



**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

**Белорусский национальный
технический университет**

Кафедра «Торговое и рекламное оборудование»

А. И. Ермаков

**УТИЛИЗАЦИЯ ТАРЫ
И УПАКОВКИ**

Учебно-методическое пособие

**Минск
БНТУ
2017**

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
Белорусский национальный технический университет

Кафедра «Торговое и рекламное оборудование»

А. И. Ермаков

УТИЛИЗАЦИЯ ТАРЫ И УПАКОВКИ

Учебно-методическое пособие
для студентов специальности
1-36 20 03 «Торговое оборудование и технологии»

*Рекомендовано учебно-методическим объединением по образованию
в области машиностроительного оборудования и технологий*

Минск
БНТУ
2017

УДК 621.798:658.567.1(075.8)

ББК 30.61я7

Е72

Рецензенты:

А. В. Иванов – д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры
«Машины и аппараты пищевых производств» МГУП;

В. Я. Груданов – зав. кафедрой «Технологии и техническое
обеспечение процессов переработки» БГАТУ

Ермаков, А. И.

Е72 Утилизация тары и упаковки : учебно-методическое пособие для студентов специальности 1-36 20 03 «Торговое оборудование и технологии» / А. И. Ермаков. – Минск: БНТУ, 2017. – 194 с.
ISBN 978-985-550-979-1.

В издании изложены технологические основы решения проблемы утилизации тары и упаковки путем их комплексной переработки. Приведены анализ и описание процессов и аппаратов, используемых при переработке отходов для измельчения, классификации по крупности, видовой сепарации, агрегирования и других видов подготовки к утилизации с целью получения вторичных материальных ресурсов.

Представлены материалы и рассмотрены примеры проектирования оборудования, применяемого при измельчении и сортировке отходов, а также рассмотрен вопрос проектирования полигонов захоронения твердых бытовых отходов.

УДК 621.798:658.567.1(075.8)

ББК 30.61я7

ISBN 978-985-550-979-1

© Ермаков А. И., 2017

© Белорусский национальный
технический университет, 2017

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ТАРЕ И УПАКОВКЕ.....	6
1.1. Классификация тары и упаковки	6
1.2. Материалы для изготовления бумажной и картонной тары	13
1.3. Стеклоянная тара	21
1.4. Металлическая тара.....	25
1.5. Полимерная тара.....	29
1.6. Тканевая тара	37
1.7. Деревянная тара	40
1.8. Упаковка из комбинированных и многослойных материалов	41
2. ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ ПЕРЕРАБОТКИ ТАРЫ И УПАКОВКИ	45
2.1. Измельчение	45
2.2. Сепарация.....	52
2.3. Агрегатирование.....	81
2.4. Смешивание	85
2.5. Разделение неоднородных жидких и газообразных систем	89
2.6. Теплообменные процессы	99
2.7. Массообменные процессы.....	104
2.8. Химические процессы.....	109
2.9. Биохимические процессы	110
3. ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ ТАРЫ (УПАКОВКИ)	113
3.1. Переработка металлической тары.....	113
3.2. Переработка бумажной тары	117
3.3. Переработка стеклянной тары.....	122
3.4. Переработка деревянной тары.....	126
3.5. Переработка текстиля	134
3.6. Переработка полимерной тары	147

4. ТЕРМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ОТХОДОВ	152
4.1. Классификация методов термической переработки	152
4.2. Термические методы переработки при температурах ниже температуры плавления шлака	155
4.3. Термические методы переработки отходов при температурах выше температуры плавления шлака.....	163
5. ПОЛИГОННОЕ ЗАХОРОНЕНИЕ ОТХОДОВ	175
5.1. Устройство полигона и складирование отходов.....	176
5.2. Разложение отходов в местах захоронения	181
5.3. Добыча и утилизация биогаза	187
ЛИТЕРАТУРА	193

ВВЕДЕНИЕ

Вся продукция, производимая человеком для удовлетворения своих потребностей и обеспечения жизнедеятельности, в том числе и различные упаковочные материалы, в конечном итоге переходит в категорию отходов. При этом часть материалов, на производство которых затрачено много энергии и человеческого труда, попадает в категорию отходов уже после разового использования (например, луженая консервная тара, алюминиевая тара, упаковка различных видов, макулатура и прочее).

Учитывая, что отходы являются, с одной стороны, главными загрязнителями окружающей среды, а с другой – зачастую представляют собой ценные продукты, потенциально пригодные для переработки и вторичного использования, во всем мире одной из наиболее актуальных является проблема рационального управления ими. Бесконтрольное и непродуманное обращение с отходами может привести к серьезным экологическим последствиям.

Управление отходами включает в себя организацию их сбора, транспортировки, переработки и захоронения, а также реализацию мероприятий по уменьшению количества отходов, направляемых на переработку и захоронение.

В данном пособии приведены технологические основы решения проблемы утилизации тары и упаковки путем их комплексной переработки, описаны процессы и оборудование, используемые при переработке отходов, а также рассмотрен вопрос захоронения твердых бытовых отходов на полигонах.

Углубленное изучение технологических аспектов переработки тары и упаковки ориентирует будущих инженеров на ускорение научно-технического прогресса при решении важных природоохранных задач. Именно с новыми кадрами можно связывать перспективное развитие инфраструктуры специализированных производств, работающих в сфере услуг по переработке отходов и их утилизации.

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ТАРЕ И УПАКОВКЕ

Упаковка – это средство или комплекс средств, обеспечивающих защиту продукции от повреждений и потерь, окружающую среду – от загрязнений, а также обеспечивающих процесс обращения продукции. При этом под процессом обращения понимают транспортировку, хранение и реализацию продукции.

Терминологически важно различать понятия упаковки и тары.

Тара – это основной элемент упаковки, предназначенный для размещения продукции.

Таким образом, упаковка представляет собой тару плюс все элементы, которые ее дополняют и необходимы для защиты содержимого во время погрузки-выгрузки, транспортировки, хранения, информирования о содержимом, правильного его использования, а также для того, чтобы убедить потребителя его купить.

1.1. Классификация тары и упаковки

Разнообразие тары обусловлено физико-химическими свойствами товаров, а также использованием различных материалов, из которых изготавливается тара и упаковка.

В основу классификации тары положены следующие признаки:

- функции в процессе товарного обращения;
- кратность использования;
- принадлежность;
- назначение;
- метод изготовления;
- конструктивные особенности;
- прочность;
- устойчивость к внешним воздействиям;
- материал изготовления.

По выполняемым в процессе товарного обращения функциям тару подразделяют:

- на транспортную;
- потребительскую;
- тару-оборудование.

Транспортная тара применяется для транспортировки и хранения товаров. Она образует самостоятельную транспортную единицу.

Потребительская тара поступает к потребителю с товаром и не выполняет функцию транспортной тары. К ней относятся флаконы, бутылки, банки, тубы, стаканчики, пакеты, коробки и т. п. Их стоимость включается в цену товара и оплачивается конечным покупателем.

К потребительской таре предъявляются повышенные эстетические требования: она должна привлекать внимание покупателя; содержать информацию об изготовителе, количестве, потребительских свойствах и правилах использования товара; создавать товару рекламу.

Разновидностью потребительской тары является подарочная. Художественно-конструкторское исполнение подарочной тары подчеркивает назначение товара как подарка или сувенира. Для ее изготовления иногда используют дорогостоящие материалы, например, керамику, натуральную кожу и т. п.

Тара-оборудование представляет собой изделие, предназначенное для укладки, транспортировки, временного хранения и продажи из него товаров.

В зависимости от кратности использования тара делится:

- на разовую;
- возвратную;
- многооборотную.

Разовая тара предназначена для однократного использования при поставках товаров. К ней относится большинство видов потребительской тары, а также транспортная тара, подлежащая утилизации после использования.

Возвратной является тара, бывшая в употреблении, используемая повторно.

Многооборотная тара предназначена для многократного ее использования при поставках товаров, а потому, как правило, подлежит обязательному возврату поставщику.

В зависимости от принадлежности следует различать:

- тару общего пользования;
- инвентарную.

Инвентарной является многооборотная тара, принадлежащая конкретному предприятию и подлежащая возврату.

По назначению тару делят на универсальную, применяемую для затаривания различных товаров, и специализированную – только для определенных товаров.

По методам изготовления различают клееную, штампованную, литую, сварную, бондарную и другую тару.

По конструктивным особенностям тару подразделяют:

- на неразборную;
- разборную;
- складную,
- разборно-складную;
- закрытую;
- открытую;
- штабелируемую.

Неразборная тара состоит из неразборных неподвижно соединенных частей.

Конструкция разборной тары позволяет разобрать ее на отдельные части и вновь собрать, соединив сочленяющиеся элементы.

Конструкция и свойства складной тары позволяют сложить ее без нарушения сочленения элементов и вновь придать первоначальную форму.

Разборно-складная тара сочетает в себе конструктивные особенности разборной и складной тары.

Если конструкция предусматривает применение крышки или другого затвора, то такая тара называется закрытой. Тара, применяемая без крышки или другого вида затвора, относится к открытой.

Штабелируемой называется тара, конструкция и свойства которой позволяют укладывать ее в устойчивый штабель.

По степени прочности тара бывает:

- жесткой (деревянные и полимерные ящики, бочки);
- полужесткой (картонные ящики, полимерные тубы);
- мягкой (мешки, пакеты).

В зависимости от устойчивости к внешним воздействиям тара может быть пыле-, свето-, жиро-, газо-, паро- и влагонепроницаемой.

По материалу изготовления тару подразделяют:

- на картонную;
- деревянную;
- бумажную;
- текстильную;
- металлическую;
- стеклянную;
- керамическую;

- полимерную;
- комбинированную.

Характеристика основных видов тары

Картонная тара в последнее время получила наибольшее распространение, заменив дорогостоящую и громоздкую деревянную. Она широко применяется для упаковки многих продовольственных и непродовольственных товаров. Одно из ее преимуществ – небольшая удельная масса по отношению к затариваемой продукции. Изготавливают такую тару из прессованного, литого или склеенного картона, для производства которого используют древесину и ее отходы, целлюлозу, макулатуру.

Наиболее распространенным видом транспортной картонной тары являются *ящики*. Их изготавливают из цельного листа плоского или гофрированного картона, сшитого проволочными скобами или стальной лентой. Дно и крышка ящика образуются четырьмя клапанами, стыки которых заклеивают бумажной клеевой лентой. Картонные ящики делают складными, что упрощает процесс их хранения и транспортировки в порожнем виде.

Лотки (открытые невысокие ящики) из картона предназначены для формирования с помощью специальной пленки групповой упаковки продукции (например, в бутылках), облегчающей перевозку и хранение грузов. Используют картонные лотки и для перевозки плодов и ягод.

Потребительская картонная тара – это коробки и пачки. *Коробки* имеют разнообразную форму, плоское дно, а закрываются они клапанами или крышкой (съёмной или на шарнире). *Пачка* закрывается клапанами, а ее корпус имеет форму параллелепипеда.

Деревянная тара – жесткая, способная выдерживать механическое воздействие. Она хорошо защищает товары при транспортировке, однако, обладая высоким коэффициентом собственной массы, увеличивает стоимость перевозки. К этой группе тары относят ящики, бочки и корзины.

Ящики представляют собой транспортную тару, корпус которой образован прямоугольным дном, двумя торцовыми и боковыми стенками, с крышкой или без нее.

Виды ящиков:

- дощатые (изготовленные из пиломатериалов заданных размеров);
- тонкостенные дощатые (из тонких, толщиной не более 10 мм, дощечек);
- фанерные (из фанеры с планками из пиломатериалов);
- древесно-волокнистые (из древесно-волокнистой плиты с планками из пиломатериалов);
- комбинированные.

Кроме того, деревянные ящики различают:

- по назначению (универсальные и специализированные, например, фанерные ящики для чая);
- конструкции (разборно-складные и неразборные);
- способу соединения деталей (плотные и решетчатые);
- виду крепления деталей (проволочными скобами, гвоздями и др.);
- размерам (устанавливаются стандартами исходя из габаритных размеров и массы упаковываемого груза) и другим признакам.

Разновидностью деревянных ящиков является *лоток*. Это ящик, высота которого не превышает 110 мм.

Деревянные бочки, как и ящики, относятся к транспортной таре. Корпус бочки имеет цилиндрическую или параболическую форму. Он состоит из стянутых металлическими или деревянными обручами клепок (специально обработанных деталей), образующих остов. На внутренней поверхности остова имеется упорный паз – углубление по длине окружности, предназначенное для вставки дна. В месте соединения корпуса бочки с дном располагается упорный обруч, в той части бочки, которая имеет наибольший диаметр, – пуковый, а между ними – шейный.

Клепки бочек могут быть изготовлены из пиленой или колотой древесины или многослойного шпона (для фанерно-штампованных бочек).

