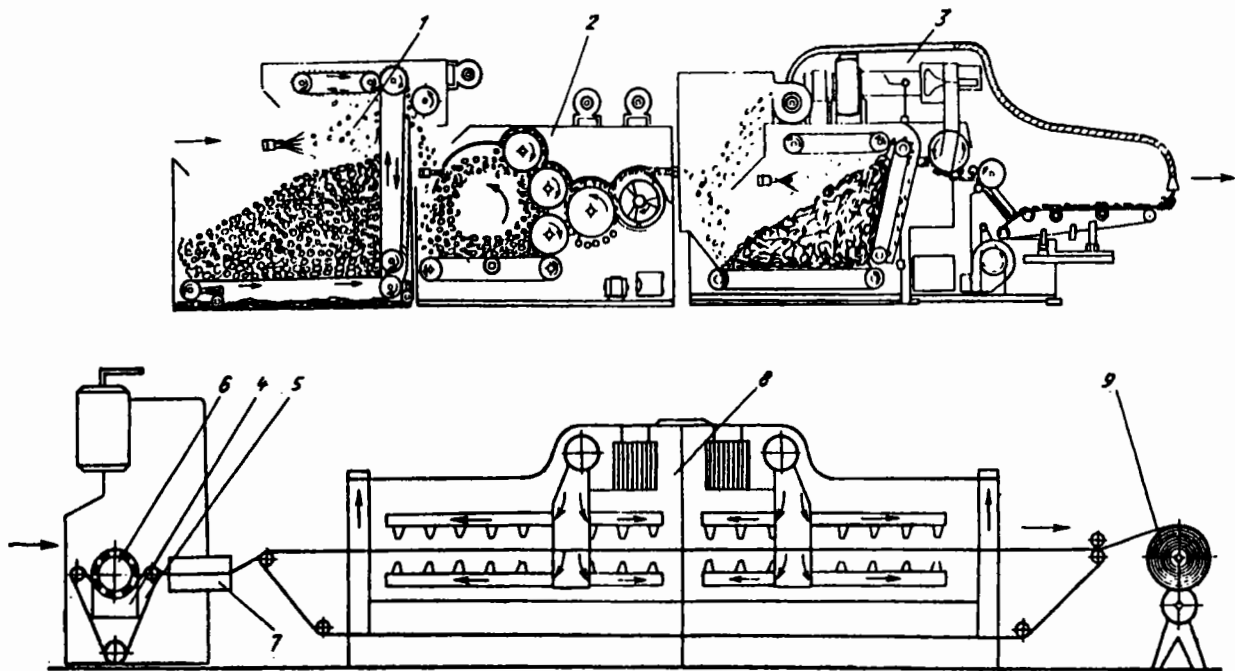


Рис. 10.8. Схема производства клееного нетканого материала с пропиткой связующим

высокая производительность; меньшие площади, занимаемые оборудованием; отсутствие сточных вод и вредных выбросов; менее высокая энергоемкость.

В заключение следует отметить, что с увеличением доли синтетических волокон в текстильных материалах переработка их отходов по классической, рассмотренной нами текстильной технологии становится не всегда эффективной. 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 изготавливаемых гранул.

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 проведения 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.

Контрольные вопросы

1. Как классифицируют текстильные отходы?
2. Как используются отходы, образующиеся при изготовлении пряжи?
3. Приведите схему первичной обработки текстильных отходов.
4. Как производится разволокнение отходов текстильных материалов?
5. Какие существуют способы производства пряжи из вторичных волокон?
6. Как работают автоматизированные поточные линии для переработки разволокненных текстильных отходов?
7. Как используются вторичные волокна? Что такое нетканые материалы? Каковы основные стадии их производства?
8. Какие известны способы холстообразования при производстве нетканых материалов?
9. Какие известны способы производства нетканых материалов?
10. Расскажите об областях использования нетканых текстильных материалов.
11. Что такое химические способы утилизации отходов текстильных материалов из синтетических волокон?

Г Л А В А 11 ПЕРЕРАБОТКА ОТХОДОВ ДРЕВЕСИНЫ

11.1. Образование, классификация и использование отходов древесины

В настоящее время в стране заготавливается около 500 млн. м³ 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.

Древесину используют в следующих производствах (в скобках приведены объемы использования):

- лесопилении и деревообработке (41 %);
- целлюлозно-бумажном производстве (23 %);
- гидролизном и лесохимическом производстве (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. 11.1 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 брака.

Кроме того, безвозвратно при сушке теряется 5—7 % и расплывается 1—2 %. Количество коры составляет около 10—12 % от всего объема бревна (кора, правда, не входит в баланс древесины

ПЕРЕРАБОТКА ОТХОДОВ ДРЕВЕСИНЫ



Рис. 11.1. Технологическая схема лесопильного производства

и считается внебалансовым отходом). В раскройных цехах при раскросе 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 отходы сбрасываются в отвалы, отрицательно влияя на окружающую среду.

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, древесноволокнистых 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 получаемых отходов деревообрабатывающая промышленность стоит на одном из первых мест. Количество отходов в этой отрасли зависит от качества поставляемого 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 раскроя оборудования, относят опилки. Объем древесины, переходящей 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, древесноволокнистых плит (ДВП), древесностружечных плит (ДСП), цементностружечных плит (ЦСП) и химической продукции.

Меньшей ценностью обладают отходы, возможность использования которых ограничена (стружка, опилки, мелкие кусковые отходы, щепа).

Опилки и стружку благодаря адсорбирующим, абразивным, изоляционным и другим свойствам широко используют в различных производствах: для хозяйственных целей и как технологическое сырье.

Щепа 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 кДж/м³, а выход газов — 0,45—0,7 м³/кг сухого топлива.

В обобщенном виде возможности утилизации различных отходов лесопиления и деревообработки представлены в табл. 11.1.

11.2. 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 на лесопильном производстве, а сама щепа является сопутствующей товарной продукцией.

Щепа является основным сырьем целлюлозно-бумажной, гидролизной промышленности и ряда других отраслей, эффективность работы которых зависит от ее качества и от стабильности поставок. Поэтому производство щепы не только дает возможность утилизировать отходы древесины, но имеет и важное самостоя-

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

тельное 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 щепка должна иметь размеры, указанные в табл. 11.2.

Технология производства щепы включает стадии, указанные на рис. 11.2.

В процессе производства щепы основной операцией является измельчение древесных отходов. Эта операция определяет качество и выход кондиционной технологической щепы, а также удельные

Размеры технологической щепы

Назначение щепы (производство)	Размеры, мм	
	длина	толщина
Целлюлозно-бумажное	1—25	5
Древесноволокнистых плит	10—35	5
Древесностружечных плит:		
- плоского прессования	20—60	30
- экструзионного формования	5—40	30
Гидролизное	5—35	5

энергозатраты на ее производство. Измельчение кусковых отходов осуществляют на рубильных машинах. В зависимости от формы ротора рубильные машины делятся на *барабанные* и *дисковые*. Барабанные рубильные машины производят щепу низкого качества, с неоднородным фракционным составом и с поврежденными волокнами, что связано с их конструкцией. Такая щепа может использоваться для гидролизного производства, но мало пригодна для целлюлозно-бумажной промышленности и изготовления ДВП и ДСП. Для получения щепы, пригодной для этих



Рис. 11.2. Технологическая схема производства щепы

производств, используют дисковые рубильные машины с плоским и геликоидальным диском.

Дисковые рубильные машины выпускают с наклонной и горизонтальной подачей перерабатываемого сырья. В машинах с наклонной подачей сырья (рис. 11.3) 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.

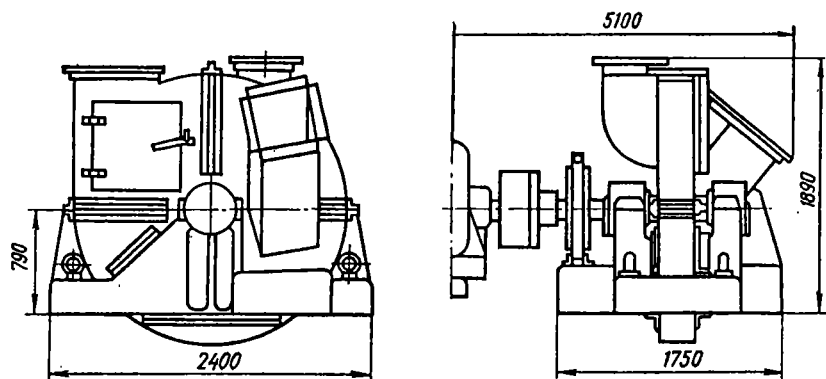


Рис. 11.3. Дисковая рубильная машина с наклонной подачей сырья и выбросом щепы вверх

Основной рабочий орган дисковых рубильных машин — стальной диск с радиально закрепленными на нем ножами, количество которых может быть от 3 до 16 (рис. 11.4). Диск заключен в кожух и закреплен на стальном валу, вращающемся в двух или трех подшипниках скольжения или в роликовых подшипниках.

Дисковые рубильные машины бывают с плоской и геликоидальной рабочей поверхностью диска.

В зависимости от аппарата подачи (загрузочного патрона) дисковые рубильные машины бывают со свободной и принудительной подачей древесины к диску для дальнейшей перера-

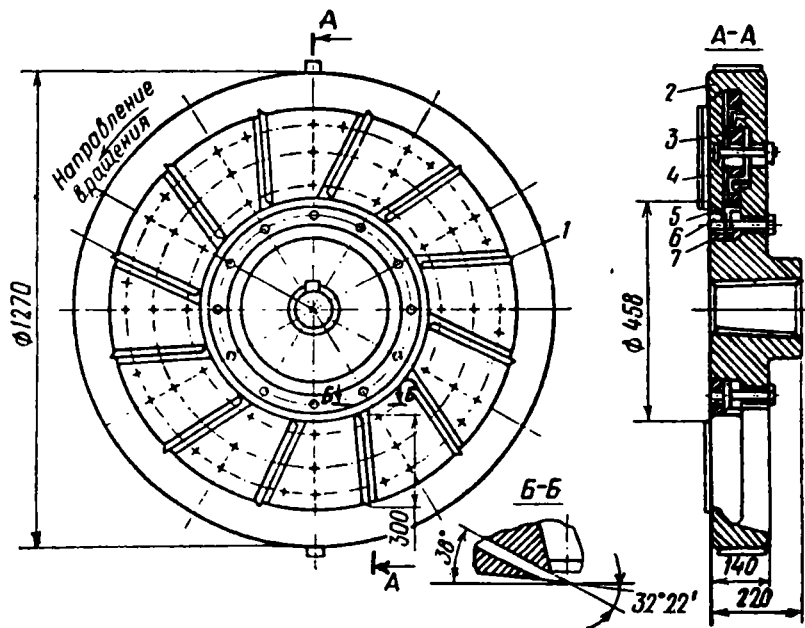


Рис. 11.4. Диск рубильной машины:

1 — ножи; 2 — корпус диска; 3 — подкладка; 4 — накладка; 5 — конусное кольцо; 6 — кольцевая гайка; 7 — втулка

ботки в щепу. В рубильных машинах со свободной подачей древесины поступает к ножам диска за счет ее самозатягивания.

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. 11.5. Геликоидальная рабочая поверхность диска представляет собой винтовую поверхность, которая сливается с задними кромками ножей, заточенными по той же

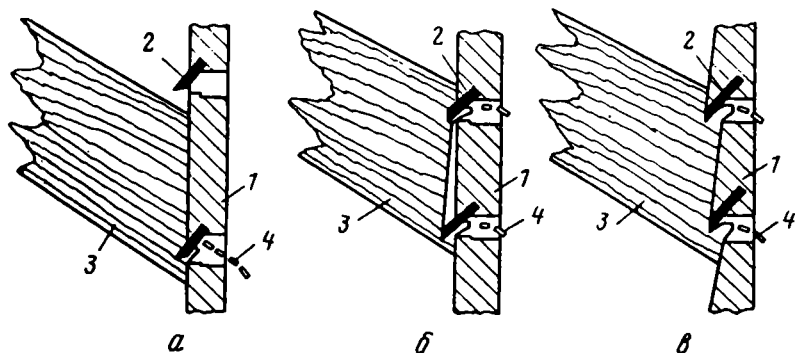


Рис. 11.5. Схема резания древесины в дисковых рубильных машинах: *а* — в малоножевых машинах с плоским диском; *б* — в многоножевых машинах с плоским диском; *в* — в многоножевых машинах с геликоидальным диском; 1 — ножевой диск; 2 — нож; 3 — перерабатываемый материал; 4 — щепа

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.

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 щепа сортируется по размерам на барабанных установках вибрационного или гирационного (с круговым качанием сит в горизонтальной плоскости) типа. Наиболее рационально использование гирационных сортировочных машин, основу которых составляют три последовательно установленных по вертикали барабана сита с отверстиями различных размеров. 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. 11.3.

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.