В зависимости от назначения деревянные бочки делят:

- на сухотарные
- заливные.

Сухотарные бочки предназначены для хранения и перевозки сухих молочных продуктов, яичного порошка, охлажденной рыбы, сухой краски и др. В заливные бочки затаривают тузлучные продукты, плодоовощные продукты с рассолом, пиво, вина, соки и другие жидкие продукты, а также пищевые жиры, замороженные плоды

и ягоды и т. п. В этих бочках обычно высверливают одно или два наливных отверстия, которые закупоривают пробками.

Вместимость бочек может быть различной. Например, бочки для коньяка, вин, соков и морсов имеют вместимость от 50 до 600 дм³, для пива – 50 и 100 дм³. Для большинства других товаров изготавливают деревянные бочки вместимостью от 5 до 250 дм³.

Одной из разновидностей деревянной тары являются *корзины*. Они бывают прутьяные и драночные. Используют их для сбора, хранения и перевозки ягод, плодов, овощей, а также рыбы и других продовольственных товаров.

Бумажная тара применяется для затаривания сыпучих и штучных товаров (продукции пищевой промышленности, строительных материалов и др.). К ней относятся мешки и пакеты.

Мешки изготавливают двух типов: с открытой или закрытой клапаном горловиной. Для их производства используют мешочную бумагу, которая может быть многослойной, ламинированной полиэтиленом или пропитанной специальными составами.

Пакеты бывают двух типов: одинарные и с внутренним пакетом-вкладышем. Для производства наружных и одинарных пакетов используют бумагу с полимерным покрытием, мешочную бумагу, а также специальную бумагу для упаковки продуктов на автоматах. Внутренние пакеты изготавливают из пергаменты или парафинированной бумаги. Бумажные пакеты склеивают, а у пакетов из комбинированных материалов швы сварные.

Текстильная тара – это паковочные ткани и тканевые мешки.

Паковочные ткани (хлопчатобумажные, льняные, льноджутокенафные) служат для упаковки в виде рулонов, кип, тюков ковровых изделий, тканей и других товаров.

Тканевые *мешки* шьют из льняных, полулльняных, льноджутокенафных и других мешочных тканей. По назначению они делятся на продуктовые мешки (для упаковки муки, крупы и других сыпучих продуктов) и мешки для сахара.

Выпускают мешки обычной и повышенной прочности. Вместимость их чаще всего равна 50 или 100 кг, но может быть и другой.

Металлическая тара применяется для затаривания, транспортировки и хранения жидких, летучих, огнеопасных и других товаров,

обладающих специфическими свойствами. Сюда относят бочки, барабаны, фляги, канистры и баллоны (в том числе аэрозольные). Их изготавливают из листовой стали, жести, алюминия.

Для фасовки пищевых нестерилизуемых продуктов (чай, кофе, кондитерские изделия и т. п.) предназначены жестяные банки с крышкой, а для консервируемой продукции – банки для консервов.

К таре, предназначенной для пищевых продуктов, предъявляются повышенные санитарно-гигиенические требования. Внутреннюю поверхность банок для консервов покрывают специальными лаками или эмалями, препятствующими взаимодействию содержимого тары с металлом.

*Стекло*нная тара служит для упаковки продовольственных (соки, алкогольные и безалкогольные напитки, консервированные плоды, овощи и др.) и непродовольственных (парфюмерно-косметические изделия, средства бытовой химии и др.) товаров. К ней относятся баллоны (бутыли), бутылки, банки и флаконы различной формы и емкости, изготовленные из бесцветного или окрашенного стекла.

Из-за хрупкости стеклянную тару транспортируют либо в специальных полимерных ящиках с гнездами, либо в ящиках, заполненных прокладочными материалами (стружкой, картоном и т. п.).

Керамическая тара, как правило, значительно увеличивает стоимость товара, поэтому наиболее часто ее применяют в качестве подарочной тары для упаковки чая, ликеро-водочных изделий и парфюмерии.

Полимерная тара получает все большее распространение, так как обладает небольшой удельной массой, высокой механической прочностью, низкой влагопроницаемостью.

Тара, изготовленная различными способами из полиэтилена, полипропилена, полистирола и прочих полимеров, позволяет заменить некоторые виды тары из других материалов. Например, полимерную тару можно использовать вместо деревянных ящиков и бочек, тканевых мешков, стеклянных бутылок и флаконов, бумажных мешков и пакетов.

Широкое применение в качестве упаковочного материала получили полимерные пленки. Так, пищевые продукты, упакованные

в термоусадочную пленку, дольше сохраняют свои вкусовые качества и внешний вид, не подвергаются воздействию влаги, пыли.

Продлить срок хранения скоропортящихся продуктов позволяет применение пакетов для вакуумной упаковки, имеющих асептическую (защищенную от бактерий) внутреннюю поверхность.

С помощью специальной пленки из полиэтилена товары в потребительской таре скрепляют между собой на поддоне, картонном лотке. Такая упаковка облегчает их хранение, транспортировку, погрузочно-разгрузочные работы.

Комбинированную тару изготавливают из двух или более различных материалов, например, бумаги и алюминиевой фольги, картона и полимерной пленки. Так, к комбинированной таре относятся рассмотренные ранее мешки из ламинированной полиэтиленом бумаги.

1.2. Материалы для изготовления бумажной и картонной тары

Бумага и картон являются самыми распространенными материалами в упаковочной отрасли. Основной характеристикой бумажных материалов является вес одного квадратного метра в граммах. По этому показателю различают бумагу от 5 до 150 г/м², тонкий картон от 151 до 400 г/м² и картон от 401 до 1200 г/м².

Классификация картонной и бумажной тары производится по конструктивному признаку и виду материала и включает в себя следующие основные группы:

- ящики из гофрированного картона;
- ящики из сплошного клеенного картона;
- лотки картонные;
- барабаны картонные;
- мешки бумажные;
- тара из бумажного литья;
- поддоны картонные;
- контейнеры картонные;
- прокладки;
- амортизаторы;
- перегородки.

Тара из гофрированного картона разделяется на следующие основные функциональные группы: ящики, лотки, барабаны, поддоны, контейнеры, прокладки, обечайки, вкладыши, перегородки и др.

Гофрированный картон состоит из двух и более слоев, из которых по крайней мере один сформирован в виде волн (гофра) и приклеен к плоскому листу.

Для производства картонной тары требуются картон, бумага, фанера, жесть металлическая, проволока, склеивающие и уплотняющие вещества, влагозащитные и другие покрытия, нитки, шпагат, металлическая лента.

Картон и бумага в сочетании с другими материалами обеспечивают готовому изделию необходимую механическую прочность, легкость и другие качества.

Выбор картона и бумаги производят исходя из требований к прочностным показателям тары, при которых обеспечивается сохранность упаковываемого продукта, с учетом получения при этом оптимальной и экономичной конструкции тары.

Наилучшими материалами для картонной и бумажной тары являются тарные картоны и бумаги, в состав которых по волокну в основном входит сульфатная целлюлоза. Эти материалы наиболее полно отвечают требованиям, предъявляемым в процессе изготовления и эксплуатации тары.

Для производства картонных ящиков и барабанов применяются следующие виды картона и бумаги:

- картон для плоских слоев гофрированного картона;
- картон тарный сплошной склеенный;
- картон коробочный;
- бумага для гофрирования;
- мешочная бумага.

Рассмотрим более подробно основные виды картона и бумаги, применяемые при изготовлении тары и упаковки.

Картон для плоских слоев гофрированного картона. Картон вырабатывается по ГОСТ 7420–69 следующих марок: К-0, К-1, К-2, К-3, К-4. Для обеспечения надлежащей прочности склейки ящиков, нанесения печати должен обеспечиваться такой показатель, как впитываемость воды покровным слоем картона, который определяется

односторонним смачиванием образца в течение 60 с и составляет для картона 20–22 г/м² впитанной воды.

Марки картона К-0, К-1 изготавливаются из 100%-й сульфатной целлюлозы. Для марок К-2 сульфатная целлюлоза используется только на покровный слой картона. Марки К-3, К-4 по составу волокна не нормируются.

Картон тарный сплошной клеенный. Применяется для производства картонных ящиков. Кроме того, он может быть использован для изготовления решеток и перегородок.

Картон тарный сплошной клеенный вырабатывается по ГОСТ 9421–60 следующих марок: КС, КС-1, КС-2, КС-3, КСВ, КСВ-1, КСВ-2.

Картон марок КС, КС-1, КС-2 и КС-3 склеивается силикатным клеем.

Картон марок КСВ, КСВ-1, КСВ-2 должен склеиваться водостойким клеем, что обеспечивает повышенную влагопрочность. Применяется для изготовления тары, которая эксплуатируется в условиях повышенной влажности (при морских перевозках и др.).

Картон коробочный. В основном предназначен для производства потребительской тары. Вместе с тем отдельные марки этого картона могут применяться для производства картонных барабанов, а также для изготовления прокладок и решеток в картонные ящики, особенно, когда в ящики упаковываются мелкие изделия (тубы, флаконы, электротехнические изделия и др.). Для этих целей используются более низкие марки коробочного картона (В, Г и Д по ГОСТ 793375–75).

Бумага для гофрирования. Основное назначение бумаги для гофрирования – это образование волнистого слоя при изготовлении гофрированного картона. Кроме того, бумага для гофрирования может быть использована при производстве картонных барабанов для навивки корпуса барабана. Она вырабатывается по ГОСТ 7377–69 следующих марок: Б-1, Б-2, Б-3.

Марка Б-1 состоит из 25 % сульфатной небеленой целлюлозы и 75 % полуцеллюлозы. Марка Б-2 имеет в своем составе 25 % сульфатной целлюлозы и 75 % полуфабрикатов высокого выхода (полуцеллюлозы высокого выхода); марка Б-3 – 35 % сульфатной целлюлозы, остальной состав волокна не нормируется.

Бумага мешочная. Предназначена для изготовления многослойных бумажных мешков, являющихся одним из наиболее массовых и самых экономичных видов бумажной тары. Мешочная бумага должна удовлетворять требованиям, отвечающим различным условиям изготовления и эксплуатации бумажных мешков. В настоящее время существуют более 20 видов мешочной бумаги. Выпускается в рулонах шириной 960–1300 мм.

Ширина рулонов устанавливается в зависимости от требуемых размеров мешков и ширины бумагоделательных машин. Диаметр рулонов достигает 1200 мм, масса 400–800 кг.

Вырабатываются следующие виды мешочной бумаги:

- непропитанная машинной гладкости массой 70, 80, 90 г/м² в основном из небеленой, редко из беленой сульфатной целлюлозы;
- основа для дублирования (склеивания) односторонней гладкости массой 45–50 г/м²;
- непропитанная микрокрепированная массой 70–120 г/м²;
- непропитанная слабocreпированная (крепированная на прессе бумагоделательной машины);
- влагопрочная (с добавкой смол или латексов);
- битумированная (пропитанная битумно-масляной смесью);
- дублированная битумом (два слоя бумаги, склеенных битумом);
- лакированная битумом (нанесение битумного поверхностного слоя);
- покрытая полиэтиленом (полиэтиленовый слой 10–40 мкм);
- покрытая полихлорвинилом (полихлорвиниловый слой 20–40 мкм);
- покрытая дисперсией поливинилиденхлорида;
- покрытая микровоском;
- покрытая смесью на основе микровоска и сополимеров этилена;
- покрытая силиконами;
- армированная синтетическими нитями;
- кашированная алюминиевой фольгой;
- дублированная полимерными пленками, склеенная с полиэтиленовой, сарановой полипропиленовой или другой пленкой;
- двухслойная бумага (наружный слой из беленой, внутренний – небеленой сульфатной целлюлозы);
- обрешиненная (наружная поверхность бумаги покрыта резиновым слоем).

Основными требованиями, предъявляемыми к мешочной бумаге, являются: высокая прочность на растяжение; сопротивление продавливанию; сопротивление раздиранию.

Непропитанная мешочная бумага является основным видом бумаги для производства бумажных мешков. Она изготавливается из 100%-й сульфатной небеленой целлюлозы по ГОСТ 2228–75 марок М-70А, М-78А, М-70Б, М-78Б.

Микрокрепированная мешочная бумага. Отличается от обычной крепированной очень мелким крепом, почти незаметным и высоким показателем удлинения в машинном направлении (8–12 %). Эта бумага легко подвергается различной обработке: дублированию, покрытию полиэтиленом. Микрокрепированная бумага имеет удлинение выше не только в машинном направлении, но и в поперечном, показатель разрыва выше, что важно для повышения прочности бумажных мешков. Микрокрепированная мешочная бумага изготавливается из сульфатной небеленой целлюлозы, но может применяться и низкокачественная целлюлоза, при этом за счет микрокрепирования динамическая прочность получаемой бумаги повышается.