Т а б л и ц а 11.3

Характеристики установок для сортировки щепы

Характеристики	Марка установки		
	СЩ-1М	СЩ-60М	СЩ-120
Производительность, м ³ /ч	60	65	120
Количество сит, шт.	3	3	3
Площадь сит, м ² :			
- верхнего	2,88	2,88	8,4
- среднего	2,56	2,56	8,4
- нижнего	2,88	2,88	7,5
Частота колебаний, 1/с	3	3	2,5
Мощность привода, кВт	3	3	4,5

Пневмопогрузчики щепы, характеристики которых приведены в табл. 11.4, 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.

Характеристики пневмопогрузчиков щепы

Характеристики	Марка погрузчика		
	ПНТУ-2М	ВО-53	ЛТ-67
Производительность, м ³ /ч	7	35	15—30
Расстояние подачи щепы, м	70	70	75—140
Диаметр трубопровода, м	260	319	319
Установленная мощность, кВт	28,4	78,3	66,1

Для перевозки щепы железнодорожным транспортом используют вагоны общего назначения с надстроенными по высоте бортами и специализированные вагоны-щеповозы грузоподъемностью 58 т и объемом 135 м³. 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 (строительных материалов, лесохимии, целлюлозно-бумажной и др.) по технологиям, принятым в этих отраслях.

11.3. Производство строительных и конструкционных материалов из отходов древесины

Одним из основных направлений утилизации древесных отходов является производство различных ограждающих и отделочных строительных материалов: древесноволокнистых плит (ДВП), древесностружечных плит (ДСП), цементностружечных плит (ЦСП) и др.

При изготовлении *древесноволокнистых плит* (ДВП) 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. 11.6 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. Свойства ДВП с лакокрасочным покрытием, изготовленной из отходов лесопиления, представлены в табл. 11.5.

Древесностружечные плиты (ДСП) изготавливают горячим прессованием отходов древесины (стружки) со связующим — мочевино- или фенолформальдегидной смолой. По способу производства различают ДСП плоского прессования и экструзионные,

Т а б л и ц а 11.5

**Физико-механические свойства маслопропитанной ДВП
с лакокрасочным покрытием**

Наименование показателей	Значение показателей
Предел прочности при изгибе, МПа	Не менее 47
Набухание в воде по толщине за 24 ч, %	Не более 5
Степень сцепления лакокрасочного покрытия с плитой, баллы	Не менее 3
Огнеопасность (скорость горения, мм/мин)	Неогнеопасна (не более 20)

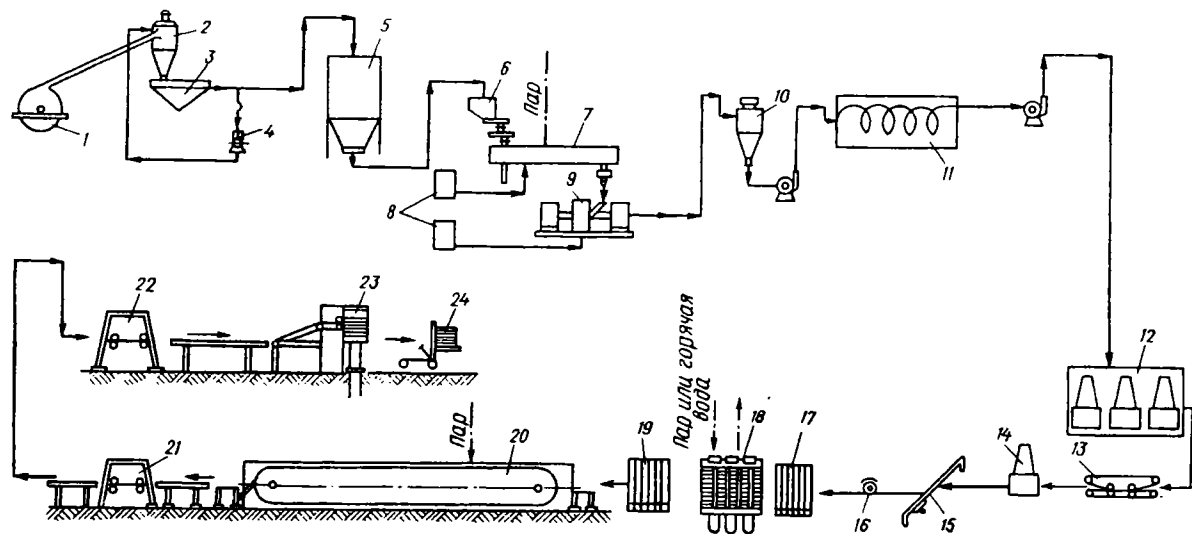


Рис. 11.6. Принципиальная схема производства ДВП сухим способом:

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 сушки первой ступени; 11 — сушилка второй ступени; 12 — формирующая машина; 13 — ленточный пресс предварительной подпрессовки; 14 — формующая головка отделочного слоя; 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

т. е. получаемые экструзией древесностружечной 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. 11.7 показана планировка цеха по производству пятислойных древесностружечных плит способом плоского прессования.

При изготовлении *цементностружечных плит* (ЦСП) 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. 11.8.

Поскольку транспортирование отходов древесины на значительные расстояния требует больших затрат, их утилизация на предприятиях, удаленных от мест образования отходов, является нерентабельной.

Использование древесных отходов должно быть организовано там, где перерабатывается исходная древесина. Для организации переработки отходов древесины важен региональный подход. Технологии производства различных строительных материалов предоставляют широкие возможности для утилизации отходов древесины именно в масштабе регионов.

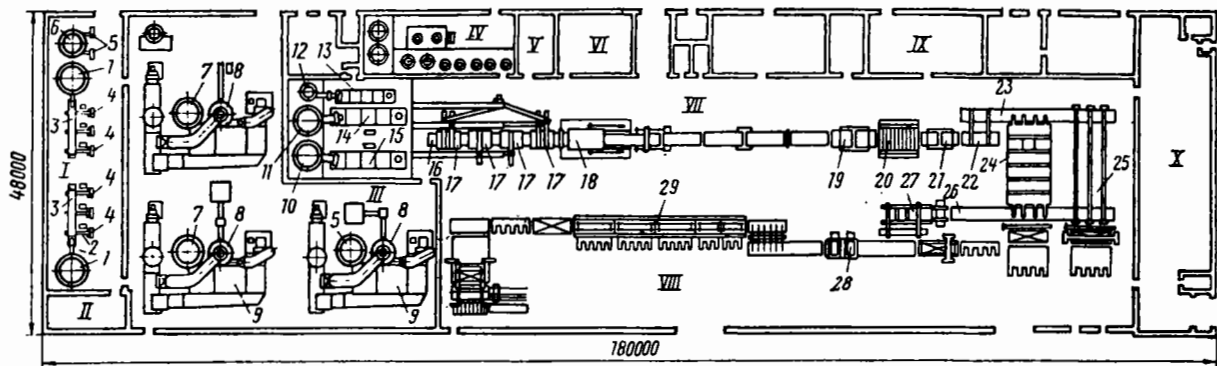
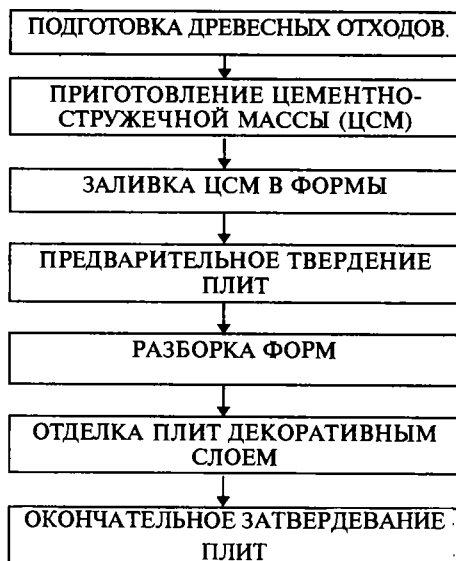


Рис. 11.7. Планировка цеха по производству пятислойных древесностружечных плит:

I — отделение подготовки стружки; *II* — заготовное отделение; *III* — сушильное отделение; *IV* — приготовление связующих; *V* — лаборатория; *VI* — шитовая; *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

Рис. 11.8. Технологическая схема производства цементно-стружечных плит (ЦСП)



Широкое применение находят материалы, изготовленные с применением в качестве дешевого наполнителя древесной муки.

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. Сепарацию 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 *листовой 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 переработку листового материала, наполненного древесной мукой, проводят штамповкой, которая может быть выполнена 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 (полипропилен и древесной муки) в сочетании с хорошими технологическими (формуемость) и физико-механическими свойствами. Как видно из табл. 11.6, 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 11.6

**Сравнительные физико-механические свойства
наполненного древесной мукой полипропилена**

Наименование показателей	Полипропилен	АБС-пластик	Полипропилен + 50 % древесной муки
Плотность, кг/м ³	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 ²	3,3—8,0	20	3,40
Твердость по Роквеллу HRB	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	0,70

11.4. 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 древесноопилочные плиты (ДОП), используемые в производстве полов и для отделки стен. Техпроцесс 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.
- вылежки в течение 5 сут для снятия внутренних напряжений и усадки.

С применением древесных опилок изготавливают тырсолит, вибролит, паркелит, термопорит и другие строительные материалы. В состав этих материалов помимо опилок входят различные связующие и некоторые другие специальные компоненты (антисептики, антипирены и др.). Условия 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 котором 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 изготавливают из строительного гипса, опилок и стружки. В табл. 11.7 приведены свойства гипсоопилочных блоков.

Термиз, используемый в качестве теплоизоляционного материала для утепления стен и кровли, производят из гашеной

Таблица 11.7

Физико-механические свойства гипсоопилочных блоков

Наименование показателей	Значение показателей при плотности, кг/м ³		
	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

извести, опилок, цемента и суглинка. Технология изготовления термиза состоит в смешении 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, в собачьих конурах, для временного покрытия полов промышленных и транспортных предприятий, рынков и складов. Предпочтительнее применение для этих целей сухих опилок. Кроме того, опилки используют в

качестве мульчирующего материала в садоводстве и огородничестве для предупреждения развития сорных трав.

Абразивные свойства опилок делают их полезными для очистки полов производственных и общественных помещений, при окраске, полировке и чистке меховых и ковровых изделий, при отделке металлов в качестве чистящего и шлифующего материала, при 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.

11.5. 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.

Гидролизом древесины называют процесс взаимодействия полисахаридов, являющихся одним 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 реакции гидролиза, растворения лигнина (второго значительного компонента древесины) и получения 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 щепка, 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. от 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 бумаг 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 у 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.

11.6. 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 %. Поставка коры потребителю производится в крытых контейнерах, автомобилях-щеповозах, 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. 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).

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, для жировки кож (с целью придания им водоотталкивающих свойств), для смазки шорно-седельных изделий, для 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 производят 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. 11.8.

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

Таблица 11.8

Показатели работы углевыжигательных печей (для березовых отходов)

Наименование показателей	Печь Грум-Гржимайло	Печь Козлова	Вертикальная непрерывнодействующая печь
Количество перерабатываемой древесины, м ³ /сут	76—100	105—126	256
Выход, кг/м ³ :			
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

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.

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. 11.9. Отходы транспортером 1 подаются в

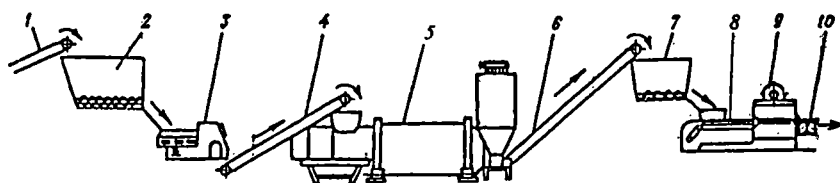


Рис. 11.9. Технологическая схема производства топливных брикетов

промежуточный бункер с дозатором 2 и далее поступают в измельчитель 3. Измельченные отходы транспортером 4 перемещаются в сушилку 5, откуда по транспортеру 6 ссыпаются в бункер 7 и далее с помощью питателя 8 попадают в пресс 9. Спрессованные брикеты транспортером 10 подаются на склад готовой продукции. Основные свойства брикетов приведены в табл. 11.9.

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 брикетов достигаются при влажности древесных отходов 8—15 %. Критической влажностью, выше которой невозможно прессование брикетов, является влажность 18—25 %.

Таблица 11.9
Свойства брикетов из мелких отходов древесины

Наименование показателей	Значение показателей
Плотность, кг/м ³	800—1100
Прочность при статическом изгибе, МПа	1,5
Влажность, %	≤ 18
Теплотворная способность, кДж/кг	~ 19600

Контрольные вопросы

1. Расскажите об образовании, классификации и направлениях использования древесных отходов.
2. Расскажите о технологии и применяемом оборудовании при производстве щепы из отходов древесины.
3. Какие строительные материалы получают из технологической щепы?
4. Расскажите о технологии производства древесноволокнистых плит.
5. Расскажите о технологии производства древесностружечных плит.
6. Приведите схему производства цементостружечных плит.
7. Каковы основные направления применения древесной муки?
8. Где применяются древесные опилки?
9. Что такое химическая технология переработки древесных отходов?
10. Из каких отходов и как производят дубильные вещества, деготь, древесный уголь?
11. Как используется древесная зелень?
12. Каковы особенности производства топливных брикетов из отходов древесины?

Г Л А В А 12

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.

12.1. Преимущества и возможности использования макулатуры

Применение макулатуры чрезвычайно выгодно, так как позволяет экономить значительные материальные и энергетические ресурсы (табл. 12.1) и утилизировать отходы производства и потребления бумаги.

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. 12.1, где показано образование отходов на различных стадиях получения бумажной продукции из древесины.

Потребление макулатуры в последние два десятилетия росло быстрыми темпами и сегодня во многих странах достигло своего возможного предела. Лидером в объемах утилизации макулатуры является Япония, которая перерабатывает более 50 % образующихся бумажных отходов, а в отдельных видах макулатуры ее использование достигает теоретически возможного уровня. В этой стране в 1986 г. повторно перерабатывалось 92,6 % газет и 76,1 % гофрированного картона, после чего эти объемы практически не изменяются.

Таблица 12.1

Воздействие на окружающую среду процессов изготовления 1000 т бумаги из первичного сырья и из облагороженной макулатуры

Факторы воздействия	Первичное сырье	Облагороженная макулатура	Экономия, %
Расход первичного сырья, т	1100	0	100
Расход технологической воды, м ³	178600	152000	15
Расход энергии, кДж	25122	9540	60
Количество веществ, загрязняющих атмосферу, т	49	20	60



Рис. 12.1. Технологические потери при производстве бумаги и картона из древесины

Несмотря на очевидные выгоды, использование макулатуры ограничивается требованиями, предъявляемыми к качеству товарной продукции. Как видно из данных табл. 12.2, чем выше требования к бумаге, тем меньшее количество макулатуры может быть введено в состав целлюлозно-бумажной массы.

Т а б л и ц а 12.2

Пределы использования макулатуры при изготовлении бумаги и картона

Вид бумаги	Возможное содержание макулатуры, %
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, происходящим вследствие:

- ♦ старения вторичных ресурсов из-за многократной рекуперации;
- ♦ повышения содержания в макулатуре специальных примесей, 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. Степень возврата макулатуры у нас в стране в середине 80-х годов составляла 28 %, в странах ЕЭС — 31 %, в США и Канаде — 26 %. Использование макулатуры и в те годы было далеко от возможных пределов, что было связано с экономической выгодой и простотой использования первичного целлюлозного сырья.

В последние годы в силу различных причин объемы при-

менения 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 нам необходимо будет вернуться к полномасштабному использованию вторичных целлюлозно-бумажных ресурсов.

Основным потребителем макулатуры являются предприятия целлюлозно-бумажной промышленности (более 50 % перерабатываемой макулатуры), промышленности стройматериалов и другие. 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 или освобождение массы от посторонних примесей;
- ♦ роспуск кусочков и пучков волокон на отдельные волокна;
- ♦ сортировку и сгущение массы до необходимой концентрации;
- ♦ облагораживание макулатурной массы.

12.2. Дезагрегация макулатуры

Дезагрегация макулатуры производится с помощью гидроразбивателей различной конструкции. Предпочтительнее использовать гидроразбиватели с вертикальным расположением ротора, поскольку они занимают меньше площади и обеспечивают более интенсивную обработку массы и легкую замену ротора при ремонте. На этой стадии происходит измельчение макулатуры до состояния, пригодного для транспортировки бумажной массы насосами для дальнейшей обработки, а также удаление крупных механических включений.

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 меламиноформальдегидные смолы, процесс ведется при 60—80 °С в кислой среде при рН = 3,5—4,5. Дезагрегацию макулатуры, содержащей полиамидные смолы, наоборот, 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.

Отечественная промышленность выпускает гидроразбиватели типа ГРВМ различной производительности от 2 до 300 т/сут. Они состоят из металлической ванны, верхняя часть которой имеет цилиндрическую, а нижняя — коническую форму. К внутренней поверхности ванны приварены направляющие планки. Верхняя часть ванны имеет конусные отражатели. В нижней части ванны расположена перфорированная плита, состоящая из семи сегментных пластин. В днище ванны имеются отверстия для выхода дезагрегированной массы, выпуска тяжелых, крупных включений и промывки ванны.

Для удаления тяжелых включений, попадающих в специальные карманы под днищем гидроразбивателя, в нем имеются ковшовые элеваторы.

12.3. Очистка макулатурной массы

Перед дальнейшей обработкой макулатурная масса подвергается дополнительной очистке от мелких тяжелых включений. Очистка производится на очистителях циклонного типа при высокой и 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. 12.2 показаны схемы работы очистителей макулатурной массы.

Очиститель высокой концентрации работает при концентрации пульпы 6 %. Масса, 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.

Очиститель снабжен смотровым окном 3 и гидравлическим затвором 10 для подачи в грязевую камеру промывной воды.

Такой очиститель работает при перепаде давления 20 кПа, объем грязевой камеры 10 л, мощность ротора 2,2 кВт.

Очиститель низкой концентрации (рис. 12.3) 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

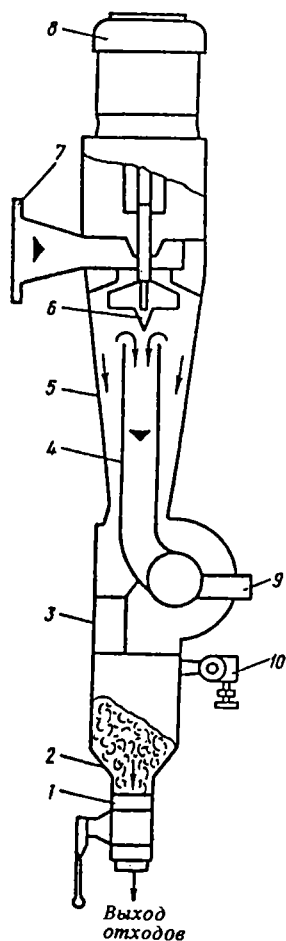


Рис. 12.2. Очиститель макулатурной массы высокой концентрации

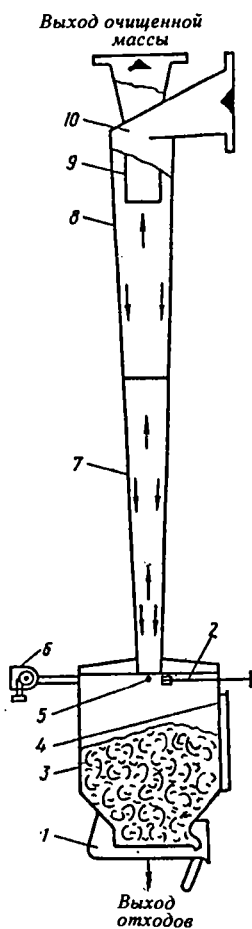


Рис. 12.3. Очиститель макулатурной массы низкой концентрации

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, выпускаемые отечественной промышленностью, работают при перепаде давления 160 кПа при концентрации массы до 5 % с пропускной способностью до 1800 л/мин.

Дезагрегацию макулатуры заканчивают на такой стадии, когда полученную водно-целлюлозную массу можно перекачивать на дальнейшую обработку насосами.

12.4. 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 или дисковых мельниц при большой частоте вращения ротора (до 3000 об/мин). Необходимым условием надежной работы энтштиперов является хорошая очистка массы от твердых включений.

Концентрация поступающей массы составляет 3—6 %. Давление напора 40—50 кПа. Зазор между ротором и статором 0,5—2 мм. Масса, поступающая под давлением в энтштипер через центральное отверстие, увлекается роторным кольцом и со скоростью 40 м/с отбрасывается на поверхности размалывающих 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. Выпускаемые промышленностью энтштиперы различаются мощностью и производительностью (табл. 12.3).

Т а б л и ц а 12.3
Характеристики энтштиперов фирмы "Escher-Wiss"

Тип энтштипера	Максимальная производительность, т/сут	Установленная мощность, кВт	Максимальная частота вращения ротора, об/мин
Е0	20	22	3000
Е1	60	50	3000
Е2	120	132	3000

Отечественная промышленность (Гатчинский завод бумагоделательного машиностроения) выпускает для разволокнения бумажных комочков и пучков волокон пульсационные мельницы аналогичной конструкции (табл. 12.4).

Таблица 12.4

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 при помощи специального устройства, работающего по принципу “винт-гайка”. Частота пульсаций достигает 1780 с^{-1} .

12.5. 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 сортировки 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.

Отличительной особенностью центробежных сортировочных машин является неподвижно расположенное в корпусе ци-

линдрическое сито, внутри которого вращается лопастной ротор различной конструкции.

Несортированная масса подается в центральную часть сортировки, 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 в результате его вращения, обеспечивает проталкивание кондиционного волокна через отверстия сита.

Прошедшие через сито наиболее тонкие и эластичные волокна, разбавленные водой до требуемой концентрации, отводятся в бассейн. Неразволоknенные пучки волокон вместе с неволоknистыми примесями, образующими фильтрующий слой, под напором поступающей в сортировку массы продвигаются вперед и после последующего сортирования и отмывки отводятся через патрубок для удаления отходов.

Центробежная сортировка типа СЦ1,6-01 (рис. 12.4) состоит из сварного корпуса 1, на лицевой торцевой крышке которого в центральной ее части расположен изогнутый патрубок 3 для ввода массы в сортировку. На противоположной торцевой крышке закреплен 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 I, II и III.

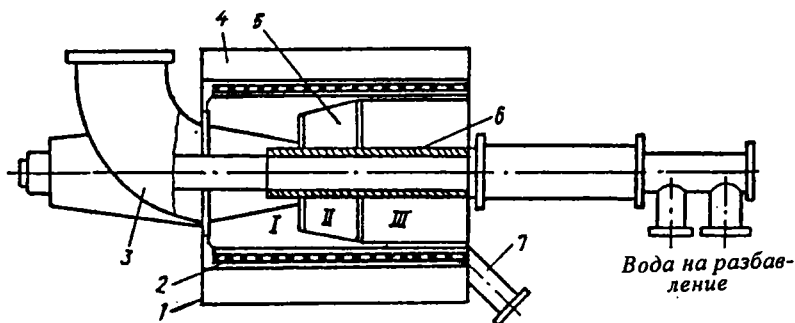


Рис. 12.4. Центробежная сортировочная машина типа СЦ1,6-01

Через распределительную камеру с отверстиями, вращающуюся вместе с ротором, масса поступает в зону *I* сортирования, 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, 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 с пониженной концентрацией перемещается в зону *III*, где сортирование продолжается. Не прошедшая через третью зона масса выводится на вторую ступень сортирования.

Существуют сортировки и другой конструкции, например, производятся вихревые конические очистители, работающие по принципу циклонов, когда сортируемая масса тангенциально подается с большой скоростью в конический очиститель. Очиститель подобной конструкции марки УВК выпускается и отечественной промышленностью. Вихревые конические очистители устанавливаются, как правило, в 3—4 ступени.

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 °С. При горячем способе

процесс осуществляется при повышенном до 0,3—0,5 МПа давлении и температуре 130—150 °С. В первом случае частицы битума, парафина и тому подобных веществ не расплавляются, а измельчаются до размеров, при которых они не влияют на качество бумажной продукции, во втором — расплавляются и удаляются.

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. 12.5.

Таблица 12.5

**Режимы термомеханической обработки макулатурной массы
(С — концентрация)**

Вид макулатуры	Назначение вторичных волокон	Расход пара, т/т	t , °С	С, %	Расход электроэнергии кВт·ч/т
Картон, газеты, типографские отходы	Картон	0,45	127	30	0,42
Газеты, типографские отходы, перфокартон	Туалетная бумага	0,45	125	32	0,40
Влагопрочные битумизированные мешки	Крафт-мешки	0,50	145	5	0,60

12.6. 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 % 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.

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 NaClO и гидросульфит натрия 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.

С целью более полного отделения краски используют предварительную выдержку пульпы в башенном коллекторе перед флотацией, что особенно эффективно для отделения трудноудаляемой краски при переработке высокосортной макулатуры.

Для 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, "++") концом и водоотталкивающим (гидрофобным, "--") концом.

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.

Обычно устанавливают последовательно две установки. При малом размере помещения флотационные установки можно располагать одну над другой в двух уровнях. Их общая высота не превысит 4 м.

Степень белизны облагороженной массы зависит от качества макулатуры, способа нанесения печати, состава красителей и связующих и от технологии отделения краски от волокон. Для получения массы повышенной белизны ее подвергают дополнительной отбелке. Добелка облагороженной макулатурной массы проводится перекисью водорода при концентрации 15—20 %, рН = 10—11, температуре 40—50 °С в течение 1,0—1,5 ч.