Бумага повышенной растяжимости. Может быть получена при сушке мешочной бумаги на воздушной подушке, благодаря чему происходит свободная усадка, что удлиняет бумагу в обоих направлениях. Прочность мешков, изготовленных из такой бумаги, повышается.

Слабокрепированная мешочная бумага. Ее применение позволяет значительно увеличить прочность бумажных мешков. Слабокрепированная мешочная бумага обладает повышенным удлинением в машинном направлении (5–15 %). Может применяться как в непропитанном виде, так и с различными покрытиями, например полиэтиленовым, силиконовым и др. Мешки, изготовленные из слабокрепированной мешочной бумаги, рекомендуются для смешанных перевозок, перевозок на экспорт и на дальние расстояния.

Влагопрочная мешочная бумага. Сохранение прочности бумаги при ее увлажнении имеет большое значение для повышения эксплуатационных качеств бумажных мешков. Влагопрочная мешочная бумага вырабатывается из сульфатной небеленой целлюлозы с добавкой небольшого количества веществ, которые придают готовой бумаге необходимые свойства. К таким веществам относятся карбамидные смолы, латексы, полиамидэпихлоргидридные смолы и др. Влагопрочность характеризуется отношением разрывного усилия

влажной бумаги к разрывному усилию воздушно-сухой бумаги и выражается в процентах.

Влагопрочная бумага вырабатывается массой 65–110 г/м². Полученная при применении разных химикатов, обладает различными свойствами при одной и той же влагопрочности.

Так, бумага, содержащая карбамидную смолу, обладает повышенной жесткостью и невысоким показателем по числу двойных перегибов. При длительном пребывании во влажной среде ее влагопрочность также заметно снижается из-за разложения смолы.

Бумага с добавкой каучукового латекса значительно эластичнее и более устойчива по отношению к влаге. Необходимо также учитывать, что влагопрочная бумага теряет свои свойства под воздействием температуры и окружающей среды. Используется в производстве бумажных мешков для сыпучих продуктов, минеральных удобрений, бытовых отходов и другой продукции, транспортируемой в условиях повышенной влажности.

Бумага битумированная. Представляет собой обычную бумагу массой 80 г/м², пропитанную с одной стороны битумно-масляной смесью. По сравнению с обычной непропитанной бумагой обладает меньшей проницаемостью. Она применяется для изготовления бумажных мешков, используемых для упаковки минеральных удобрений и гигроскопических продуктов.

Дублированная бумага. Состоит из двух слоев бумаги-основы массой 65 г/м², склеенных между собой битумом. Дублированная бумага имеет повышенную водонепроницаемость и более высокую прочность на разрыв и используется для внутренних слоев бумажных мешков для упаковки гигроскопических продуктов. Как и лакированная бумага, дублированная не рекомендуется для использования при температурах ниже –40 °С.

Бумага, лакированная битумом. В отличие от битумированной не пропитывается, а имеет тонкую поверхностную пленку из тугоплавкого битума. Защитные свойства лакированной бумаги несколько выше битумированной. Применяется для наружных и внутренних слоев бумажных мешков для упаковки минеральных удобрений и других химических продуктов.

К недостаткам лакированной бумаги следует отнести ее недостаточную морозостойкость, которая проявляется при температуре ниже –30 °С.

Бумага мешочная с полиэтиленовым покрытием. Полиэтиленовая пленка, нанесенная на бумагу, способствует повышению химической устойчивости и прочности бумаги: увеличиваются разрывное усилие, удлинение и сопротивление раздиранию. Влагопрочность бумаги возрастает до 10–15 %, бумага со стороны покрытия становится водонепроницаемой. Бумага с полиэтиленовым покрытием обладает низкой проницаемостью водяных паров (3–5 г/м²), имеет морозостойкость выше по сравнению с дублированной или ламинированной бумагой.

Ламинированная полиэтиленом бумага хорошо термосваривается, однако скорость процесса невысокая, что не позволяет использовать ее при производстве бумажных мешков. Недостатками ламинированной бумаги является плохое восприятие печати и слабое склеивание. Для повышения адгезии и придания ей печатных свойств бумага подвергается ионизации.

Мешочная бумага с полиэтиленовым покрытием используется при изготовлении мешков для упаковки минеральных удобрений, ядохимикатов, различных гигроскопических продуктов, в том числе и пищевых.

Мешочная бумага с микровосковым покрытием. По сравнению с бумагой, ламинированной полиэтиленом, бумага, покрытая восковым сплавом, при одинаковом расходе материала лучше воспринимает печать, медленнее стареет на свету, обладает повышенными прочностными показателями.

Мешочная бумага с микровосковым покрытием используется в процессе изготовления бумажных мешков для упаковки гигроскопических продуктов.

Бумага с силиконовым покрытием. Обладает антилипкими свойствами. Покрытие наносится на бумагу с одной стороны. Прочность антилипкой бумаги соответствует прочности бумаги-основы. В качестве бумаги-основы применяется обычная мешочная бумага массой 70–80 г/м².

Антилипкая бумага используется для изготовления бумажных мешков при упаковке веществ, обладающих адгезивными свойствами, таких как синтетический каучук, расплавленный битум, канифоль и другие материалы. Благодаря покровному слою бумаги, обращенному внутрь мешка, бумага обладает отталкивающими свой-

ствами, и при опоражнивании мешка слой бумаги, обращенный к продукту, легко отделяется от него.

Армированная мешочная бумага. Представляет собой бумагу, между двумя слоями которой расположена армированная сетка из перекрещивающихся нитей синтетических или стеклянных волокон. Так как волокна имеют большую растяжимость по сравнению с бумагой, при изготовлении армированной бумаги часто применяют крепированную или микрокрепированную бумагу. В ряде случаев армированная бумага с одной или двух сторон покрывается полиэтиленом.

Для склеивания бумаги и армирующих нитей применяется тугоплавкий битум с повышенной липкостью. Расход битума обычно составляет 40–50 % от массы бумаги-основы. Армированная бумага применяется в качестве наружного слоя бумажных мешков, используемых для упаковки кусковых и сыпучих продуктов, в условиях многократных перевалок, значительных динамических нагрузках и повышенной влажности.

Такая бумага в производстве бумажных мешков из-за сложности изготовления и значительной стоимости находит меньшее применение, чем дублированная. Чаще армированную мешочную бумагу используют для изготовления высокопрочных клеевых лент.

Обрезиненная мешочная бумага. Состоит из бумаги-основы массой 80 г/м² и резинобитумного покрытия с одной или двух сторон. Резинобитумное покрытие защищает волокна бумаги от действия влаги, кислот и газообразной агрессивной среды, которые образуются при упаковке и хранении химикатов. Преимуществом обрезиненной бумаги является также то, что в процессе хранения химикатов ее прочность снижается незначительно по сравнению с другими видами мешочных бумаг.

Обрезиненная мешочная бумага применяется в производстве бумажных мешков под агрессивные и гигроскопические химикаты, такие как хлорамин, хлорная известь, коллоидная сера, медный купорос, суперфосфат и др.

Необходимо отметить, что для изготовления бумажной и картонной тары, зачастую необходимо применять такие упаковочные материалы, как фанера, жесть металлическая, проволока, склеивающие и уплотняющие вещества, влагозащитные и другие покрытия, нитки, шпагат, металлическая лента.

Все это необходимо учитывать при переработке бумажной и картонной тары.

1.3. Стеклянная тара

Стеклоянная тара служит для упаковки пищевых, химических, парфюмерно-косметических и фармацевтических товаров. Ее применение имеет ряд ярко выраженных преимуществ.

1. Позволяет избежать отрицательного воздействия солнечного света на содержимое, что препятствует деструкции и выпадению осадка.

2. Увеличивает срок хранения продукта.

3. Несомненная выгода при транспортировке и реализации.

4. Позволяет разливать напитки под давлением (шампанское и игристые вина).

5. Многократная оборачиваемость. Происходит удешевление конечного продукта за счет вторичного использования тары.

6. Разнообразие форм и дизайна. Позволяет использовать индивидуальную бутылку под определенный сорт напитка, что создает «узнаваемость» товара и способствует увеличению объема продаж.

7. Напитки, разлитые в стеклянные бутылки, имеют вид презентабельнее.

8. Возможность изготовления бутылки с названием напитка или фирмы-изготовителя, что значительно затрудняет подделку напитка.

9. Изделия из стеклянной тары гигиеничны. Как правило, не взаимодействуют с содержимым продуктом.

10. Позволяют осуществлять герметичную упаковку.

11. Предполагается поточное изготовление, разнообразные размеры и масса.

Наряду с указанными преимуществами стеклянной таре присущи и некоторые недостатки: она имеет сравнительно большую массу и невысокую механическую прочность.

Стеклоянную тару различают по размерам горла, цвету стекла, типу венчика, назначению и конфигурации.

По размеру горла подразделяют:

– на узкогорлую (с внутренним диаметром горла до 30 мм);

– широкогорлую (с внутренним диаметром горла свыше 30 мм)

тару.

Узкогорлая тара (бутылки) используется, как правило, для разлива, хранения и транспортировки вина, водки, коньяка, пива, безалкогольных напитков, минеральных вод, ликеров, настоек, соков, растительных масел.

Выпускают узкогорлую стеклянную тару вместимостью 50, 200, 250, 330, 500, 700 и 1000 мл. Изготавливают ее из бесцветного, полубелого, темно-зеленого и оранжевого стекла в соответствии с ГОСТ 13906–91 и ГОСТ 10117–91. В бутылках из бесцветного стекла допускаются слабые цветные оттенки: зеленоватый, голубоватый, желтоватый и сероватый. В бутылках из полубелого стекла допускаются зеленоватые, голубоватые и желтоватые оттенки.

Широкогорлая стеклянная тара (банки и бутылки) предназначена для розлива молока и молочных продуктов, расфасовки консервированных продуктов, подлежащих герметичной упаковке, хранению и транспортировке. Вырабатывают широкогорлую тару в соответствии с ГОСТ 571–81 вместимостью от 100 до 10 000 мл из прозрачного и полубелого стекла.

К стеклянной таре относится также ряд других изделий, используемых для расфасовки, хранения и транспортировки химических реактивов: бутылки, посуда для хранения и отпуска медикаментов (узкогорлые материальные и рецептурные склянки), посуда для парфюмерной продукции (узкогорлая и широкогорлая тара для духов, одеколонов, парфюмерных паст).

По своему назначению стеклянная тара разделяется:

– на банки, бутылки и бутылки для герметичной укупорки консервированных продуктов;

– банки, склянки, бутылки, трубки и ампулы для хранения и отпуска медикаментов;

– бутылки и банки для химической продукции;

– бутылки для пищевых жидкостей, а также для винно-водочных изделий;

– флаконы для парфюмерной продукции: духов, одеколонов и т. п.

По цвету, форме, основным размерам, емкости, весу и допустимым отклонениям стеклянная тара должна изготавливаться в соответствии с требованиями ГОСТ, ОСТ, ТУ на каждый ее вид. Качество стеклянной тары находится в прямой зависимости от качества стекла, его выработки, термической и механической обработки. Стекло должно быть хорошо проваренным, однородным и не иметь

пороков, быть химически стойким, не переходить в содержимое тары и не портить его качества, быть достаточно прозрачным для возможности просмотра ее содержимого.

В зависимости от физико-химических свойств продукции, для которой предназначена стеклянная тара, в целях предотвращения влияния света на содержимое стекло должно быть окрашено в защитные цвета: оранжевый, темно-зеленый и др.

В качестве сырья для производства стеклянной тары используются, в основном, карбонаты, сульфаты или оксиды калия, кальция, бария, свинца и алюминия, которые реагируют при высокой температуре (примерно 1460 °С) с кварцевым песком (диоксидом кремния) с образованием силикатов. Для прозрачной стеклянной тары используются карбонаты натрия и кальция. В отличие от карбонатов кальция (встречающегося в виде мела и мрамора) карбонат натрия приходится получать из извести и хлорида натрия путем добавления аммиака: поэтому карбонат натрия – самый дорогой компонент в производстве стеклянной тары. Из оксидов неметаллов используются, в основном, диоксид кремния (песок) и сесквиоксид бора. Кварц – чистый диоксид кремния. Песок используется всегда, а другие компоненты влияют на физические и химические свойства стекла: силикаты кальция, калия, натрия снижают температуру размягчения; присутствие окиси бария увеличивает показатель преломления и химическую инертность. Добавление соединений свинца в расплав улучшает преломление и блеск (хрусталь); соединения бора, даже в ничтожных концентрациях, существенно уменьшают коэффициент линейного расширения стекла. Среди стеклообразных продуктов кварц имеет самый низкий коэффициент линейного расширения.

В изготовлении бесцветной стеклянной тары следует избегать оксидов железа и хрома, окрашивающих стекло в желто-коричневый и зеленый цвет, соответственно. Другими компонентами, изменяющими окраску стекол, являются диоксид марганца (пурпурный цвет), окись меди (бирюзовый) и сесквиоксид хрома (голубой цвет). Добавка золота сообщает стеклу рубиново-красный цвет, а черное стекло получается при совместном введении оксидов марганца и кобальта. После измельчения и дозировки исходных компонентов их тщательно перемешивают, добавляют стеклянный бой и загружают в плавильную печь. При высокой температуре карбонаты превращаются в оксиды, реагирующие с песком с образованием силикатов.

Разложение карбонатов сопровождается выделением углекислого газа, которое способствует хорошему перемешиванию расплава. С выделением CO_2 связана убыль массы по сравнению с исходным сырьем: в случае карбоната кальция она составляет 44 %, в случае карбоната натрия – 42 %. Газообразные продукты сгорания, CO_2 и другие удаляются через трубу в атмосферу. Стекломассу варят в ваннных печах непрерывного действия. Размеры и конструкции стекловаренных печей определяются количеством, цветом вырабатываемого стекла и способом выработки. При выработке изделий на полуавтоматах наиболее распространены ваннные печи с подковообразным пламенем; при механизированной – с поперечным направлением пламени.

Глубина варочного бассейна печи зависит от цвета стекла:

- при варке окрашенного стекла она должна быть не более 900 мм;
- полубелого – 1200 мм;
- обесцвеченного – 1500 мм.

Глубину выработочного бассейна печи делают на 300 мм меньше глубины варочного бассейна. Съем стекломассы с 1 м² зеркала ванной печи в сутки при использовании высококачественного топлива составляет 900–1300 кг. Температура в зоне максимума стекловаренной печи должна быть не ниже 1450–1480 °С, причем рекомендуется в зависимости от качества используемых материалов придерживаться верхнего предела и при возможности повысить ее до 1500–1530 °С. Во второй (не обогреваемой) части печи остывшая, но все еще мягкая, стекломаасса подвергается формованию в бутылки и прочие изделия с помощью стеклодувного процесса механизированным способом на стеклоформирующих автоматических машинах в формах различной конфигурации. При необходимости стеклянную тару отжигают в отжигательных печах-лерах.

Некоторые виды стеклянной тары после отжига дополнительно обрабатывают: притирают стеклянные пробки, шлифуют, матируют. Притирка пробок необходима для тех видов стеклянной тары, которые используют для герметической упаковки. Пробки притирают вручную на притирочных станках. Горизонтальный шпиндель станка вращается в подшипниках со скоростью 2200 об/мин.

Полирование является последней наиболее тонкой стадией обработки изделия, в процессе которой сглаживаются микронеровности поверхностей, остающиеся после дистировки.

К стеклянной таре предъявляются требования по внешнему оформлению, соответствию размеров нормативным документам, физико-химическим свойствам, по механической прочности, химической устойчивости и термостойкости.

Контроль качества изготовленной тары производится в соответствии со следующими ГОСТ и НТД:

– ГОСТ 13903–2005. Тара стеклянная. Методы контроля термической стойкости;

– ГОСТ 13904–2005. Тара стеклянная. Методы контроля сопротивления внутреннему гидростатическому давлению;

– ГОСТ 24980–2005. Тара стеклянная. Методы контроля параметров;

– специальный технический регламент «Безопасность стеклянной тары».

Одним из средств повышения механической прочности и эксплуатационной надежности стеклянной тары является нанесение на поверхность изделий пленочных защитно-упрочняющих покрытий – неорганических и кремнийорганических. При этом резко увеличивается гидрофобность поверхности, что обеспечивает снижение разрушающего действия поверхностно-активных сред, прежде всего влаги воздуха, а поверхность стеклоизделий предохраняется от абразивного воздействия окружающих тел.

У изделий с защитными покрытиями возрастает сопротивление внутреннему давлению на 6–20 %, сопротивление внешнему давлению на корпус на 10–30 %, а по высоте изделий – до 15 %. За счет увеличения механической прочности примерно в 1,5–2 раза уменьшаются потери при транспортировке изделий. Показатели химической устойчивости определяются в зависимости от назначения стеклянной тары.

1.4. Металлическая тара

Металлы широко используются для производства тары. Отличительными свойствами металлической тары являются: высокая механическая прочность (особенно на сжатие), ударостойкость, устойчивость к воздействию внутреннего давления, хорошая сохраняемость многих товаров.

Металлическая упаковка надежно предохраняет содержимое от воздействия света, газов, воздуха, воды и других агрессивных факторов окружающей среды.

Металлическая тара – из стали, алюминия или легких сплавов – традиционный и престижный вид упаковки. По некоторым требованиям безопасности для перевозки и хранения определенного ряда веществ, в частности, летучих и огнеопасных продуктов, металлической таре нет аналогов. Сфера ее использования широка, а качественные показатели по некоторым параметрам, например, морозостойкость, просто непревзойденны. Однако есть ряд особенностей, которые при определенном рассмотрении могут считаться недостатками. Металлическая тара предназначена для транспортировки и хранения высоковязких, мажеобразных и сыпучих продуктов, не действующих активно на сталь. Водосодержащие, особо чистые продукты, едкие вещества и вещества, вызывающие коррозию, плохо подходят или не подходят вовсе для фасовки в тару, изготовленную из металла.

При использовании металлической тары для упаковки продуктов питания длительного хранения (консервы) следует помнить о возможности миграции ионов металла в контактирующий продукт и, следовательно, организм человека. Ионы металлов (олова, алюминия, меди, свинца и др.) представляют серьезную опасность для здоровья вследствие их способности накапливаться в определенных органах людей и животных, приводя к различного рода заболеваниям.

Металлическая тара из жести и стали

Жесть – это отличный материал для металлической тары. Отличаясь высокими показателями прочности и герметичности, жесть достаточно пластична, чтобы удовлетворять спрос на разнообразие форм упаковки. Однако производство жести сосредоточено на ограниченном ряде металлургических заводов, что неизбежно ведет к дефициту жести и значительной стоимости тары, изготовленной из нее. Кроме того, существенным недостатком жестяной металлической тары, в отличие от картонной тары или бумажной упаковки, является тот факт, что изготавливаться она должна непосредственно на месте упаковки продукции, а использованная хотя бы раз тара уже непригодна к дальнейшему применению.

Часто фирмы, поставляющие бывшую в употреблении металлическую тару и металлические бочки, сильно снижают цену на подобную упаковку, обещая полное сохранение изначального европейского качества. Но вторичная металлическая тара должна проходить тщательную чистку и дезинфекцию. Как недостаток, металлическая тара из жести имеет достаточно большой вес. Это сказывается на увеличении расходов на транспортировку и разгрузку. К ощутимым финансовым потерям приводит коррозия емкостей при длительном хранении в реальных условиях.

Внешние и внутренние покрытия жестяной тары и металлических бочек могут отслаиваться, что приводит не только к потере товарного вида тары, но и к порче содержимого. Из-за переохладения внутри металлической тары может скапливаться конденсат, что ведет к коррозированию внутренней поверхности.

В настоящее время выпускают свыше 60 разновидностей металлических банок различной вместимости в диапазоне 50–9590 см³. Используют металлические банки для мясных и рыбных консервов, продуктов: яичных замороженных (меланж и др.), плодоовощных консервов для общественного питания и промышленной переработки, рыбных пресервов (соленые сельди). В промышленности принято вести учет в пересчете на условные банки. За одну условную объемную банку принята банка вместимостью 353 см³; для банок иной вместимости существует коэффициент пересчета, который получают делением фактической вместимости банки на 353, т. е. на вместимость банки. За массовую условную единицу принято 400 г продукта.

Металлическая потребительская тара: тубы, крышки для стеклянных банок, фольга и комбинированные материалы, лента, применяемая для производства тары, и другие виды.

К металлической транспортной таре относятся стальные бочки, стальные канистры, металлические фляги, алюминиевые и провололочные многооборотные ящики, металлические ящики-лотки и титановые сварные бочки. А также всевозможные ведра, канистры, бидоны, фляги, декоративно-подарочная металлическая тара. Ассортимент очень разнообразен и широк.

Изготавливают стальные бочки номинальной вместимости 100 л (полная 101,4 л) и 200 л (полная 201,8 л); оцинкованные бочки, которые применяют только для транспортировки непродовольственных товаров, поскольку при контакте с пищевыми кислотами образуются

токсичные соединения цинка (с оцинкованными внутренними и наружными поверхностями).

Альтернативой металлической тары, металлических бочек является пластиковая тара. Она уже давно с успехом используется во всем мире, постепенно завоевывая большую долю рынка. Мировые производители металлической тары, дабы не терять постоянных партнеров, вынуждены заниматься производством пластиковой упаковки.

Повышенная вместимость пластиковой тары позволяет значительно экономить на транспортных расходах. Малый вес облегчает процесс погрузки-выгрузки продукции. В пластиковой таре удобнее хранить следующие виды продукции: пищевую продукцию, бытовую химию, кислоты, щелочи, яды, некоторые виды растворителей, технические масла и смазки, лакокрасочные материалы, фармацевтические средства, средства защиты растений, клеи, мастики, моющие средства, ПАВ, СОЖ, спирты, ингибиторы, металлы и т. д.

Общеизвестно, что металлическая бочка деформируется при сбрасывании. Это ведет к отслаиванию внутреннего покрытия – негативно сказывается на качестве фасуемого продукта. Внешние повреждения лакокрасочного покрытия металлической емкости ведут к возникновению локальной коррозии и нарушению товарного вида упаковки.

Полиэтиленовая тара не всегда деформируется после сбрасывания. Даже если это происходит, через некоторое время форма восстанавливается. Деформации никак не отражаются на качестве фасованного продукта. Повышенная вместимость полиэтиленовой бочки позволяет отгрузить на 5–14% больше фасуемого продукта, чем в бочки железные и прочую металлическую тару. При отгрузке продукции автотранспортом количество загружаемых в машину емкостей одинаково, но за счет малого веса тары, возможно отгрузить больше продукции.

Металлическая тара из алюминия

Одним из основных направлений замены белой жести является широкое применение алюминия и его сплавов (преимущественно с магнием и марганцем для повышения прочности).

В отличие от жестяной и стальной металлической тары алюминиевая тара практически не подвержена коррозии. Алюминий легче

и пластичнее, тара, сделанная из него, долговечнее (дольше сохраняет товарный внешний вид).

Высокие темпы роста производства алюминия, разнообразие видов тары и упаковки определяются рядом свойств, делающих этот металл незаменимым:

- плотность алюминия почти в три раза меньше плотности жести;
- прекрасная формуемость, пластичность и хорошая термостойкость;
- водо-, паро-, газо-, аромато- и жиронепроницаемость;
- микробиологическая устойчивость;
- высокая светоотражательная способность;
- возможность комбинировать его с другими материалами.

Рост применения алюминиевых материалов также связан с развитием асептического консервирования, увеличением выпуска замороженных пищевых продуктов и возрастающими требованиями к увеличению сроков хранения.

К основным видам упаковочных материалов и консервной тары из алюминиевого сплава относятся:

- жесткая алюминиевая тара для расфасовки консервированных продуктов (мясных, рыбных, плодоовощных, пива и др.);
- полужесткий упаковочный материал толщиной 0,02–0,11 мм;
- гибкий или мягкий упаковочный материал с использованием алюминиевой фольги.

1.5. Полимерная тара

Производство и потребление полимерной упаковки растет высокими темпами, что связано с рядом преимуществ:

- низкая удельная масса при относительно высокой плотности;
- химическая инертность;
- низкая хрупкость;
- легкость окрашивания;
- высокая технологичность;
- взаимозаменяемость.

Однако у этого вида тары имеются некоторые недостатки:

- старение под действием кислорода воздуха, агрессивных сред, солнечного света (фотостарение);

– появление постороннего запаха у продукции от данного вида упаковки;

– трудность распознавания полимеров при утилизации;

– возможность миграции органических соединений в продукт (поливинилхлорид, полистирол и т. п.).

Полимерную упаковку выпускают трех основных видов:

– жесткая тара из пластмасс;

– полужесткая и мягкая тара из полимерных и комбинированных материалов;

– тара комбинированная с применением полимерных материалов.

По гигиеническим свойствам полимерную тару подразделяют на тару:

– для пищевых продуктов;

– товаров бытового назначения;

– товаров технического назначения;

– ядохимикатов, дезинфицирующих средств, удобрений, бытового мусора и т. п.

Для производства полимерной тары пригодны следующие термопласты: полиэтилен низкой плотности (ПЭНП), полиэтилен высокой плотности (ПЭВП), полипропилен (ПП), поливинилхлорид (ПВХ), полистирол (ПС), полиамид (ПА), поликарбонат (ПК), полиэтилентерефталат (ПЭТФ). Реактопласты для производства полимерной тары фактически не применяются, что связано с трудностями последующей переработки такой тары.