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. В частности, 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 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 %.

Контрольные вопросы

1. Какова эффективность использования макулатуры?
2. Чем определяются пределы использования макулатуры?
3. Каковы факторы, влияющие на дезагрегацию макулатуры?
4. Как производится очистка макулатурной массы?
5. Как и на каком оборудовании производится разволокнение бумажной массы?
6. Как работает установка для сортировки разволокненной массы?
7. Расскажите о термомеханических способах очистки разволокненной массы от полимерных включений.
8. Как проводится облагораживание вторичной целлюлозной массы?

Г Л А В А 13

ПЕРЕРАБОТКА ЖИДКИХ И ПАСТООБРАЗНЫХ ОТХОДОВ

В различных отраслях промышленности образуется большое количество жидких и пастообразных отходов. Среди них есть высокотоксичные материалы: шламы гальванического производства, травильные кислотные растворы, нефтепродукты, лакокрасочные материалы и т. п.

Для обезвреживания таких отходов могут применяться рассмотренные выше методы фильтрации, химической и биохимической обработки, сжигания и другие. Разработанные способы утилизации являются высокоэффективными, так как наряду с обезвреживанием токсичных продуктов позволяют получать ценную товарную продукцию: моторные и индустриальные масла, цветные металлы, строительные материалы, серную кислоту, лакокрасочные материалы и др.

13.1. Переработка нефтесодержащих отходов

Нефтесодержащие отходы и нефтепродукты являются одним из основных загрязнителей окружающей среды. Они образуются при транспортировке сырой нефти и продуктов ее переработки, 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, электрохимической, 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 тран-

спортных средств. Кроме неизбежных потерь, связанных с реализацией технологических процессов (угар масла, испарение топлива, унос смазывающе-охлаждающих жидкостей 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 рационально 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 принятой на заводе 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 доходит до нескольких сотен мг/л (автотранспортные предприятия). В Москве, где экологический контроль за очистными сооружениями особенно жесткий, сточные воды предприятий, поступающие на станции аэрации, содержат нефтепродукты 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.

Значительное количество нефтепродуктов поступает в городскую канализацию вместе с ливневыми водами, смывающими с покрытий дорог, дворов, проездов, территорий заводов нечаянно пролитые нефтепродукты, умышенно 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/м³.

Еще один источник нефтесодержащих отходов — технологическая вода после мойки автотранспортных средств. Только на мойку автомобилей расходуется свыше 500 млн. м³ 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 и реагентной обработки нефтесодержащих сточных вод; смешанные отходы трудноразделяемых нефтесодержащих материалов (станочных эмульсий, синтетических поверхностно-активных веществ, флотоконцентратов и др.); не принимаемые на регенерацию масла и 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 гравитационными способами разделения.

Ко второй группе отходов относятся осадки, образующиеся при очистке сточных вод с применением химических веществ (сульфата алюминия, хлорида железа, гидроксида кальция и др.), что придает им 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, как правило, высококонцентрированные нефтепродукты, которые требуют специфических методов утилизации.

Механическое обезвоживание нефтеотходов. С целью уменьшения объемов нефтеотходов, а также для повышения эффективности применяемых способов утилизации их предварительно отделяют от воды. Для этого применяют методы отстаивания, фильтрации, центрифугирования и др. Так, отходы первой группы легко разделяются при отстаивании: за 1 ч объем осадка умень-

шается на 35 %. Для фильтрации шламов с высоким содержанием нефтепродуктов применяют ленточные фильтр-прессы. Для улучшения фильтрации шламов проводят интенсивное их перемешивание, усредняющее состав, а также добавляют в шлам золу, полиэлектролиты и другие реагенты, изменяющие его физико-химические свойства 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. Производительность фильтра достигает 40 кг/(м² · ч), а влажность осадка составляет всего 68—75 %.

Осадки моечной воды при мойке автотранспорта легко разделяются в центробежном поле.

Так для сгущения осадков из очистных сооружений автотранспортных предприятий 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 применяется центрифуга периодического действия марки ОДМ-802 К-4 с диаметром ротора 800 мм и фактором разделения 700, обладающая высокой устойчивостью к эрозионному износу. Ее производительность по осадку достигает 4 м³/ч. Содержание твердой фазы в очищенной воде составляет не более 0,001 %, а влажность твердого осадка — не более 24 %.

Очистка моечной воды автопредприятия может быть организована по схеме, приведенной на рис. 13.1.

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, нельзя. Поэтому более рационально использование мобильных установок, способных очищать нефтесодержащие моечные воды предприятий по заранее согласованному графику с последующим вывозом

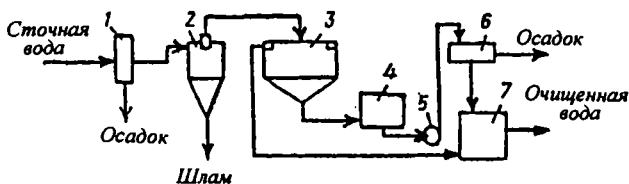


Рис. 13.1. Схема установки для очистки моечной воды автопредприятия:

1 — решетка; 2 — гидроциклон; 3 — уплотнительный бункер; 4, 7 — емкости; 5 — насос; 6 — центрифуга

твердой фазы и нефтесодержащего шлама на дальнейшую утилизацию.

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 гидроксила 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, 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 (рис. 13.2), который характеризуется следующими основными признаками:

1. Процесс сжигания осуществляется в цилиндрической или узкой кольцевой камере при большой кратности обмена в тонком

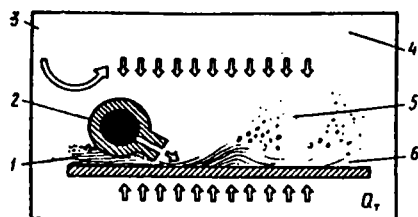


Рис. 13.2. Схема турбобарботажной установки для сжигания жидких нефтеотходов:

1 — турбулентно движущийся слой; 2 — сопла "первичного" воздуха; 3 — "вторичный" воздух; 4 — зона центробежной стабилизации капель; 5 — зона распыла; 6 — турбобарботажная ванна

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, что в определенных пределах позволяет изготавливать турбобарботажные горелки без футеровки и водяного охлаждения корпуса.

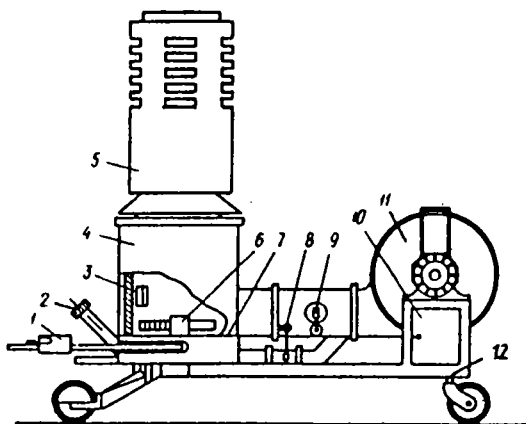
Турбобарботажная установка "Вихрь-1" с печью производительностью 200 кг/ч показана на рис. 13.3.

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 1X18Н9Т, что значительно упрощает и удешевляет их конструкцию.

Эксперименты на установках диаметром свыше 0,6 м показали, что, начиная с диаметра 0,8 м, эффект вращающегося кольца холодного воздуха значительно ослабевает и более крупные установки нуждаются в футеровке огнеупорным материалом, так как их стенки нагреваются выше 700 °С.

Рис. 13.3. Передвижная установка "Вихрь-1":
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



Установки "Вихрь" выпускаются с утилизацией тепла и с мокрой (реагентной и безреагентной) очисткой дымовых газов. Локальные 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 в табл. 13.1.

Для обезвреживания таких нефтесодержащих отходов (шламов нефтеперерабатывающих заводов, осадков сточных сооружений), в составе которых присутствует значительное количество минеральных примесей, также используется сжигание. Процесс сжигания нефтесодержащих отходов проводится в печах с "кипящим" слоем, в многоподовых и барабанных печах. Температура отходящих газов достигает 800°C , что позволяет устанавливать котел-утилизатор с получением перегретого пара и горячей воды. Для сжигания 1 кг отходов автопредприятия, содержащих 60 % минеральных примесей, 10 % нефтепродуктов и 30 % воды, требуется до 0,3 кг жидких нефтеотходов с теплотой сгорания 21 МДж/кг.

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

Характеристики работы установки "Вихрь-1"

Характеристики процесса и установки	Значение
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
<i>Допустимое содержание в отходах, %:</i>	
влаги	60
твердых минеральных примесей	15
Размер частиц твердых примесей, мкм	0—2000
Суммарная площадь сечения барботажных отверстий, % от общей площади ванны	< 0,1
<i>Конструкционный материал камеры сгорания:</i>	
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 ($t_{\text{кип}} = 30—360 \text{ } ^\circ\text{C}$)

утилизации нефтесодержащих отходов состоит в обработке их негашеной известью, предварительно обработанной стеариновой кислотой или другим поверхностно-активным веществом. В итоге получают сухой, сильно 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 поверхностно-активные вещества, разбавленные органическим растворителем. Такие препараты способны к биологическому разложению под воздействием 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, обладающие магнитными свойствами. Магнитные жидкости представляют собой многокомпонентные коллоидные системы, состоящие из воды, минеральных масел, магнитных материалов (Fe , Fe_3O_4) и других веществ. Магнитные жидкости на углеводородной основе (керосине и др.) хорошо растворяются в нефтепродуктах. При необходимости очистки от нефти магнитную жидкость распыляют по поверхности водоема, а затем (после ее растворения в нефтепродуктах) полученную смесь собирают с помощью магнитного устройства, передвигающегося по поверхности водоема.

Биохимическая обработка. Биохимическая обработка нефтесодержащих отходов основана на способности некоторых микроорганизмов превращать ароматические и алифатические углеводороды в безвредные диоксид углерода и воду. Преобразование углеводородов происходит в аэробных условиях.

Одна из технологий 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 миллиардов 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. д. Препарат сохраняет работоспособность при температуре от -50 до 70 °С. Он активен только в кислородной среде и погибает в анаэробных условиях, т. е. при попадании в земные недра. Весьма важно, что после применения препарата на загрязненной нефтепродуктами почве выход биомассы возрастает в 4 раза по сравнению с урожаем почвы до загрязнения.

Это объясняется тем, что продукты обезвреживания являются отличным удобрением.

Продолжительность процесса обезвреживания загрязненной нефтью почвы составляет менее 2,5 мес. — именно после этого срока возобновляется ее растительный покров.

Регенерация отработанных минеральных масел. Основную часть нефтеотходов, образующихся на промышленных и транспортных предприятиях, составляют минеральные масла. Общая масса минеральных масел, поступающих в отходы в течение года во всем мире, оценивается в 15 млн. т. Образование отходов минеральных масел связано с тем, что в процессе работы машин и механизмов масло окисляется, загрязняется продуктами износа деталей, металлической стружкой и пылью. Наиболее загрязненными оказываются масла, слитые из картеров двигателей внутреннего сгорания.

Отработанные масла являются сырьем для производства вторичных материалов и должны собираться с целью регенерации. Так, в Канаде нефтеперерабатывающая фирма “Эссо” (Канада) поставляет на рынок масла, содержащие 50 % регенерированных продуктов. Во Франции собирается для рекуперации ежегодно 180 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.

У нас в стране согласно ГОСТ 21046—86 “Нефтепродукты отработанные. Общие технические условия” отработанные нефтепродукты подразделяются на масла моторные отработанные (ММО), в том числе трансмиссионные, масла индустриальные отработанные (МИО) и смеси нефтепродуктов отработанных (СНО). На рис. 13.4 приведены источники образования и направления утилизации отработанных масел.

По свойствам отработанные нефтепродукты должны соответствовать требованиям, приведенным в табл. 13.2.

Методы регенерации отработанных масел подразделяются на физические, физико-химические, химические и комбинированные.