Полиэтилен низкой плотности – ПЭНП или ПЭВД (ГОСТ 16337–81) является во всех странах наиболее многотоннажным продуктом. ПЭНП легко формируется, химически стоек, нетоксичен, имеет довольно высокую проницаемость по отношению к маслам и топливам. Изделия из ПЭНП обладают высокой эластичностью, морозостойкостью (до $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$), стойкостью к кислотам, щелочам и многим органическим растворителям, хорошей водостойкостью, газо- и паропроницаемостью, легко термосвариваются. Достоинством их также является и умеренная стоимость. Плотность ПЭНП – до 940 кг/м^3 . Недостатки ПЭНП: невысокие механическая прочность (до 20 МПа) и модуль упругости, низкие теплостойкость и стойкость к растрескиванию. Повышения модуля упругости при изготовлении двухслойных материалов можно достигнуть, комбинируя полиэтилен с картоном, фольгой и др.

В некоторых странах находят широкое применение двухслойные и двухцветные полиэтиленовые мешки с термосварными швами, внутренний слой которых имеет черный цвет, а наружный – белый. ПЭНП применяется в основном для производства мелкой раздувной и термоформованной тары одноразового использования.

Для производства крупногабаритной транспортной тары ПЭНП непригоден, о чем свидетельствуют результаты прогнозирования его поведения в условиях длительной эксплуатации под нагрузкой при разных температурах.

При эксплуатации тары в условиях статической нагрузки (особенно в режиме хранения) лимитирующим фактором, ограничивающим ее работоспособность, является не длительная прочность, а ползучесть; деформация к моменту разрыва значительно превышает допустимый предел для ПЭНП. По этой причине ПЭНП не рекомендуется использовать для производства транспортной тары, работающей в условиях статической нагрузки. Для изделий, работающих в условиях релаксации напряжений (потребительская тара), сочетание значительной длительной прочности с малой жесткостью является благоприятным. Поэтому ПЭНП в основном используют для получения потребительской тары.

Основные способы изготовления тары из ПЭНП: литье под давлением, экструзия, экструзия с раздувом (раздувное формование), ротационное формование, термоформование.

Полиэтилен высокой плотности – ПЭВП или ПЭНД (ГОСТ 16338). К ПЭВП относятся ПЭ низкого и среднего давления (ПЭНД и ПЭСД). ПЭВП наиболее широко используется для получения тары. Его мировое производство составляет около 10 млн т в год. Этот полимер является линейным, в отличие от ПЭНП, который имеет разветвленную структуру. Используется он в тех случаях, когда требуется высокая стойкость к растрескиванию и короблению, глянцевая поверхность изделий, высокая теплостойкость и хорошие прочностные показатели. Обладает значительной жесткостью, высокой ударной прочностью, стойкостью к растрескиванию под напряжением, имеет прочностные и теплофизические характеристики выше, чем ПЭНП, малое водопоглощение и газопроницаемость. Его плотность – до 960 кг/м³. ПЭСД также пригоден для производства транспортной

тары. ПЭВП перерабатывается экструзией, литьем под давлением, экструзией с раздувом, ротационным формованием.

Полипропилен является наряду с ПЭВП одним из наиболее перспективных полимеров для производства транспортной тары. ПП в настоящее время занимает первое место по темпам роста производства и применения во всем мире. Его мировое производство составляет более 10 млн т в год. Растущий интерес к ПП обусловлен, с одной стороны, благоприятным сочетанием физико-механических, химических, теплофизических и электрических свойств, а также его хорошей перерабатываемостью, а с другой стороны, доступностью необходимого для его производства мономера, более дешевого, чем этилен и стирол, что создает ему прочное конкурентоспособное положение на мировом рынке. Это положение ПП обеспечивается достигнутым значительным прогрессом в технологии его производства и интенсивной деятельностью в области ее усовершенствования. ПП вследствие особенностей структуры легче других термопластов подвергается модификации и наполнению с целью совершенствования его эксплуатационных свойств. Является одним из наиболее легких полимеров (плотность составляет 910 кг/м^3), поэтому основным его потребителем являются пищевые отрасли промышленности, где он используется не только в производстве пленок, но и для получения флаконов, ящиков, а также транспортной тары. Полипропилен обладает по сравнению с другими полимерами более высокой теплостойкостью, в связи с чем получаемые из него изделия можно подвергать стерилизации. Недостатки ПП: низкая светостойкость, а также малая деформируемость при минусовых температурах (низкая морозостойкость). Их можно устранить модификацией при создании и переработке композиций на основе ПП. Перерабатывается ПП теми же методами, что и ПЭВП.

Поливинилхлорид (ПВХ) широко используется для изготовления потребительской тары. Мировое производство его составляет 19 млн т в год. Такие свойства непластифицированного ПВХ, как прозрачность, жесткость, высокая статическая и ударная прочность, хорошая формуемость, жиростойкость, а также доступная сырьевая база для получения способствуют его применению в производстве бутылок для расфасовки пищевых масел, дешевых столовых вин, мине-

ральных вод и некоторых других напитков. Непластифицированный ПВХ характеризуется и высокими деформационно-прочностными показателями при обычных и повышенных температурах, что имеет существенное значение для транспортной тары. По сравнению с полиолефинами он имеет большую плотность – более 1000 кг/м^3 . Однако низкий уровень термостабильности ПВХ, вследствие его химической нестойкости и повышенной склонности к деструкции, высокая вязкость расплава требуют введения различных стабилизаторов, наполнителей, пластификаторов, смазок и других функциональных добавок. Это приводит к необходимости приготовления многокомпонентной композиции из ПВХ для переработки. Подготовку таких композиций проводят в две стадии: 1) «сухое» смешение компонентов; 2) смешение в расплаве. Целью «сухого» смешения является распределение добавок, частичное их диспергирование и взаимное растворение ПВХ и вводимых пластификаторов.

Существенным недостатком ПВХ как материала для изготовления тары является его токсичность и канцерогенность мономера – винилхлорида. В настоящее время во всем мире уделяется большое внимание проблеме получения ПВХ с минимальным остаточным содержанием мономера. В ПВХ идентифицировано 88 органических соединений, из которых наибольшую опасность представляют стирол и винилхлорид. Их токсичность составляет 86,8 и 74,5 % соответственно, по отношению к токсичности НСІ, принятой за 100 %. Поэтому при переработке ПВХ на всех его стадиях необходимо предусматривать дополнительные мероприятия по удалению остаточного мономера и других токсичных продуктов деструкции ПВХ.

За рубежом, как упоминалось выше, в тару из ПВХ упаковывают 45 % молока, 80 % минеральных вод; 95 % пищевых продуктов упаковывают в тару из ПВХ и ПЭВП.

Помимо перечисленных свойств ПВХ обладает высокой влаго- и кислородонепроницаемостью, стойкостью ко многим химикатам, что делает его весьма перспективным материалом для создания композиций, используемых в производстве транспортной тары.

Полистирол (ПС). Для упаковывания большей части молочных продуктов (простокваши, сливок, творога) используется в основном ПС. Он не обладает такими высокими защитными характеристиками, как полиолефины или ПВХ, однако является жестким материалом,

поэтому получаемые из него изделия отличаются достаточно высокой механической прочностью и точностью размеров. Из всех термопластов ПС обладает самой малой усадкой, плотность его составляет около 1100 кг/м. Для повышения непроницаемости упаковки из ПС его покрывают защитными слоями из других полимеров.

Мировое производство полистирольных пластиков, включая АБС-сополимеры, превышает 13 млн т. Из них значительная доля идет на производство упаковки различными методами, основными из которых, как и для ПВХ, являются термоформование из листовых заготовок и раздувное формование.

В последние годы было доказано отсутствие канцерогенных свойств как у мономера-стирола, так и у полимера. При обеспечении содержания мономера в полимере в концентрациях, не превышающих предельно допустимые концентрации (ПДК), определяемые санитарными нормами, полистирол не представляет опасности для здоровья человека и может использоваться для изготовления тары.

Для продовольственных упаковок из полимерных материалов установлены ПДК миграции остаточного мономера в пищевые продукты. Для стирола общая миграция не должна превышать 60 мг/кг продукта, что соответствует значению ПДК, равному 10 мг/дм² поверхности упаковки. На практике величина миграции стирола при 40 °С за время контакта, равное 10 суткам, составляет 0,05–0,2 мг/кг продукта, что значительно меньше допустимой нормы.

Существуют нормы и для остаточного содержания стирола в материале упаковки, которое не должно превышать 0,1 %. При переработке ПС в экстремальных условиях возможна деполимеризация и образование мономера, содержание которого в таких случаях также не должно превышать допустимого предела, т. е. 0,1 %.

Существенным недостатком ПС является повышенная хрупкость и низкая ударная прочность, что не позволяет использовать этот полимер в чистом виде для производства тары. Различные приемы модификации позволяют в значительной мере устранять его недостатки и получать композиции на основе ПС с комплексом свойств, отвечающих требованиям к тароупаковочным материалам (например, ударопрочный полистирол).

Полиамиды (ПА). Благодаря своим свойствам – высокой механической прочности, хорошим антифрикционным характеристикам,

виброустойчивости, стойкости к ударным нагрузкам – полиамиды вошли в число традиционных конструкционных материалов. ПА обладают прекрасной стойкостью к действию органических растворителей, масел, легко перерабатываются в детали сложной конфигурации современными высокопроизводительными способами, главным образом, литьем под давлением. В отличие от полиолефинов, ПВХ и ПС, полиамиды получают методом поликонденсации. Они являются кристаллическими полимерами, в которых соотношение кристаллической и аморфной фаз зависит от условий переработки, режима термообработки, содержания влаги и специальных добавок, способствующих кристаллизации. Степень кристалличности ПА колеблется от 40 до 80 %. Плотность составляет ИЗО – 1150 кг/м³.

Существенным недостатком ПА является их способность к водопоглощению, вследствие чего требуется тщательная подсушка гранул перед переработкой; подсушка осуществляется в бункере литьевой машины горячим воздухом. Другим существенным недостатком полиамидов, особенно таких широко используемых марок, как П-6 и П-6б, является высокая текучесть и низкая вязкость расплава. Поэтому при литье ПА применяются самозапирающиеся сопла с пружиной, использование которых повышает надежность работы литьевой машины и обеспечивает хорошее качество изделий при литье низковязких расплавов. Изделия для полиамидов характеризуются невысокой износостойкостью. Для производства тары применяются в основном марки П-610 и П-6б, которые перерабатываются литьем под давлением.

Поликарбонаты (ПК), как и полиамиды, относятся к поликонденсационным термопластам.

В промышленном масштабе находит применение ПК на основе дифенилолпропана (дифлон) вследствие ценности его свойств и сравнительной доступности исходного сырья. Дифлон имеет высокие физико-механические показатели, $T_{пл} = 220\text{--}230\text{ }^{\circ}\text{C}$, температура разложения выше 320 °С, плотность равна 1200 кг/м³. Выпускается литьевой и экструзионной марок, стабилизированным и нестабилизированным.

Поликарбонаты обладают рядом ценных для изготовления тары и упаковки свойств: высокой механической прочностью и износостойкостью при большой относительной влажности воздуха, высокой степенью прозрачности и гладкости поверхности. Светопропускание ПК составляет 90 % и не изменяется под воздействием погодных

условий. Это свойство ПК очень важно для упаковки продуктов в потребительскую тару, а также в крупногабаритную тару при ее транспортировке. Полимер коррозионно-стоек и нетоксичен. Он допущен для контакта с пищевыми продуктами и изготовления медицинского инструментария. По горючести ПК классифицируется как «негорючий» или «самозатухающий». Дифлон довольно стоек к действию некоторых неорганических и органических продуктов: солей, кислот, растворителей (гептана, керосина, бензина, масла МС-20), а также поверхностно-активных веществ при обычной температуре. При повышенных температурах снижаются его деформационно-прочностные характеристики. В бензоле и дихлорэтаноле полимер растворяется, а в четыреххлористом углероде и ацетоне набухает и резко снижаются его эксплуатационные показатели.

Поликарбонат сохраняет свои эксплуатационные характеристики при температуре от -70 до $+120$ °С. Однако он характеризуется относительно высокой проницаемостью по отношению к влаге и водяному пару. Заметный гидролиз дифлона в воде наблюдается при температуре выше 70 °С. При температурах ниже 50 °С гидролиз практически отсутствует, однако и при этих условиях в результате анизотропного набухания, характерного для литевых изделий из ПК, долговечность дифлона значительно ниже, чем на воздухе. В щелочной среде дифлон вообще нельзя использовать.

Качество изделий из ПК определяется наличием в нем влаги. Максимальное водопоглощение поликарбоната, погруженного в воду, не превышает $0,4$ %, при выдержке на воздухе – $0,2$ %. Однако уже малейшие следы влаги (более $0,01$ %) вызывают деструкцию полимеров в расплаве, поэтому для получения высококачественных и надежных в эксплуатации изделий требуется тщательная сушка материала перед его переработкой (от 2 до 20 ч при 120 °С в зависимости от влажности материала). Поскольку сухой полимер быстро адсорбирует влагу из воздуха, содержание которой перед переработкой не должно превышать $0,02$ %, рекомендуется сохранять его перед загрузкой в горячем состоянии. Загрузку желательно производить в обогреваемый бункер экструдера или литевой машины. В расплавленном состоянии при температурах до 300 °С в отсутствие влаги поликарбонат стабилен в течение длительного времени.

Прекрасные технологические и эксплуатационные свойства ПК обуславливают его широкое применение во многих отраслях народ-

ного хозяйства. До недавнего времени использование ПК как тароупаковочного материала сдерживалось стоимостью полимера. Однако в последнее время за рубежом была показана целесообразность его использования для изготовления литьем под давлением хладообменников вместимостью 22 л для чистой воды, молочных бутылок и другой тары. Литьевые изделия из ПК характеризуются многократностью использования, при этом стоимость единицы упаковки становится сопоставимой со стоимостью единицы упаковки из наиболее распространенных полимерных материалов. По этой причине в последние годы наблюдается рост использования ПК для изготовления тары и упаковки, особенно в США, где его потребление для этих целей составляет уже 15 %.

Полиэтилентерефталат (ПЭТФ), называемый лавсаном, а за рубежом – териленом, имеет $T_{пл} = 265$ °С, плотность 1320 кг/м³. Он нерастворим в обычных органических растворителях и является химически стойким полимером.

Основной способ переработки ПЭТФ – экструзия. Этим способом получают, главным образом, пленки. Полиэтилентерефталатные пленки характеризуются высокой механической прочностью (в 10 раз выше прочности полиэтиленовой пленки), стойкостью к действию влаги, малой разнотолщинностью и хорошими диэлектрическими свойствами в широком интервале температур (от –20 до +80 °С). Пленку можно использовать до 175 °С. Сравнительно недавно лавсан стали применять для производства бутылочной тары методом раздува и термоформования. Основным преимуществом лавсановых бутылок перед стеклянными является значительное снижение массы при сохранении защитных свойств (ПЭТФ практически непроницаем для газов – CO₂ и др.). Масса бутылки емкостью 1,5 л из ПЭТФ составляет 62–65 г, а стеклянной бутылки емкостью 1 л – 650 г. В настоящее время в промышленности применяется массовый выпуск лавсановых бутылок емкостью 0,5–2 л литьем под давлением с последующим раздувом заготовки.

1.6. Тканевая тара

Тканевая тара благодаря своей сравнительно высокой прочности, небольшому весу, гибкости, легкости наполнения и удобству обра-

щения широко применяется при упаковке разнообразных товаров на экспорт, для которых она обеспечивает надежную защиту.

К тканевой таре относятся мешки различных видов, а также паковочные ткани.

Мешки тканевые применяют при упаковке:

– продовольственных товаров (зерно, продукты его переработки, сахар);

– химикатов сухих;

– ряда промышленных товаров (валяная обувь, отдельные виды швейных изделий и т. д.);

– сельскохозяйственных семян;

– отдельных продуктов мясной промышленности.

Паковочные ткани применяют для обшивки:

– кип текстильного сырья;

– кип ткани;

– кип лекарственно-технического сырья;

– рулонов ковров, отдельных видов технических тканей;

– бухт проволоки;

– тюков валяльно-войлочных, резино-технических изделий, кож и отходов кожевенного производства;

– ящиков деревянных.

Мешки тканевые для упаковки товаров на экспорт должны быть новыми, чистыми, сухими, без посторонних запахов, не зараженные амбарными вредителями. Дыры, пробойны и другие виды повреждений, штопка, а также помарки или загрязнения ткани мешка не допускаются.

Для упаковки зерна допускается применять мешки, бывшие в употреблении, не ниже первой категории.

Мешки, предназначенные для поставки товаров в страны с тропическим климатом, должны быть расшлихтованы и обработаны антисептиками.

Виды тканевых мешков:

– льняные продуктовые;

– льняные продуктовые повышенной прочности;

– полульняные продуктовые;

– полульняные продуктовые повышенной прочности;

– льнопенько-джуто-кенафные для сахара;

– льноджуто-кенафные для хозяйственных целей, руды, семян;

- льнопенько-джутовые и льнопенько-джуто-кенафные на марлевой подкладке для упаковки мясных субпродуктов, колбасного шпига;
- хлопчатобумажные продовольственные;
- синтетические ткани.

Льняные и полульняные мешки повышенной прочности должны иметь отличительный знак-просовку (вплетенную в ткань цветную нить или полосу) из двух цветных полос, расстояние между которыми – 50 мм, ширина полосы – 10 мм.

Основные технические показатели тканевых мешков – номер.

Мешки шьют из одного куска мешочной ткани. Различают две конструкции мешков:

- одношовные – сшит один бок мешка и дно;
- двухшовные – сшиты оба бока мешка, а дно целое.

Двухшовные мешки по прочности предпочтительнее одношовных, однако по расходу ткани одношовные мешки экономичнее.

Тканевые мешки со специальным покрытием, пропиткой или дублированные бумагой в зависимости от вида покрытия или пропитки приобретают ряд новых свойств, не присущих тканевым мешкам: водо- и огнестойкость, воздухо-, пыле-, газо-, паронепроницаемость, стойкость к химическим воздействиям упакованного товара. Такие мешки исключают возможность засорения упакованного товара волокнами или кострой мешочной ткани, прилипания товара к мешочной ткани.

Мешки со специальным покрытием или пропиткой применяют для упаковки разнообразных сухих химических товаров. Широко применяются мешки: тканевые прорезиненные, текстovinилловые, покрытые полихлорвиниловой смолой, с нитролаковым покрытием, битумированные, дублированные бумагой.

Мешки тканевые прорезиненные выпускают по ГОСТ 8516–78 с открытым верхом и двойным запошивочным швом. Основой для прорезиненной ткани является хлопчатобумажная ткань – бязь суровая артикул 4208, ГОСТ 29298–92.

Мешки текстovinилловые выпускают с открытым верхом и двойным швом; основой для покрытия ткани является хлопчатобумажная ткань – бязь, молескин и др.

Мешки с нитролаковым покрытием применяются двух видов: мешки-пакеты и мешки-конверты.

Кипы, тюки, рулоны и бухты для экспортных отгрузок обшиваются паковочной тканью. Применяются следующие паковочные ткани:

- льняные по ГОСТ 29298–92;
- из лубяных волокон по ГОСТ 5530–2004;
- льноджуто-кенафные по ГОСТ 5530–2004;
- джуто-кенафные по ГОСТ 5530–2004.

Из текстильных обвязочных материалов применяются:

- канаты пеньковые сизальские и манильские (ГОСТ 1088–41);
- веревки из лубяных волокон (технические повышенной прочности) (ГОСТ 1868–88);
- шпагат увязочный из лубяных волокон (полированный) (ГОСТ 17308–88) и отбойка (ГОСТ 6611.0–73);
- шнуры крученые льнопеньковые «СД» и «НД» (ГОСТ 5107–70);
- шнуры плетеные хлопчатобумажные (ОСТ НКЛП 7627/727);
- шнуры плетеные льняные (ОСТ НК. ЛП 7628/728);
- тесьма хлопчатобумажная и льняная.

1.7. Деревянная тара

Деревянная тара обеспечивает возможность хранить и перевозить всевозможные грузы вне зависимости от их габаритов и свойств, это могут быть и продукты питания, и предметы бытового использования, одежда, обувь, и крупногабаритный промышленный груз. Такого вида упаковка надежно защищает продукцию не только от деформации и повреждений, но и от загрязнения и порчи, исключая всякого рода случайности, так как ящики, изготовленные из дерева, можно вскрыть только с использованием специальных инструментов.

К преимуществам деревянной упаковки можно отнести ее высокую прочность и способность выдерживать удары, тряску и различного рода нагрузку.

Кроме того, у деревянной тары есть еще одно несомненное достоинство, которое особенно ценится грузовыми транспортными компаниями, поставщиками и производителями продукции, – это возможность создавать индивидуальную тару определенного размера и формы, под конкретный товар, учитывая все требования и пожелания заказчиков. Это дает возможность более эффективно использовать место, что в свою очередь приводит к дополнительной экономии.

Форма и оттенок тары могут быть различными, также при желании можно маркировать тару специальным фирменным логотипом – особенно актуально это для работы с эксклюзивными товарами,

такими как антиквариат, хрупкие предметы из стекла и керамики, фарфор, а также дорогие элитные напитки, виски и коньяки.

Основными видами тары из древесины являются ящики, бочки и барабаны.

Материалом, используемым для изготовления деревянной тары и упаковки, служит различного сорта древесина, фанера, доска или шпон, а в качестве крепежных элементов – гвозди, проволока или клеящие вещества.

Исходя из особенностей конструкции и используемых материалов, деревянные ящики делят на несколько подвидов:

- дощатые;
- фанерчатые;
- сборно-разборные;
- складные и цельные;
- уплотненные;
- с отверстиями и решетками.

Свойства тары, ее конструкция и сферы применения утверждаются отраслевым регламентом. Например, пищевая промышленность регламентирует для себя использование древесно-волоконистых твердых плит в производстве упаковки и складные ящики для перевозки хрупких товаров и яиц, а для сыпучих продуктов – предварительное использование пергаментной бумаги.

В отдельный сегмент выделяют тару, используемую в машиностроении; ее конструкция не унифицирована и изготавливается по индивидуальным лекалам, ограниченными партиями.

Усовершенствованным видом тары, выделяемым в отдельную группу, являются поддоны и тараоборудование. Тара этой группы обладает многоцелевым назначением. Она очень функциональна и применяется как товарно-складские приспособления, призвана облегчить работу грузчикам и кладовщикам, а также служит для удобства совершения погрузочно-разгрузочных работ, совершаемых с помощью специальных механизмов.

1.8. Упаковка из комбинированных и многослойных материалов

Многослойные и комбинированные материалы являются одним из видов композиционных материалов, поэтому их деление достаточно

условно. Термин «многослойные материалы» относится к группе материалов, состоящих только из слоев синтетических полимеров, в то время как в состав комбинированных материалов входят слои материалов различного типа (бумага, фольга, ткань). Комбинированные и многослойные материалы находят широкое применение в качестве упаковки. Это объясняется практически неограниченными возможностями варьирования их свойств за счет:

- выбора состава композиционного материала;
- установления порядка чередования слоев;
- обеспечения необходимого уровня адгезионного взаимодействия между слоями;
- выбора оптимальной технологии и оборудования для получения конкретного материала.

Порядок чередования слоев, т. е. структура композиционного упаковочного материала, определяется его функциональным назначением. Внешний слой (субстрат) осуществляет защиту от внешнего воздействия, а также служит основой для нанесения красочной печати. Обычно это двухосноориентированные полиэфирные, полипропиленовые или полиамидные пленки, бумага, картон.

Внутренний слой обеспечивает герметизацию упаковки, средний или внешний – барьерные свойства.

Монолитность композиционного упаковочного материала достигается за счет адгезии. Адгезией называется сложный комплекс явлений, приводящих к соединению разнородных тел, соприкасающихся друг с другом, в единое целое. На способности полимеров к адгезии основано их использование в качестве пленкообразующих материалов (клеи, герметики, покрытия), а также при получении наполненных и армированных полимерных материалов. Для создания адгезионного соединения один из материалов должен быть пластичным, текучим (адгезив), а другой может быть твердым (субстрат). Иногда при соединении одинаковых по химической природе материалов возникает самослипаемость (аутогезия). Количественно адгезия оценивается работой разрушения соединения, отнесенной к единице поверхности. Этот показатель называется адгезионной прочностью.

Среди двухслойных пленок наибольшее распространение при упаковке пищевых продуктов получил материал *целлофан-полиэтилен*. Это один из старейших материалов данной группы, который широко известен под фирменными названиями: «вискотен»,

«метатен», «целотен», «целлоглас-РЕ», «ламитен» и другие, а в отечественной практике – ПЦ-2, ПЦ-4. Он сочетает в себе прочность и газонепроницаемость целлофана с паронепроницаемостью, водостойкостью и способностью к термической сварке ПЭ.

Двухслойный материал *полиэфир (лавсан)-полиэтилен* выпускается отечественной промышленностью под названиями ЛП-1, ПНЛ, СП-2. В зарубежной практике он известен под фирменными названиями: «майлар-РЕ», «хостафан-РЕ», «терфан-РЕ», «майлотен», «экструзер» и др. Пленки этого типа имеют ряд преимуществ перед целлофан-полиэтиленом: они прочнее, адгезионная прочность выше, влагоустойчивы, пригодны для эксплуатации в широком температурном интервале (от -70° до $+100^{\circ}$ °С), а при использовании ПЭНД в качестве внутреннего слоя даже до 120° °С.