К физическим методам относятся отстаивание, центри-

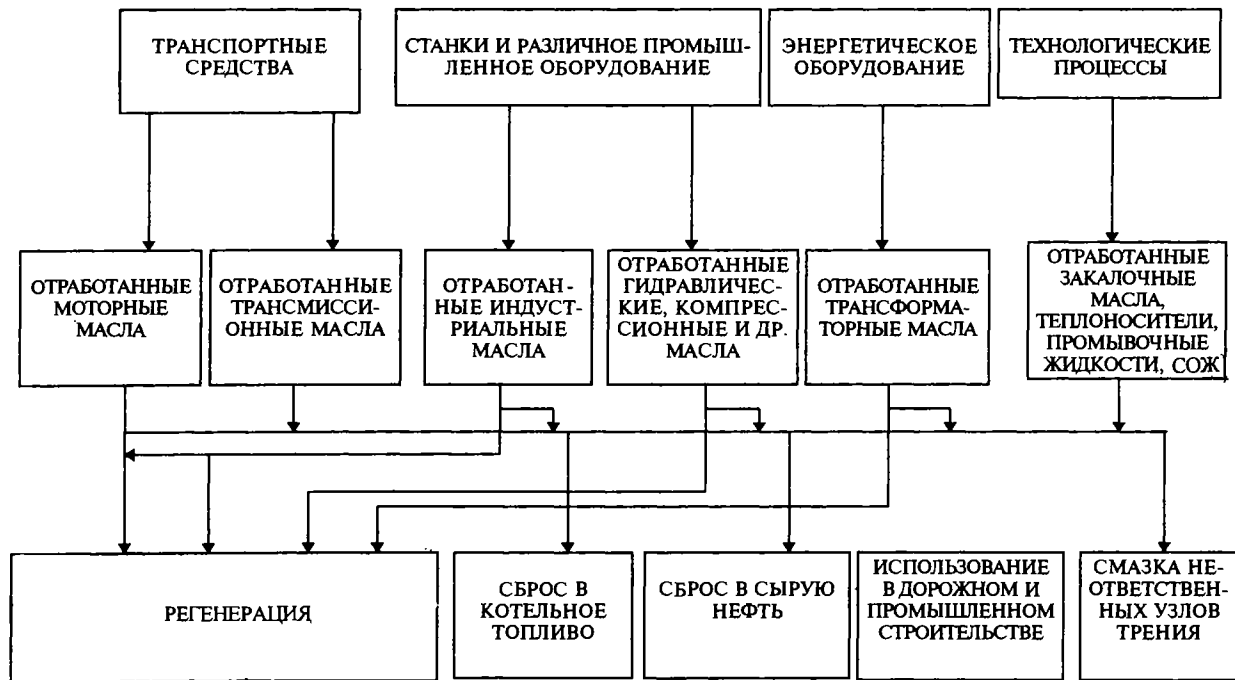


Рис. 13.4. Источники образования и направления утилизации отработанных масел

**Требования к отработанным нефтепродуктам,
поступающим на регенерацию**

Наименование показателей	Норма для масел		
	ММО	МИО	СНО
Кинематическая вязкость, $\times 10^6$, m^2/c , при температуре, $^{\circ}C$:			
50	≥ 25	≥ 5	—
100	≥ 5	—	—
Условная вязкость при $20^{\circ}C$, Ст	≥ 29	≥ 13	—
Температура вспышки в открытом тигле, $^{\circ}C$	≥ 100	≥ 120	—
Содержание, % (по массе):			
механических примесей	≤ 2	≤ 2	≤ 2
воды	≤ 4	≤ 4	≤ 5
топлива	≤ 6	≤ 6	—

фугирование, фильтрация, перегонка. Наиболее эффективен метод вакуумной перегонки. Интересный опыт регенерации отработанных масел накоплен финской фирмой “Экокем”. Отработанные масла собираются с промышленных предприятий, станций технического обслуживания автомобилей, автозаправочных станций и т. п. При переработке из масла сначала методом центрифугирования выделяются металлы и другие взвешенные частицы, затем масло фильтруют и обезвоживают. Для изготовления из образовавшегося “сырого” масла продукта, пригодного для использования в автомобилестроении в качестве смазочного материала, в него добавляют соответствующие присадки. Упомянутая фирма на неспециализированном предприятии регенерирует в год 50 тыс. т отработанных масел, получая при этом 3 тыс. т готового продукта (т. е. 6 % от количества переработанных отходов).

К физико-химическим относятся методы, основанные на использовании поверхностно-активных веществ, адсорбентов и т. п.

Химические методы регенерации заключаются в очистке отработанных масел с помощью кислоты или щелочи.

Комбинированные методы регенерации заключаются в сочетании нескольких названных выше приемов очистки.

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.

Для регенерации отработанных индустриальных масел разработана установка УПТМ-8К, имеющая технические характеристики, приведенные в табл. 13.3.

Т а б л и ц а 13.3

**Технические характеристики установки УПТМ-8К
для регенерации отработанных индустриальных масел**

Наименование характеристики	Значение характеристики
Производительность, л/мин	4
Выход очищенного масла, %	≥ 85
Установленная мощность, кВт	120
Габариты, мм	4000×2000×2400

Работа установки основана на использовании физических и физико-химических методов регенерации: фильтрации, коагуляции, отстаивания, выпаривания (рис. 13.5). 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 процесс отстаивания продукта и

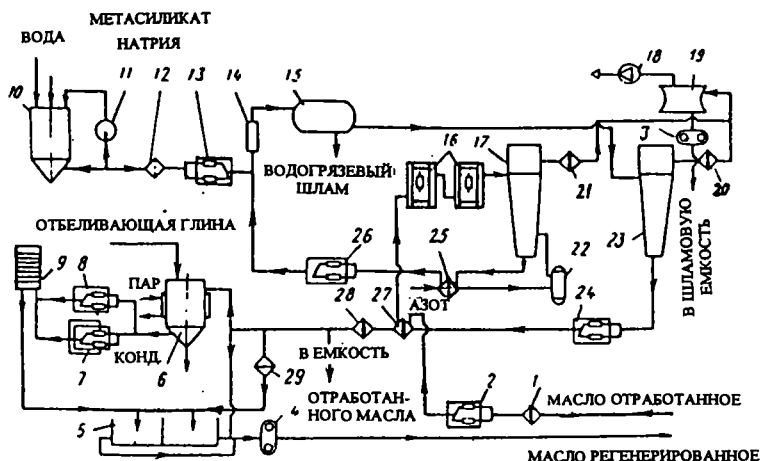


Рис. 13.5. Функциональная схема установки УПТМ-8К:

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

удаления 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.

Регенерация отработанных индустриальных и трансформаторных масел производится в основном на местах их потребления. Для этого разработаны различные варианты масло-регенерационных установок: УРИМ-0,8; УРИМ-10; УРТМ-200М; УФСН-1 и др. Для регенерации масел холодильных машин используется установка УРМХМ-1,6.

13.2. 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 из водных растворов или расплавов солей металлов. В гальваническом производстве неизбежно образуются токсичные сточные воды, которые необходимо обезвреживать.

Сточные воды гальванических производств 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 в результате накопления в органах и тканях к нарушению функционирования центральной нервной системы, внутренних органов, эндокринной системы и других жизненно важных систем организма.

Несмотря на доказанный и широко известный вред, который наносят тяжелые металлы человеческому организму, их выброс в окружающую среду, в том числе гальваническими производствами, продолжается. Только при нанесении гальванических покрытий предприятия страны выбрасывают в окружающую среду ежегодно тысячи тонн тяжелых металлов.

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

Учитывая вышеизложенное, а также в целях экономии материальных ресурсов (поскольку содержание цветных металлов в осадках очистных сооружений соизмеримо с их содержанием в природном сырье), утилизация отходов гальванических про-

изводства имеет важное экологическое и экономическое значение.

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. По составу они подразделяются на три основных вида: хромсодержащие, циансодержащие и кислотнo-щелочные.

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 оно более прогрессивно и предпочтительно.

В промышленности существуют различные способы регенерации электролитов, используемых в гальванических производствах. Их применение позволяет производить корректировку работающих электролитов не чаще 1 раза в 3 месяца, а полную замену 1 раз в 2—3 года. Эти методы регенерации электролитов могут быть организованы в периодическом и непрерывном цикле работы и состоят из следующих стадий: фильтрации, селективной очистки от примесей металлов, сорбционного удаления продуктов распада органических веществ (или их окисления), реагентной обработки.

При отстаивании сточных вод гальванических производств в шламонакопителях образуется значительное количество шламов, содержащих вещества, которые после регенерации могут быть рационально использованы в различных технологических процессах, что позволяет экономно расходовать природные ресурсы и одновременно снизить нагрузку от воздействия шламов на окружающую среду.

13.3. Утилизация шламов различных производств

Образующиеся в различных технологических процессах так называемые шламы, представляют собой коллоидные системы, состоящие из мелкодисперсных нерастворимых частиц, находящихся во взвешенном состоянии в различных жидкостях. Их количество колеблется в широком интервале в зависимости от типа производства. Например, количество нефтяных шламов, образующихся на нефтеперерабатывающих заводах, не превышает 1 % от количества переработанной нефти, в то время как в производстве фосфора количество образующихся шламов достигает 30 % от объема его производства. Значительное количество шламов, содержащих ценные металлы и минералы, образуется в химической промышленности, в машиностроении и других областях. Так, на химических предприятиях страны ежегодно образуется до 120 тыс. т железосодержащих шламов, 70 тыс. т цинксодержащих шламов, 13 тыс. т медьсодержащих шламов и другие.

Во многих случаях шламы сбрасываются в шламонакопители, отвалы и пруды, загрязняя как воздушный бассейн, так и подземные и поверхностные воды. Так, например, из образующихся нефтяных шламов обезвреживается всего 0,5 %.

Как правило, шламы высокотоксичны и загрязнены органическими и минеральными примесями. 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.

В зависимости от состава и физико-химических свойств шламов применяют различные методы их обезвреживания и переработки: химические, физико-химические, термические и их комбинации. Во многих случаях наиболее распространенными способами утилизации шламов являются термические. Огневая обработка позволяет полностью обезвредить горючие составляющие шламов с получением безвредных продуктов горения и зольных остатков, состоящих из металлов и их оксидов. 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. Такими комплексными методами извлекают железо из шламов, восстанавливают катализаторы, содержащие никель, палладий, платину, медь, теллур и другие ценные металлы, а также извлекают эти металлы из отработанных катализаторов.

Для обжига шламов неорганического происхождения широко 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 с низкой теплотой сгорания используют газообразное топливо для разогрева реактора.

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

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

Перед сжиганием шлам обезвоживается, так как от содержания воды зависит температура процесса, а следовательно, и полнота окисления вредных веществ, содержащихся в шламе. Отделение воды проводят на вакуум-фильтрах, фильтр-прессах и на центробежных сепараторах.

При огневой переработке минеральных 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 м³ реактора.

Шламы, образующиеся в гальваническом производстве, в зависимости от типа осадителя делятся на: кальцийсодержащие (осадитель — известковое молоко); натрийсодержащие (осадитель — щелочь, сода); железосодержащие (осадитель — железосодержащие реагенты).

Любому методу утилизации гальванических шламов предшествует обезвоживание. Наиболее перспективны безреагентные способы обезвоживания шламов, например электрокоагуляционный. Преимущества таких методов по сравнению с технологиями, использующими химические вещества для осаждения мелкодисперсных шламов, заключаются в сокращении продолжительности процесса и производственных площадей; в непрерывности процесса и повышении качества очищенной воды.

Известны методы отделения воды путем замораживания шлама. Однако такая технология требует больших затрат электроэнергии.

Обезвоженные гальванические шламы широко 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.

Гидроксидные шламы гальванических производств добавляют в асфальтобетон. 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 ферритов.

Применяется шлам и для изготовления черепицы. При введении в керамическую смесь шламов тяжелых металлов происходит не только их надежное обезвреживание, но и повышаются прочностные свойства черепицы.

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. При разработке таких технологий следует помнить, что шламы различных металлов несовместимы между собой, так как 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 гальванических шламов не производится, а их используют в качестве добавок к сырью для получения различных материалов (табл. 13.4).

Хотя доля шлама, образующегося в процессе нефтепереработки, невелика (1 %), их общее количество в нашей стране достаточно велико. А поскольку нефтешламы содержат 20—25 % нефтепродуктов, их утилизация представляет значительный интерес.

Собранные в различных ловушках, отстойниках, шламонакопителях нефтепродукты пропускаются через обогреваемые теплообменники для выпаривания воды, а затем поступают на отстаивание. В зависимости от качества получаемого продукта его сжигают или, в случае высокого содержания нефтепродуктов и чистоты

Таблица 13.4
Области утилизации гальванических шламов

Материал, в котором используются гальваношламы	Состояние шлама	Влажность, %	Назначение
Асфальтовая смесь	Паста	65	Снижение стоимости
Гипсовая смесь	Жидкость	98	То же
Керамзит	Паста	15	Увеличение прочности
Черепица	Жидкость	60—90	То же
Облицовочная плитка	Порошок	5—10	Изменение цвета
Стекла	Порошок	2	Создание спецстекла

полученной нефтяной эмульсии, его направляют на нефтепереработку вместе с сырой нефтью.

Более рациональные методы утилизации нефтяных шламов заключаются в: применении котлов-утилизаторов, использующих выделяющееся при сжигании обезвоженного шлама тепло; использовании центрифуг для обезвоживания шлама; применении пиролиза для получения горючих газов из нефтепродуктов, содержащихся в шламе, термической обработке нефтеотходов на движущемся твердом теплоносителе, нагретом до 350–750 °С (при этом нефтепродукты и вода испаряются, после чего охлажденная парогазовая смесь конденсируется, а затем отстаивается с разделением на воду и нефтепродукты).

13.4. 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.

Ежегодно в стране образуется 2 млн. т отработанной серной кислоты, что составляет 10 % от общего ее производства. Такие объемы свидетельствуют о необходимости утилизации отработанной кислоты с целью экономного ресурсопользования и защиты окружающей среды.

Отходы, образующиеся при использовании серной кислоты, включают кроме отработанной серной кислоты травильные растворы, кислые гудроны и сточные воды, содержащие кислоту менее 10 % (по массе). В России насчитывается более 200 видов отработанной серной кислоты, содержащих около ста видов примесей, в том числе аккумуляторная кислота из отработанных свинцовых аккумуляторов.

Обезвреживание и утилизацию отработанной серной кислоты производят следующими способами:

- ♦ нейтрализацией растворов или их огневым обезвреживанием без использования образующихся продуктов;
- ♦ использованием (возможно после предварительного упари-

вания) загрязненных растворов в других технологических процессах;

♦ регенерацией отходов с получением товарной серной кислоты.

Сточные воды с низкой концентрацией серной кислоты обычно нейтрализуют щелочами. При содержании в сточных водах примесей нейтрализацию совмещают с огневым методом. Метод нейтрализации применяют при небольших количествах отходов и отсутствии в них органических примесей.

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

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

В зависимости от состава отработанной кислоты применяют различные методы регенерации: термическое расщепление, экстрагирование органических примесей, адсорбцию, каталитическое окисление пероксидом водорода, коагулирование, выпаривание и др. Наибольшее распространение у нас в стране получила регенерация серной кислоты огневым методом, при котором происходит высокотемпературное расщепление кислоты. Метод универсален и высокоэффективен. При огневом методе используется концентрированная серная кислота, поэтому при необходимости предварительно проводят упаривание отработанной кислоты до необходимой концентрации.

Процесс термического расщепления кислоты и окисление органических примесей проводят при 950—1200 °С, для чего в огневом реакторе сжигают топливо (рис. 13.6).

Сернокислотные растворы с помощью форсунок распыляют в потоке продуктов сгорания топлива в огневом реакторе 1. Туда же с помощью воздуходувки 2 подается воздух, предварительно пропущенный через воздухоподогреватель 4. Органические примеси при этом окисляются с образованием CO_2 и H_2O , а серная кислота расщепляется с образованием SO_2 . Сернистый газ из огневого реактора поступает в котел-утилизатор 5, а из

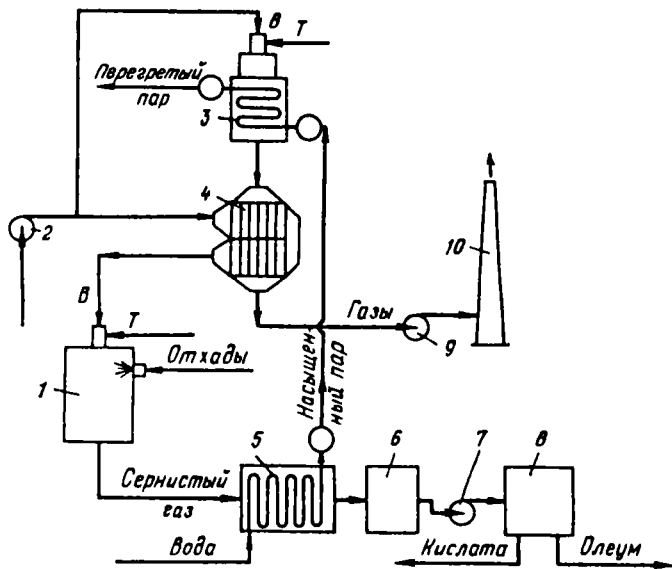


Рис. 13.6. Схема установки для регенерации серной кислоты методом термического расщепления (В — воздух; Т — топливо)

него — в систему очистки 6, где очищается от пыли, сернокислотного тумана и подвергается осушке, после чего с помощью газодувки 7 подается в узел получения кислоты 8. Насыщенный пар из котла-утилизатора 5 подается на 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. Это приводит к сокращению расходов природного сырья и снижению затрат на производство серной кислоты на 25—30 % по сравнению с ее производством из первичного сырья (элементарной серы).

Для рентабельной регенерации серной кислоты из рассматриваемых отходов необходимо их предварительное обезвреживание (концентрирование). В связи с отсутствием в отходах летучих веществ концентрирование можно осуществить методом упаривания в контактных теплообменниках за счет теплоты

отходящего из огневого реактора сернистого газа. При этом одновременно происходит закалка газа.

Содержание воды в упаренном растворе зависит от температуры отходящих из огневого реактора газов и от содержания воды в исходном растворе. Если в исходном растворе имеется 60—70 % воды, то после упаривания его отходящими газами с температурой 950—1000 °С содержание воды снижается до 35—40 %. При огневой переработке таких растворов концентрация SO_2 в сухом сернистом газе — не менее 7 %. Сильно разбавленные растворы, содержащие более 80 % воды, после упаривания содержат ее не более 60 %. При огневой переработке таких растворов с целью получения сернистого газа с содержанием SO_2 не менее 6 % в качестве топлива используют серу или сероводород, а также обогащают кислородом дутьевой воздух.

Для более полного превращения SO_3 в SO_2 в огневом реакторе целесообразно двухступенчатое сжигание топлива.

В первой ступени термическое расщепление серной кислоты и сульфатов осуществляется в восстановительной газовой среде (в продуктах неполного горения топлива), а во второй ступени происходит дожигание продуктов неполного горения за счет подачи вторичного воздуха.

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 серноокислотных 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 после соответствующей переработки 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. Процесс проводят при температуре 900—1000 °С. Обра-

зующиеся в процессе сжигания пульпы, состоящей из сульфата железа и серы, продукты сгорания (сернистый газ и вода) подвергаются очистке от пыли, охлаждаются до 290—300 °С и направляются на получение серной кислоты по классической схеме.

13.5. Регенерация моющих растворов

На металлообрабатывающих и машиностроительных предприятиях для очистки поверхности металла от масел перед нанесением различных покрытий (грунтующих, лакокрасочных, антикоррозионных и др.) применяют моющие растворы на основе силиката и нитрата натрия, тринатрийфосфата, соды, гидроксида натрия, а также некоторых органических соединений. В состав моющих растворов входят поверхностно-активные вещества и некоторые другие добавки.

Во время мойки моющие растворы загрязняются маслами и механическими примесями, в результате чего они должны периодически заменяться свежими. Загрязненные моющие растворы подлежат регенерации. Наиболее полная регенерация моющих растворов происходит при использовании огневого метода утилизации. Такой процесс экономически эффективен при необходимости регенерации раствора в количестве не менее 1 м³/ч.

Регенерацию моющих растворов на основе тринатрийфосфата и силиката натрия целесообразно проводить в реакторах с “кипящим” слоем с твердым шлакоудалением при температуре 900—950 °С. При этой температуре происходит полное окисление горючих примесей, а минеральные продукты сгорания выходят в виде гранул. Шлакование “кипящего” слоя при такой температуре не происходит, так как температура плавления тринатрийфосфата составляет 1340 °С, а силиката натрия 1088 °С, что существенно выше температуры проведения процесса.

Отработанные моющие растворы на основе соды можно использовать в других технологических процессах: для нейтрализации кислых сточных вод, для нейтрализации газообразных кислот и их ангидридов, образующихся в процессе огневого обезвреживания различных отходов, содержащих серу, хлор, фосфор, для очистки некоторых видов тары и рабочих мест, в процессах флотации руд цветных металлов. Для их регенерации также используют огневой

метод. Процесс проводят в циклонных реакторах с жидким шлакоудалением.

Очистка моющих растворов от масел и механических примесей осуществляется методом электрофлотации.

13.6. Переработка отходов растворителей

Многие технологические процессы в промышленности и на транспорте связаны с использованием органических растворителей. Выполнив свою роль, они 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 легко воспламеняющимся жидкостям (ЛВЖ), являющимся пожаро-, взрывоопасными веществами. Их сброс в накопители, унос паров в атмосферу наносит серьезный ущерб окружающей среде.

Все ЛВЖ по степени опасности делят на три группы (табл. 13.5).

Таблица 13.5

Температуры вспышки ЛВЖ

Группа опасности ЛВЖ	Температура вспышки в тигле, °С	
	в закрытом	в открытом
I — особо опасные	< -18	< 13
II — постоянно опасные	-18—23	13—27
III — опасные	23—26	27—66

Поэтому 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 в силу различных причин экономически неэффективны.

В основе рекуперации растворителей лежит явление физической адсорбции — поглощения паров вещества пористыми

адсорбентами, например углеродными (активированными углями) или минеральными (силикагелем). Иногда в качестве поглотителей используют нелетучие жидкости. Процесс адсорбции наиболее эффективно происходит, когда поры адсорбента в несколько раз превышают размеры 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. Процесс выделения поглощенных адсорбентом веществ называется десорбцией.

Рекуперация растворителей может быть организована в периодическом и непрерывном цикле. При периодической схеме процесса воздух, содержащий пары растворителя, проходит через неподвижный слой адсорбента, из которого после его насыщения извлекается утилизируемый растворитель.

Для организации непрерывной рекуперации с применением адсорберов периодического действия рекуперационная установка должна включать не менее двух таких аппаратов (обычно их количество составляет 3—6).

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 производстве поливинилового спирта используются метанол, этанол, этилацетат, бензин и другие растворители. Суммарное содержание их паров в отходящих газах достигает 80—90 г/м³. Учитывая, что объем отходящих газов составляет 100—150 м³/мин, общий объем паров растворителей составляет 12—

20 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. 13.7) проводится в четыре стадии: адсорбция, десорбция, сушка и охлаждение.

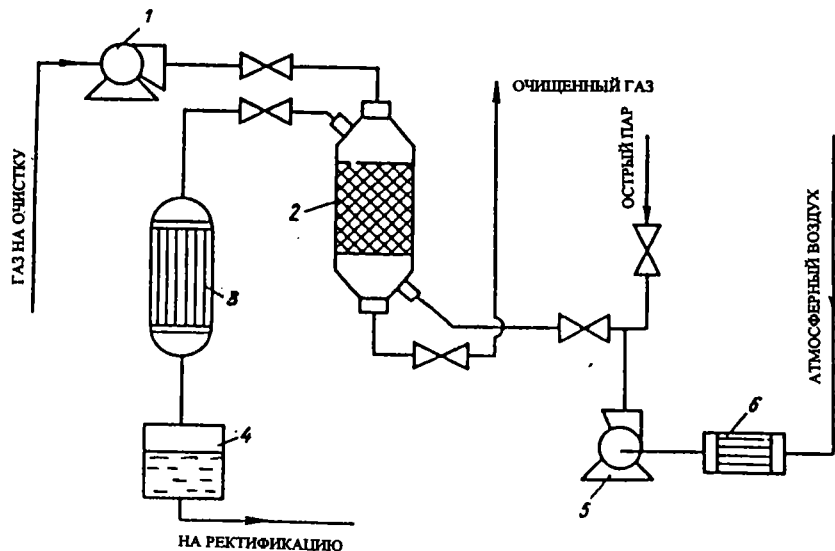


Рис. 13.7. Схема рекуперации растворителей при производстве поливинилового спирта

Паровоздушная смесь с помощью газодувки 1 направляется в адсорбер 2, где проходит через неподвижный слой адсорбента толщиной более 0,6 м. Наилучшим адсорбентом для паров и газовых выбросов является активированный уголь. Отечественная промышленность производит несколько марок активированных углей: АР-А, АР-Б, АР-В.

При прохождении адсорбера пары растворителей адсорбируются на поверхности активированного угля, а очищенный воздух выбрасывается в атмосферу. После насыщения адсорбента парами растворителей подача паровоздушной смеси в адсорбер прек-

ращается, 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. Десорбированные 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 выработка индивидуальных продуктов, используемых повторно в процессе синтеза поливинилового спирта. После завершения десорбции паров растворителей процесс переходит в третью стадию: активированный 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 крупных предприятиях. На предприятиях, где количество образующихся отходов ЛВЖ невелико, преобладает огневой метод их обезвреживания.

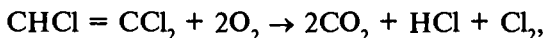
Сжигание отходов растворителей должно проводиться либо в специальной установке на территории предприятия, либо по согласованию с местными органами санитарного и пожарного надзора на специально отведенных полигонах. При уничтожении отходов ЛВЖ удобно использовать передвижную турбобарботажную установку “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.

В технологии утилизации отходов этих растворителей так же, как и других хлорорганических продуктов, используются различные схемы сжигания с улавливанием образующегося хлористого водорода и производством товарной соляной кислоты, что объясняется сравнительно невысокой стоимостью процесса и наиболее эффективным обезвреживанием токсичных веществ.

При обычном 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 в среде метана 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 (COCl₂), относящийся к боевым отравляющим веществам. Опасная для жизни концентрация фосгена составляет 450 мг на 1 м³ воздуха.