Двухслойный материал *полиамид-полиэтилен* («алкорон», «комбитен», «экструзамид»). В отечественной практике используется для изготовления пленок, пригодных для упаковывания пищевых продуктов в вакууме.

Другие пленки на основе полиамида, например, полиамид-полипропилен, выдерживают нагревание до $+135^{\circ}$ °С. *Трехслойные пленки ПЭ-ПА-ПЭ* могут подвергаться глубокой вытяжке до 180 мм при толщине исходного материала до 300 мкм. Использование ПВДХ в качестве промежуточного (барьерного) слоя в трехслойном материале ПА-ВДВХ-ПЭ позволяет получать упаковочную пленку с повышенными защитными свойствами.

В случаях, когда необходимо получить упаковочный материал с минимальной газо-, ароматопроницаемостью, но прозрачный, в состав упаковочного материала вводят ПЭТФ, сочетая 4–5 и даже более компонентов, например, ПЭЛАК-4 (ПЭНП-ПЭТФ-ПЭТФ-ПЭНП), ПОЛАК-4 (ПП-ПЭТФ-ПЭТФ-ПП).

К группе *материалов на основе бумаги или картона* относятся бумага и картон (плотностью от 40 до 500 г/м^2) с полимерными покрытиями. Из полимеров чаще других используют ПЭ, сополимеры этилена с винилацетатом (типа ЭВА), сополимер ВХВД, полипропилен. Так, например, комбинированный материал для упаковки молока и молочных продуктов в пакеты тетраэдральной формы состоит из бумаги с полиэтиленовым покрытием и красочной печатью, покрытой парафином. Комбинированный материал для упаковки молока и молочных продуктов на автоматах «Тетра-Брик» –

бумага с нанесенной с одной стороны красочной печатью и, покрытая с двух сторон ПЭ. Во всех случаях при изготовлении материалов бумага-ПЭ-картон-ПЭ или бумага-ЭВА и другие покрытия наносят экструзионным способом, сополимеры ПВДХ (из дисперсий) – валковым способом.

Материалы на основе алюминиевой фольги представляют собой пленки с высокими барьерными свойствами, успешно конкурирующие с традиционными видами стеклянной и металлической тары. В большинстве случаев на базе этих материалов изготавливают различные виды эластичной упаковки (пакеты), используя тонкую алюминиевую фольгу (7–14 мкм).

Сегодня разработаны оригинальные комбинированные материалы на основе алюминиевой фольги:

– *буфлен* (бумага-фольга-ПЭ) для упаковки сухих пищевых продуктов;

– *лафолен* (лавсан-фольга-полиолефины) в виде пакетов для упаковки пищевых продуктов, соков с последующей их стерилизацией;

– *цефлен* (целлофан-ПЭ-фольга-ПЭ) для упаковки продуктов сублимационной сушки на скоростных упаковочных автоматах;

– *ламистер* (лак-фольга-ПП) для изготовления тары холодным штампованием при упаковке продуктов, подвергающихся стерилизации и пастеризации.

В последнее время при конструировании многослойных упаковочных материалов применяют *металлизацию полимерных пленок*. Металлизация – процесс нанесения тончайших слоев металла (до $3 \cdot 10^{-7}$ м) на поверхность пленочного материала в глубоком вакууме. При металлизации резко снижается газопроницаемость пленочных материалов; при незначительном расходе металла достигается непрозрачность упаковки, в том числе и для УФ-части спектра.

Металлизированные пленки экономичнее алюминиевой фольги и имеют целый ряд технологических преимуществ: уменьшение массы пленочного материала, исключение повреждений металлического слоя при изгибах материала. Кроме того, металлизацию используют и в качестве приема декорирования полимерных материалов.

2. ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ ПЕРЕРАБОТКИ ТАРЫ И УПАКОВКИ

Технологии переработки и утилизации тары и упаковки базируются на механических, гидродинамических, тепловых, диффузионных, химических и биохимических процессах. Как правило, в реальной технологии утилизации отходов сочетаются различные способы воздействия на них.

Механические методы широко применяются при подготовке материалов к переработке: измельчении, агрегировании, сепарации и т. д.

Гидродинамические методы используют для разделения неоднородных жидких смесей и перемещения их в различных аппаратах.

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

Диффузионные процессы лежат в основе таких способов утилизации отходов, при которых осуществляется перенос массы вещества путем дистилляции, сорбции, сушки, кристаллизации и других процессов.

Химические методы обработки используют при окислении и восстановлении, переводе материала из одного физического состояния в другое, для изменения каких-либо характеристик веществ и т. д.

Биохимические методы применяют для утилизации веществ с помощью микроорганизмов. Это наиболее сложные процессы, и при их реализации используются и другие способы обработки.

Утилизация тары и упаковки в большинстве случаев связана с необходимостью либо их разделения на компоненты (в процессе очистки, обогащения, извлечения различных составляющих) с последующей переработкой сепарированных материалов различными методами, либо придания им определенного вида, обеспечивающего саму возможность утилизации.

2.1. Измельчение

Теоретические основы процесса измельчения

Измельчением называют процесс разрушения кусков твердого материала при критических внутренних напряжениях, создаваемых

в результате какого-либо нагружения и превышающих соответствующий предел прочности. Напряжения в материале могут создаваться механическим нагружением, температурными воздействиями, ультразвуковыми колебаниями и др. Наибольшее применение в современном производстве имеют механические способы измельчения.

В зависимости от размера кусков исходного материала и конечного продукта измельчение условно делят на несколько классов (табл. 2.1).

Таблица 2.1

Классы измельчения

Класс измельчения	Размер кусков до измельчения, мм	Размер кусков после измельчения, мм	Степень измельчения i
Дробление:			
– крупное	1500–300	300–100	2–6
– среднее	300–100	50–10	5–10
– мелкое	50–10	10–2	10–50
Измельчение (помол):			
– тонкое	15–5	2–0,05	50
– коллоидное	12–0,1	$75 \cdot 10^{-3} - 1 \cdot 10^{-4}$	–

Основной характеристикой процесса измельчения является степень измельчения, которая определяется соотношением средневзвешенных размеров частиц материала до и после измельчения:

$$i = d_n / d_k, \quad (2.1)$$

где i – степень измельчения;

d_n – размер кусков до измельчения, мм;

d_k – размер кусков после измельчения, мм.

С целью обеспечения эффективности измельчения материала от исходной до конечной крупности процесс осуществляется, как правило, в несколько приемов: с последовательным переходом от крупного дробления к более мелкому и к помолу с постадийным разделением материала по классам. Следовательно, процесс измельчения целесообразно осуществлять последовательно на нескольких измель-

чителях. Каждый отдельный измельчитель выполняет часть общего процесса, называемую стадией измельчения.

Число стадий измельчения определяется требуемой степенью измельчения. Например, если в исходном твердом материале содержатся куски размером до 1200 мм, а готовый продукт должен содержать частицы с максимальным размером до 40 мм, то общая степень измельчения $i_0 = 1200/40 = 30$.

Степень измельчения, достигаемая на одной машине, для большинства видов дробильного оборудования не превышает 3–7. Поэтому для обеспечения $i = 30$ необходимо применить несколько стадий дробления, например: $i_1 = 3$, $i_2 = 3$, $i_3 = 4$. Тогда $i_0 = i_1 \cdot i_2 \cdot i_3 = 3 \cdot 3 \cdot 4 = 36$, т. е. требуется минимум три стадии измельчения.

Теория процесса измельчения устанавливает зависимость между энергией, затраченной на измельчение твердого тела, и результатом измельчения, т. е. размером кусков продукта измельчения.

Теория измельчения основывается на двух гипотезах: объемной и поверхностной.

Объемная теория. Эта теория была впервые предложена и доказана В. Л. Кирпичевым в 1874 г.

Согласно объемной теории расход энергии на дробление пропорционален объему тела и, следовательно, отношение работ A_1 и A_2 , затраченных на дробление двух тел, имеющих объемы V_1 и V_2 , равно

$$\frac{A_1}{A_2} = \frac{V_1}{V_2}. \quad (2.2)$$

Работа равна произведению силы P на деформацию и по закону Гука пропорциональна линейному размеру l тела, т. е.

$$A = Pal,$$

где a – коэффициент пропорциональности.

Объем тела пропорционален его линейным размерам и может быть выражен зависимостью

$$V = bl^3,$$

где b – коэффициент пропорциональности.

Соответственно выражение (2.2) принимает вид

$$\frac{P_1 a l_1}{P_2 a l_2} = \frac{b l_1^3}{b l_2^3}.$$

Откуда

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{l_1^2}{l_2^2}.$$

Таким образом, по теории Кирпичева для однородных твердых тел усилия дробления пропорциональны квадратам их сходственных линейных размеров или поверхностям тел, а произведенная работа пропорциональна объемам или весам этих тел.

Поверхностная теория. Согласно этой теории работа, затраченная на дробление, пропорциональна поверхности кусков, образующихся при дроблении. Поверхность материала при дроблении возрастает обратно пропорционально конечному размеру кусков d_k , который согласно зависимости (2.1) равен

$$d_k = d_n/i,$$

где i – степень измельчения.

Тогда при одинаковой крупности кусков исходного материала получим для различной степени дробления

$$\frac{A_1}{A_2} = \frac{\left(\frac{d_n}{i_1}\right)^{-1}}{\left(\frac{d_n}{i_2}\right)^{-1}} = \frac{i_1}{i_2},$$

т. е. работа, затрачиваемая на дробление, пропорциональна степени измельчения материала.

Несмотря на то, что обе теории не отражают в полной мере всех явлений, происходящих при дроблении, исследования, проведенные советскими учеными (работы В. А. Баумана и др.), показали, что

теория Кирпичева хорошо согласуется с опытными данными при крупном и среднем дроблении, осуществляемом главным образом раздавливанием и ударом. Поверхностная теория более соответствует процессам мелкого дробления и тонкого измельчения, связанным с истиранием и иногда с раскалыванием материала.

Таким образом, обе гипотезы близки в определенных условиях к истине и, следовательно, дополняют друг друга. Это нашло отражение в единой теории дробления, предложенной П. А. Ребиндером.

По Ребиндеру, работа, затрачиваемая на дробление, в общем случае является суммой двух слагаемых:

$$A = \sigma \Delta F + k \Delta V. \quad (2.3)$$

Первый член этого выражения представляет собой энергию, расходуемую на образование новых поверхностей при разрушении твердого тела. Эта энергия равна удельной поверхностной энергии σ (приходящейся на единицу поверхности тела), умноженной на поверхность ΔF , образующуюся при разрушении. Второй член уравнения выражает энергию деформации. Она равна работе упругой (и пластической) деформации на единицу объема твердого тела k , умноженной на часть объема тела ΔV , подвергшуюся деформации.

При крупном дроблении величина вновь образующейся поверхности, вследствие больших размеров исходного материала, сравнительно невелика. Поэтому в данном случае второй член $k \Delta V$ уравнения (2.3) значительно превышает первый член $\sigma \Delta F$ и расход энергии на дробление приблизительно пропорционален объему твердого тела.

При тонком измельчении вновь образующаяся поверхность очень велика, поэтому в уравнении (2.3), описывающем этот процесс, первый член во много раз больше второго. В связи с этим расход энергии на измельчение приблизительно пропорционален вновь образованной поверхности.

Теория Ребиндера хорошо согласуется с опытом, а описанные выше объемная и поверхностная теории согласуются с ней и могут рассматриваться как частные случаи.

В зависимости от назначения и принципа действия в машинах для измельчения могут использоваться различные виды нагрузок: раздавливание (сжатие куска), излом (изгиб), раскалывание (эквивалентно растяжению), истирание и удар (рис. 2.1).

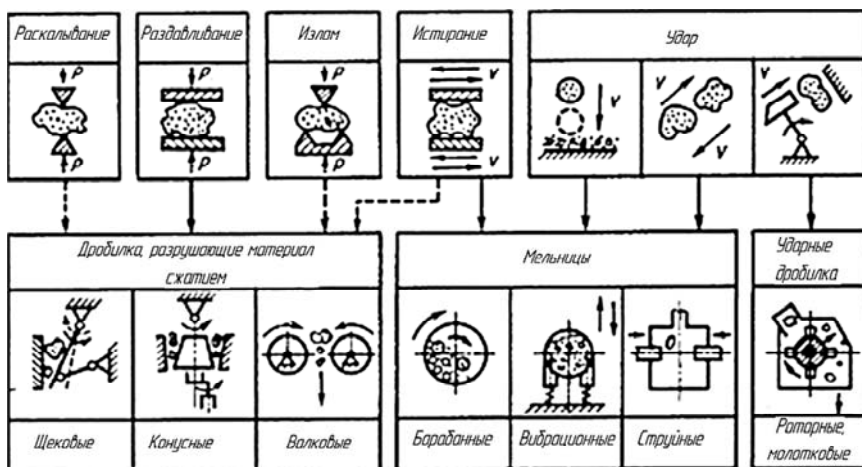


Рис. 2.1. Способы механического разрушения материалов, реализуемые в дробилках и мельницах:
 — преобладающие; - - - - - сопутствующие

Как правило, перечисленные виды силовых нагрузок в процессе измельчения действуют одновременно, например, раздавливание и истирание, удар и истирание и др. Однако при работе измельчителей в зависимости от их конструкций преобладает тот или иной способ измельчения.