Существуют и другие способы утилизации хлорсодержащих растворителей, такие как адсорбция на углях, ректификация,

ионный обмен, адсорбция на молекулярных ситах. Но все они сложны, малопроизводительны и вследствие этого дороги.

13.7. 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 гидрофильтрах — 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 собирается в контейнеры для регенерации.

Процесс регенерации лакокрасочных материалов может быть реализован по периодической технологии, схема которой приведена на рис. 13.8.

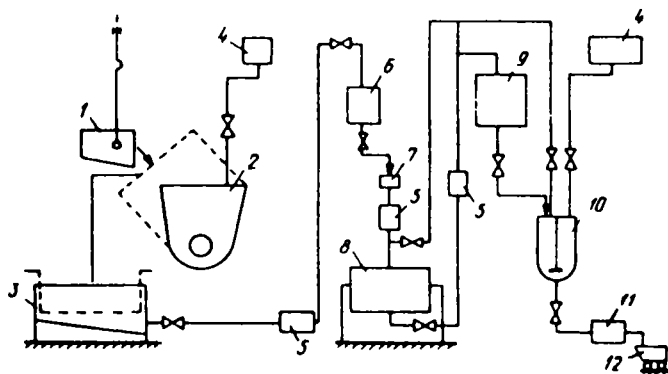


Рис. 13.8. Схема технологического процесса переработки отходов лакокрасочных материалов:

1 — контейнер; 2 — смеситель; 3 — фильтр грубой очистки; 4 — мерник; 5 — насосы; 6 — диссольтвер; 7 — сетчатый фильтр; 8 — шаровая мельница; 9 — бисерная мельница; 10 — мешалка лопастная; 11 — фильтр тонкой очистки; 12 — емкость

По такой технологии контейнер с краской разгружается в смеситель, туда же с помощью мерника поступает растворитель. Образовавшаяся смесь периодически перемешивается шнековым смесителем в течение 4—5 ч, вследствие чего происходит набухание затвердевшей краски в растворителе. После этого полученная смесь переливается в сборник, проходя предварительно сетчатый фильтр грубой очистки с размером ячеек 10×10 мм. Из сборника очищенная от посторонних включений смесь поступает в диссольвер (высокоскоростной смеситель), где в течение 2—3 ч происходит диспергирование. Полученную суспензию фильтруют через сетку с размером ячеек 1 мм². Из диссольвера суспензия насосом перекачивается в шаровую мельницу, где в течение 4—8 ч происходит дальнейшее диспергирование краски. Если после этого частицы краски имеют размер менее 90 мкм, 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 более 90 мкм, то смесь подается на еще одно диспергирование в бисерную мельницу, где происходит перетир суспензии в течение 3—4 ч до получения заданной дисперсности, после чего производятся разбавление, розлив и упаковка краски.

В табл. 13.6 приведены сравнительные свойства первичной и регенерированной эмали марки АС-182.

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 наличии в краске масел, они не подлежат регенерации, так как получающийся продукт не обладает необходимыми для лакокрасочных материалов свойствами. Такие загрязненные отходы лакокрасочных материалов подлежат обезвреживанию универсальным методом — сжиганием. При достаточном количестве отходов возможна утилизация тепла от отходящих из печи дымовых газов, а также сбор на фильтрах содержащихся в красках оксидов металлов и других ценных продуктов.

Свойства первичной и регенерированной эмали АС-182

Наименование показателей	Значение показателей эмали	
	первичной	регенерированной
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	Не менее 40
Блеск пленки по блескомеру, %	Не менее 50	Не менее 40
Массовая доля летучих веществ, %	52—58	Не менее 40
Укрывистость, г/м ²	Не более 100	Не более 60
Прочность пленки при ударе, см	Не менее 50	Не менее 50

13.8. Утилизация смазочно-охлаждающих жидкостей

На машиностроительных и металлургических предприятиях при обработке и прокатке металла применяются смазочно-охлаждающие жидкости (СОЖ), которые являются эмульсиями масла в воде. Масляные эмульсии — это коллоидные двухфазные системы, в которых одна жидкость (масло) диспергирована в виде капелек в другой жидкости (воде). 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.

Приготовление эмульсии состоит в смешении масла с водой и эмульгатором. Все масляные эмульсии обладают большой устойчивостью. При обычном отстаивании в течение 3 месяцев концентрация масла снижается всего на 10—20 %. Обычно срок службы эмульсий не превышает 1 мес.

Сброс отработанных СОЖ в канализацию наносит вред окружающей среде и является расточительным. Утилизация отработанных СОЖ проводится 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 от 1 до 300 м³/сут. Поэтому регенерация отработанных эмульсий на крупных предприятиях экономически эффективна.

Для разрушения эмульсий применяют следующие методы: центрифугирование, реагентную коагуляцию, термический метод, а также их комбинацию.

В процессе центрифугирования при большой частоте вращения (фактор разделения — не менее 7250) происходит разрушение коллоидной 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 рН среды, равный 1—2, что требует изготовления центрифуги в кислотостойком исполнении.

Реагентная коагуляция заключается в добавлении к эмульсии сернокислого алюминия, хлорного или сернокислого железа в сочетании с известковым молоком или едким натром. Общее количество реагентов составляет 7—8 г/л. После разрушения эмульсии, которое происходит вследствие протекания химических реакций, производят отстаивание, в процессе которого минеральные компоненты выпадают в осадок. Образующийся осадок удаляется и утилизируется.

Наиболее эффективными являются централизованная переработка СОЖ на крупных промышленных установках методом реагентной флотации, а также термические методы утилизации.

Принципиальная схема непрерывной установки по разрушению отработанной СОЖ методом флотации приведена на рис. 13.9.

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

Рис. 13.9. Схема флотационной установки для разрушения СОЖ:

1 — отстойник; 2 — сепаратор; 3 — ресивер; 4 — флотатор; 5 — емкость с коагулянтom; 6 — шламo-сборник; 7 — сборник пены; 8 — сборник масла; 9—12 — дозаторы коагулянтoв; 13 — pH-метр; 14 — сжатый воздух; 15 — насос

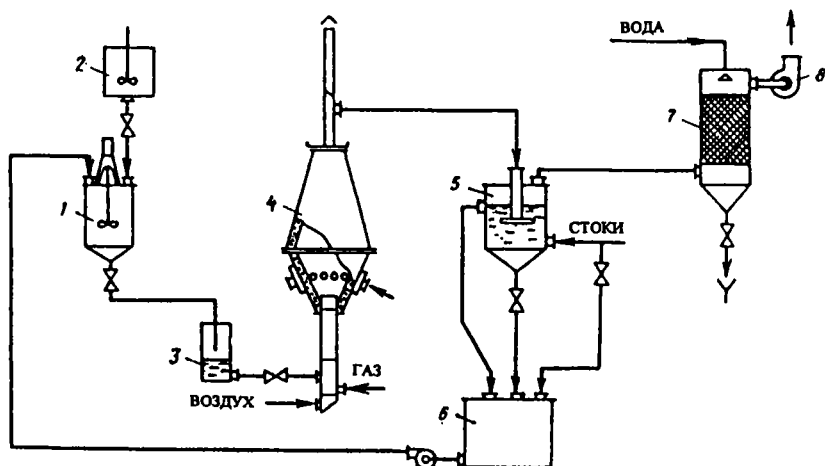
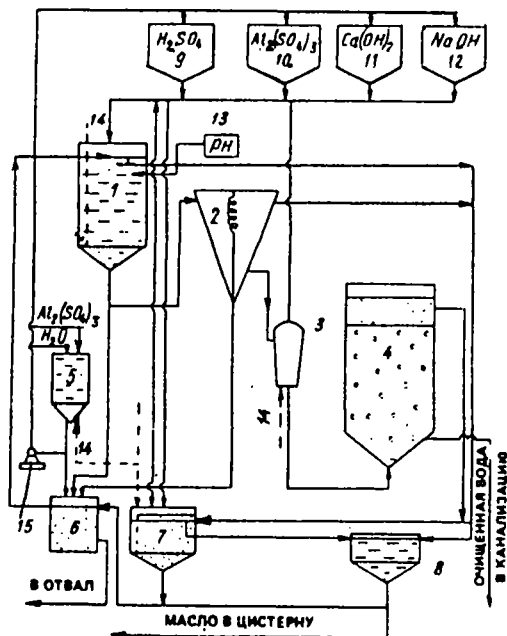


Рис. 13.10. Схема установки для термического обезвреживания СОЖ: 1 — сборник; 2 — мерник ПАВ; 3 — уравнильный сосуд; 4 — парогенераторный реактор; 5 — барботажный аппарат; 6 — сборник стоков; 7 — скруббер; 8 — вентилятор

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. 13.10.

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 вода является настолько чистой, что подается в систему оборотного водоснабжения. Производительность установки составляет 5 т/ч.

Контрольные вопросы

1. Каковы источники образования и классификация нефтесодержащих отходов?
2. Какие известны способы механического обезвреживания нефтеотходов?
3. Опишите схему установки для очистки моечной воды автопредприятия.
4. Расскажите об особенностях турбобарботажной установки сжигания нефтеотходов.
5. В чем состоит химическое обезвреживание нефтеотходов?
6. Что такое биохимическая технология обработки отходов?
7. Какие известны методы регенерации отработанных масел?
8. Дайте характеристику отходов гальванического производства.
9. Что такое шламы? Каковы методы их обезвреживания и переработки? Расскажите об утилизации гальванических шламов.
10. Какие существуют способы регенерации серной кислоты?
11. Расскажите о способах регенерации моющих растворов.
12. Приведите схему рекуперации растворителей.
13. Как производится термическая технология уничтожения отходов растворителей с использованием установок “Вихрь”?
14. В чем состоят особенности утилизации галогенорганических растворителей?
15. Как производится регенерация лакокрасочных материалов?
16. Как производится регенерация и обезвреживание смазывающеохлаждающих жидкостей?

Рекомендательный библиографический список

- 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 болгарского *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
- Бернадинер М.Н., Шурыгин А.П.* Огневая переработка и обезвреживание промышленных отходов. — М.: Химия, 1990. — 304 с.
- Билькенрот К.Д., Кретцимар О.К., Хайльман М.* Защита мусорных полигонов с помощью озокерита и полимерных силикатов. — // Российско-германский экологический журнал "Метроном". 1992. № 2. С. 65—66.
- Болтачева Н.К., Бобович Б.Б.* Листовые и пленочные полимерные формирующиеся 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.

Васильева Л.Н., Шерстнева Г.Г., Балишанская Л.Г. Иглопробивные нетканые материалы // Автомобильная промышленность. 1989. № 12. С. 28—29.

Веркин Б.И., Назаренко А.П., Соляно В.Ф. и др. Переработка изношенных покрышек, армированных металлокордом, с помощью криогенной технологии. — Харьков: Физико-технический ин-т низких температур АН УССР. Препринт 16—87. 1987. — 40 с.

Веселов А.А. Использование древесных отходов фанерного и спичечного производства. — М.: Лесная промышленность, 1987. — 159 с.

Веселовская Е.В. Сорбенты на основе промышленных углеродсодержащих отходов / Под ред. *Н.С. Серпокрылова*. — Новочеркасск: Новочеркасский государственный технический университет, 1995. — 90 с.

Внешнеэкономические связи Российской Федерации в 1993 г. Статистический сборник. — М.: Госкомстат РФ, МВЭС РФ. 1994. — 446 с.

Волков А.Ю., Нагорнов В.П. Переработка промышленных отходов. Финская фирма “Экокем” // Автомобильная промышленность. 1993. № 5. С. 32—33.

Вторичное использование полимерных материалов / Под ред. *Е.Г. Любешиной*. — М.: Химия, 1985. — 192 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.

Выварец А.Д. Эффективность использования отходов в условиях интенсификации производства. — Свердловск: Изд. Уральского университета, 1987. — 191 с.

Гельвановский М.И., Тروفимова 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.

Гранат Д.А., Екимова Т.П. Утилизация шин с металлокордом. — Таллин: изд. Эстонского НИИ научно-технич. информации и технико-экономич. исследований (ЭстНИИИТИ), 1988. — 23 с.

Грасси Н., Скотт Дж. Деструкция и стабилизация полимеров: Пер. с англ. *С.А. Маслова* / Под ред. *Г.Е. Заикова*. — М.: Мир, 1988. — 246 с.

Гриневич В.И., Куприяновская А.П., Никифоров А.Ю. Охрана окружающей среды и рациональное природопользование: Текст лекций / Под ред.

Егоренков Л.И., Матвеев Н.П., Сераев Н.А. Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов Московского региона: Учебное пособие. — М.: изд МПУ, 1995. — 94 с.

Ерофеев Б.В. Экологическое право России: Учебник. Изд. 2-е, перераб. и доп. — М.: изд. Ин-та международного права и экономики, 1995. Т.1. 352 с.; Т.2. 328 с.

Вторичные материальные ресурсы нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности (образование и использование) / *Л.В.Жужкова, И.Н.Шимелис, И.Ф.Тепляев и др.* Справочник. — М.: Экономика, 1994. — 142 с.

Житков А.В. Утилизация древесной коры. — М.: Лесная промышленность, 1985. — 135 с.

Заготовка вторичных черных металлов / *Н.Ф.Виноградов, В.Ф.Волобуев, В.М.Комаров и др.* Справ. изд. — М.: Metallургия, 1987. — 360 с.

Заиков Г.Е. Деструкция и стабилизация полимеров: Учебное пособие. — М.: Изд. Московского ин-та тонкой химической технологии им. М.В.Ломоносова, 1990. — 151 с.

Иванов О.П., Козан Б.И., Быков А.П. Инженерная экология: Учебное пособие / Под ред. *Б.И.Козана.* — Новосибирск: Изд. Новосибирского государственного технического университета, 1994. Кн.1. — 184 с.

Кай Крабиль. Очищенный газ с мусорных полигонов становится надежным энергоносителем // Российско-германский экологический журнал "Метроном". 1992. № 2. С. 46—47.

Карпенко И.С. Шлакопемзобетон для ограждающих конструкций. — Донецк: Донбасс, 1990. — 93 с.

Катасонов В.Ю. Экспорт природных ресурсов из СССР: необходимость новых подходов: 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.

Кафаров В.В. Принципы создания безотходных химических производств. — М.: Химия, 1982. — 288 с.

В.В.Кострова. — Иваново: изд Ивановской государственной химико-технологической академии, 1995. — 288 с.

Гуль В.Е., Акутин М.С. Основы переработки пластмасс. — М.: Химия, 1985. — 399 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.

Кириллова Э.И., Шульгина Э.С. Старение и стабилизация термопластов. — Л.: Химия, 1988. — 240 с.

Коган Б.И. Инженерная экология: Энциклопедический словарь-справочник. — Новосибирск: Изд-во НГТУ, 1995. — 102 с.

Колобов Г.А., Бредихин В.Н., Чернобаев В.М. Сбор и обработка вторичного сырья цветных металлов: Учебник 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., Рушинов Н.П. Переработка низкокачественного древесного сырья: проблемы безотходной технологии. — М.: Экология, 1991. — 288 с.

Коротков Г.А., Корначев Д.Е. Вторичные черные металлы. Краткий справочник. — М.: Металлургия, 1979. — 200 с.

Кравина С.А. Плазмохимические технологические процессы. — Л.: Химия, 1981. — 248 с.

Ласкорин Б.Н., Чалов В.И. Безотходное производство в металлургии. — М.: Металлургия, 1988. — 71 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.

Лемешев М.Я. Управление развитием природно-хозяйственных комплексов: 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. 3—10.

Ливчак И.Ф., Воронов Ю.В., Стрелков Е.В. Охрана окружающей среды. — М.: Колос, 1995. — 271 с.

Мазур И.И., Молдавнов О.И. Введение в инженерную экологию. — М.: Наука, 1989. — 375 с.

Мазур И.И., Молдавнов О.И., Шишов О.Н. Инженерная экология: Учебное пособие для вузов. Т. 1 — 637 с.; Т. 2 — 655 с. — М.: Высшая школа, 1996.

- Макаров В.М., Дроздовский В.Ф. Использование амортизованных шин и отходов производства резиновых изделий. — Л.: "Химия", 1986. — 248 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.
- Микрофлотация: Водоочистка, обогащение / Б.В.Дерягин, С.С.Духин, Н.Н.Рулев — М.: Химия, 1986. — 112 с.
- Михайлов Г.М., Серов Н.А. Пути улучшения использования вторичного древесного сырья. — М.: Лесная промышленность, 1988. — 224 с.
- Небел Б. Наука об окружающей среде: Пер. с англ. — М.: Мир, 1993. — Т.1. 424 с.; Т.2. 336 с.
- Новые композиционные материалы на основе промышленных отходов химических волокон / Под ред. П.В.Сысоева, АН БССР. — Минск: Наука и техника, 1984. — 57 с.
- Новый способ захоронения отходов: Экспресс-информация "Ресурсосберегающие технологии". — М.: ВИНТИ, 1996. № 1. — С. 25—26.
- Оборудование для сжигания отходов в установке с "кипящим" слоем (с выработкой электроэнергии): Экспресс-информация "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.: Учебное пособие для вузов. — М.: Химия, 1985. — 352 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.
- Основы технологии переработки пластмас / С.В.Власов, Э.В.Калинчев, Л.Б.Кандырин и др. : Учебник для вузов / Под ред. В.Н.Кулезнева, В.К.Гусева. — М.: Химия, 1995. — 526 с.
- Основы физики и химии полимеров / Под ред. В.Н.Кулезнева: Учебное пособие для вузов. — М.: Высшая школа, 1977. — 288 с.
- О состоянии окружающей природной среды Российской Федерации в 1997 г.: Гос. доклад / М-во охраны окружающей среды и природных ресурсов Рос. Федерации. — М.: Центр международных проектов, 1998. — 608 с.
- Охрана окружающей среды: Учебн. для техн. спец. вузов / С.В.Белов, Ф.А.Барбинов, А.Ф.Козьяков и др. Под ред. С.В.Белова. — Изд. 2-е. М.: Высшая школа, 1991. — 318 с.
- Очистка промышленных газов от пыли / В.Н. Ужов, А.Ю. Вальдберг, Б.И.Мяжков, И.К. Решидов. — М.: Химия, 1981. — 390 с.
- Пальгунов П.П., Сумароков М.В. Утилизация промышленных отходов. — М.: Стройиздат, 1990. — 352 с.

Переработка отходов термопластов / *Л.М.Варданян, А.Ф.Пиняев, В.И.Жданова и др.* Обзорная информация. — 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.

Пенная сепарация и колонная флотация / *Ю.Б.Рубинштейн, В.И.Мелик-Гайказян, Н.В.Матвеевко, С.Б.Леонов.* — М.: Недра, 1989. — 304 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.

Пишин Г.А., Микрюкова И.К., Шаргородский А.М. Влияние кратности переработки на свойства пластифицированных ПВХ-композиций // Пластические массы. 1977. № 1. С. 40—41.

Полигонные технологии. Краткое техническое изложение. Всемирный Фонд Ресурсов: Экспресс-информация “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.

Разнощик В.В. Проектирование и эксплуатация полигонов для твердых бытовых отходов. — М.: Стройиздат, 1981. — 104 с.

Ребрин С.П., Мерсов Е.Д., Евдокимов В.Г. Технология древесноволокнистых плит, 2-е изд. — М.: Лесная промышленность, 1982. — 272 с.

Рециклинг пластмасс и волокон: Экспресс-информация “Ресурсосберегающие технологии”. — М.: ВИНТИ, 1992. № 4. С. 2—8.

Родионов А.И., Клушин В.Н., Торочешников Н.С. Техника защиты окружающей среды: Учебник для вузов. — М.: Химия. 1989. — 512 с.

Российский статистический ежегодник: Статистический сборник / Госкомстат России. — М.: Госкомстат России, 1994. — 799 с.

Руководство по организации наблюдений, проведению работ и выдаче разрешений на сброс отходов в море с целью захоронения. — М.: Гидрометеониздат, 1984. — 62 с.

Санитарная очистка и уборка населенных мест / *А.Н. Мирный, Н.Ф. Абрамов, Х.Н. Никогосов и др.* М.: Академия коммунального хозяйства им. Панфилова, 1997. — 314 с.

- Сиденко П.М.* Измельчение в химической промышленности. Изд. 2-е, перераб. — М.: Химия, 1977. — 368 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: Обзорная информация". — М.: ЦИНТИ-химнефтемаш, 1987. — 36 с.
- Спейшер В.А.* Обезвреживание промышленных выбросов дожиганием. — М.: Энергоатомиздат, 1986. — 168 с.
- Стадницкий Г.В., Родионов А.И.* Экология: Учебное пособие для вузов. — СПб: Химия, 1996. — 240 с.
- Твердые отходы* / Под ред. *Ч.Мантелла*. — М.: Стройиздат, 1979. — 519 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.
- Технологическое, подъемно-транспортное и складское оборудование, применяемое при обработке и переработке вторичного сырья: Отрасл. кат. Госнаб СССР.* — М.: ВНИИВМР, 1988. Ч.1 — 207 с.; Ч.2 — 216 с.
- Технология пиломатериалов* / *П.П.Аксенов, Н.С.Макарова, И.К.Прохоров и др.*: Учебник для вузов. — М.: Лесная промышленность, 1976. — 480 с.
- 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.*: Учебное пособие для вузов. — М.: Металлургия, 1994. — 224 с.
- Утилизация материалов на фирме "Мерседес-Бенц" // ATZ.* 1990. № 12. P. 694-703; 1991. № 1. P. 40—48.
- 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.
- Химики — автолюбителям* / *Б.Б.Бобович, Г.В.Бровак, Б.М.Бунаков и др.* 3-е изд. — С.-Пб.: Химия, 1992. — 320 с.

Холмс-Уолкер В.А. Переработка полимерных материалов: Пер. с англ. — М.: Химия, 1979. — 304 с.

Чебанов Е.Н., Тейтельман Э.М., Шумаева Н.С. Древеснонаполненный полипропиленовый лист: // Автомобильная промышленность. 1996. № 5. С. 32.

Чепурных Н.В., Новоселов А.Л. Планирование и прогнозирование природопользования: Учебное пособие. — М.: Интерпракс, 1995. — 288 с.

Шабельский В.А., Андреенок В.М., Евтюков Н.З. / Под ред. *Е.А.Быкова.* Защита окружающей среды при производстве лакокрасочных покрытий. — М.: Химия, 1985. — 120 с.

Шварцман Г.М., Щедро Д.А. Производство древесностружечных 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.

Шеховцев А.А., Звонов В.И., Чижов С.Г. Влияние отраслей народного хозяйства на состояние окружающей среды в 1993 г. (приложение к гос. докладу "О состоянии окружающей среды РФ в 1993 г."). — М.: Изд. центр "Метеорология и гидрология", 1995. — 120 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.: Металлургия, 1989. — 359 с.

Экологическая альтернатива / Под ред. *М.Я.Лемешева.* — М.: Прогресс, 1990. — 800 с.

Экологическая безопасность России: Материалы Межведомственной комиссии по экологической безопасности (окт. 1993 г. — июль 1994 г.) — М.: Юридическая литература, 1995. Вып. 1. — 224 с.

Экология Москвы / *Ю.Н.Горшков, Л.И.Конова, М.А.Морозов и др.* — М.: ЛТД, 1995. — 205 с.

Экология России: Справочник. — Информация и документы за 1994 г. / Редактор-составитель *В.М.Гейфтер.* — М.: Федеральный экологический фонд России. Информац. служба Медиа, 1995. — 143 с.

Эммануэль Н.М., Бучаченко А.Л. Химическая физика молекулярного разрушения и стабилизации полимеров / Отв. ред. *Н.С.Ениколопан.* — М.: Наука, 1988. — 368 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, Barcelona: Hauser Publishers, 1992. — 289 p.

Filtration: Principles 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 liquid hazardous substance cleanup and control.* — Park Ridge (NY): Noyes data corp., 1988. — 153 p.

Muller H. *Analyse der Elementarprozesse in Muller zur Feinzerkleinerung.* — Dusseldorf: VD I, 1991. 145 S.

Plastics recicling: products and processes / Ed.: P.J.Ehrig. — Munich at al.: Hanser, 1992. — 289 p.

Pyrolysis: theory and industrial practice / Ed.: L.F.Albright, B.L.Crynes, W.H.Corcoran. — New -York etc.: Acad. press, 1983. — 482 p.

Recycling von Kunststoffen / Hrsg.: G.Menges et al. — München, Wien: Hanser Verl., 1992. — 489 p.

Shimizu J.e.a. *Pulping of waste paper // Кемина гикёси.* 1987. V. 41. № 10. P. 890—898

The Solid Waste Handbook / Edited by W.D.Robinson. — New -York, 1986. — 811 p.

Учебное издание

БОБОВИЧ БОРИС БОРИСОВИЧ

Переработка промышленных отходов

*Редактор Э.М. Щербинина
Корректор Ю.И. Королева
Компьютерная верстка О.А. Москвина*

Лицензия ЛР № 090171 от 17.04.97

Подписано в печать 12.04.99 г.	Формат издания 60×88 ¹ / ₁₆	
Бумага офсетная № 1	Печать офсетная	
Усл.печ.л. 27,44	Усл. кр.-отт. 27,44	Уч.-изд. л. 25,29
Тираж 850 экз.	Заказ № 672	Изд. № 188 от 17.02.99

“СП Интермет Инжиниринг”
1033006, Москва, Старопименовский пер., д. 8.

Московская типография № 2 РАН
121009, Москва, Шубинский пер., д. 6.