По способу воздействия на измельчаемый материал различают дробилки, разрушающие материал сжатием (щековые, конусные и валковые дробилки) и ударом (роторные и молотковые дробилки).

Рассмотрим более подробно конструкции измельчителей, которые могут применяться при переработке тары и упаковки.

Шредеры

Примером универсальной дробилки для промышленных отходов, тары и упаковки, а также бытового мусора является шредер.

По сути, шредер – это специализированный промышленный измельчитель, поскольку разработан именно для работы с материалами, имеющими значительную толщину и обладающими высокими показателями сопротивления разрушению. Оборудование отлично подходит для измельчения:

- пластмассовых блоков высокой прочности;
- отходов дерева всех пород;
- различных полимеров;
- бумажных и картонных отходов;
- изделий из листового металлопроката.

Классифицируют шредеры по количеству валов:

- однороторный шредер;
- двухроторный шредер;
- четырехроторный шредер.

Шредер однороторный (рис. 2.2), иногда называемый «грызун», предназначен для предварительного измельчения любых крупногабаритных отходов различной формы. Такие машины оснащают фидером (толкателем) – подвижной плитой, приводимой в движение гидравлическим или пневматическим приводом.

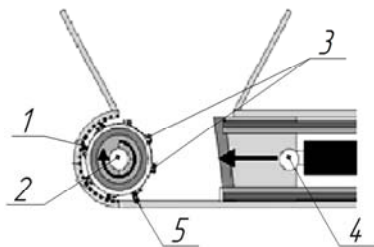


Рис. 2.2. Шредер однороторный

Предназначенный к измельчению материал, загруженный в бункер 1, при помощи фидера (подпрессовщика) 4 поступает в зону вращающегося ротора 2 с закрепленными на нем ножами 3. На этом этапе материал подвергается первичному разрушению.

Далее куски материала поступают в зону, где совместно действуют ножи 3, смонтированные на роторе 2, и ножи 1, неподвижно закрепленные в нижней части загрузочного блока 5. Здесь материал режется на мелкие части.

Измельченные частицы ссыпаются на экран с ячейками определенного размера, задающими величину фракции. Куски, оказавшиеся крупнее ячеек, поступают во вторичный цикл измельчения.

Материал в двухроторном шредере (рис. 2.3) может измельчаться как продольно, так и поперечно. Размер измельченных частиц определяется шириной режущего диска и количеством зубцов.

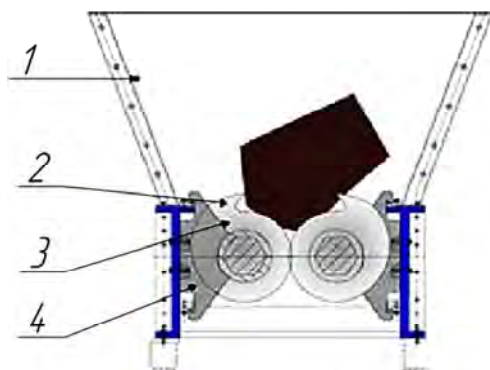


Рис. 2.3. Шредер двухроторный:
 1 – загрузочный бункер; 2 – зубы или крюки; 3 – режущий диск;
 4 – боковые накладки

Материал, подлежащий измельчению, засыпается в загрузочный бункер, откуда подается на два вращающихся навстречу друг другу вала, оснащенные режущими дисками 3 с зубцами или крюками 2. Они расположены так, что режущий диск одного вала всегда находится между двумя дисками другого. Ножи захватывают материал и продвигают его между валами, протаскивая вниз. Для очистки ножей и, соответственно, ссыпания измельченного материала через экран в нижней части применяются боковые накладки 4.

Машина оснащается асинхронным мотором переменного тока с редуктором, обеспечивающим передачу крутящего момента. Для исключения аварийных ситуаций и повреждения агрегата предусмотрена функция автореверса, срабатывающая при заклинивании каких-либо элементов или перегрузке устройства.

Машины подобного типа производятся различными производителями во многих странах мира. Примером такого устройства, произведенного в Российской Федерации, можно считать универсальную дробилку для промышленных отходов и бытового мусора типа РО.

2.2. Сепарация

При вовлечении тары и упаковки в промышленную переработку в качестве техногенного сырья, по аналогии с комплексной переработкой многокомпонентных природных сырьевых материалов (руд,

горно-химического сырья, угля и прочее), особую роль играют обогатительные процессы как подготовительные операции, позволяющие выделить те или иные ценные компоненты для вторичного использования, удалить опасные компоненты и оптимизировать состав отходов для последующей переработки.

В общем случае под *сепарацией (сепарированием)* понимают процесс разделения материалов на фракции, различающиеся физическими и геометрическими размерами, под *очисткой* – процесс отделения посторонних примесей исходного материала.

Для разделения материалов на фракции используют следующие признаки: линейные размеры, аэродинамические и ферромагнитные свойства, плотность частиц, состояние поверхности и др.

Можно выделить основные виды сепарирования сыпучих материалов:

- ситовое сепарирование (грохочение);
- пневматическое сепарирование (аэросепарация);
- магнитное сепарирование;
- электродинамическая сепарация;
- специальные методы сортировки.

Эффективность сепарации оценивается *коэффициентом извлечения (%)*

$$\eta = (m / m_0) \cdot 100 \%, \quad (2.4)$$

который равен отношению массы извлеченного компонента m к массе того же компонента, содержащегося в исходной смеси, т. е. он показывает, какую часть данной фракции удается выделить из исходной смеси.

Ситовые сепараторы. Грохоты

Грохочение – это процесс разделения твердых материалов на классы по крупности.

Грохочение осуществляется на просеивающей поверхности специальных аппаратов – грохотов (ситовых сепараторов).

В зависимости от назначения в технологической схеме переработки различают грохочение трех видов:

- подготовительное – перед обогащением, той или иной переработкой, дроблением;
- самостоятельное – для выделения определенного класса крупности в качестве готового или отвального продукта;
- обезвоживающее – для удаления из продукта основной массы воды после процессов мокрого обогащения (переработки).

Грохочение отличается широким распространением и универсальностью. Оно может быть применимо ко всем (без исключения) твердым материалам.

Технически наиболее сложной является операция грохочения твердых материалов, содержащих остатки пищи, глинистые компоненты, макулатуру, полимерную пленку и текстиль. Так, например, до настоящего времени нет аппаратов, обеспечивающих эффективность процесса грохочения влажных бытовых отходов при высоком содержании в них текстильных компонентов (традиционный барабанный грохот забивается текстилем в течение нескольких смен и перестает работать как сортирующее устройство). С повышением влажности понижается эффективность грохочения.

Теоретически при правильном режиме работы грохота все частицы исходного материала, размер которых меньше размера отверстий грохота, должны уйти в подрешетный продукт. В действительности вследствие несовершенной работы грохота и разнообразной формы кусков материала часть нижнего продукта всегда остается в надрешетном.

Факторы, влияющие на эффективность грохочения (на качество грохочения), можно разбить на три группы:

- факторы, зависящие от характеристики и свойств обрабатываемого материала;
- факторы, зависящие от требований к продуктам грохочения;
- факторы, зависящие от конструкции грохота и режима его работы (в первую очередь от его производительности и толщины слоя материала).

Первая группа факторов является заданной величиной.

Вторая группа определяется требованиями к продуктам грохочения. Особое значение в этой группе факторов, влияющих на качество грохочения, имеет принятый размер отверстий решет, на которых производится грохочение.

Третья группа факторов целиком зависит от того, насколько правильно выбран грохот, как он смонтирован и в каких условиях протекает его работа. При правильно выбранном грохоте эффективность грохочения определяется режимом работы грохота.

Под оптимальной производительностью грохота имеют в виду его максимальную пропускную способность по исходному материалу (т/ч) при определенной заданной эффективности грохочения (2.4).

При прочих равных условиях, чем дольше материал находится на грохоте, тем выше эффективность грохочения (повышается вероятность извлечения мелких классов в нижний продукт).

При переработке тары и упаковки наиболее часто применяются грохоты двух типов – барабанные и вибрационные; реже – колосниковые грохоты.

Барабанный грохот – наиболее распространенный аппарат, используемый в технологиях сепарации отходов.

Барабанные грохоты имеют просеивающую поверхность цилиндрической (рис. 2.4), реже – многогранной формы.



Рис. 2.4. Цилиндрический барабан грохота

Материал загружается внутрь вращающегося барабана и попадает на просеивающую поверхность. Куски материала под действием сил трения увлекаются внутренней поверхностью вращающегося барабана. Продвигаясь по внутренней поверхности барабана, материал рассеивается на два продукта: подрешетный и надрешетный.

Если требуется получение нескольких продуктов, то решето барабана собирается из нескольких секций с отверстиями различного размера, увеличивающимися к разгрузочному концу.

Исходя из данных практики, диаметр D барабана при грохочении бытовых отходов, тары и упаковки должен превышать размер максимального куска не менее чем в восемь раз.

Критическая скорость вращения барабана (частота вращения барабана, при которой материал вращается с корпусом барабана, не отрываясь от него) равна

$$n_{\text{кр}} = \frac{42,3}{\sqrt{D}}, \text{ об/мин.}$$

Оптимальная скорость вращения барабана составляет 30–45 % от критической (практически 10–15 об/мин).

При неизменной производительности эффективность грохочения повышается при уменьшении слоя загружаемого на грохот материала или увеличении диаметра барабана. Производительность грохота повышается при увеличении угла наклона барабана, но при этом снижается эффективность грохочения. Реальная производительность барабанных грохотов по исходным бытовым отходам составляет 20–25 т/ч.

На рис. 2.5 показан барабанный грохот для сепарации бытовых отходов, разработанный в Японии. Грохот имеет две секции: загрузочную 4 с отражающими и разрыхляющими перегородками 16 и рабочую 6. Грохот установлен с наклоном в сторону выходного отверстия 8. Корпус грохота бандажами 3 опирается на колеса 15. Вращение барабану 5 сообщается от электродвигателя 14 через зубчатую пару. В процессе вращения барабана 5 обрабатываемый материал, поступивший с помощью конвейера 1 через точку 2 в загрузочную секцию грохота, перемещается внутри корпуса от загрузочного конца к разгрузочному через рабочую зону 6 с отверстиями 7.

Надрешетный продукт собирается в бункере 9, подрешетный – из бункера 13 сбрасывается на конвейер 12, где дополнительно сортируется и накапливается в бункерах 10 и 11.

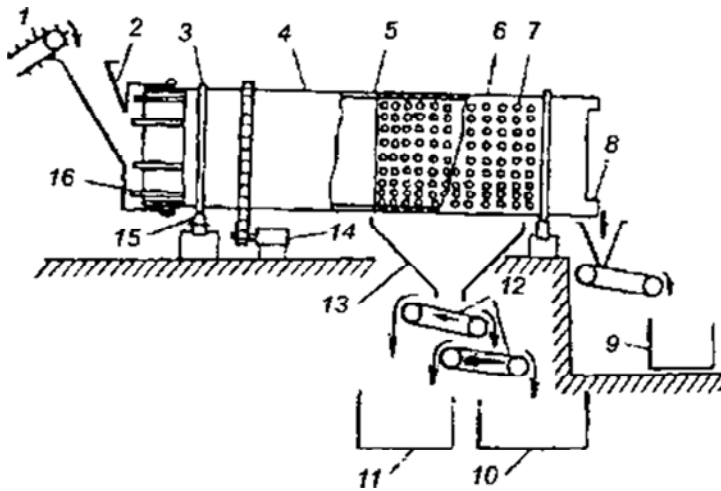


Рис. 2.5. Схема установки барабанного грохота:

1 – питающий конвейер; 2 – течка; 3 – бандаж; 4 – загрузочная секция; 5 – барабан; 6 – рабочая секция; 7 – отверстия; 8 – бункер надрешетного продукта; 10, 11 – бункеры; 12 – конвейер; 13 – бункер подрешетного продукта; 14 – электродвигатель; 15 – опорные колеса; 16 – разрыхляющее устройство

Вибрационный грохот (подвесного или опорного типа) чаще всего имеет прямоугольную форму. Общий вид подвесного грохота представлен на рис. 2.6.

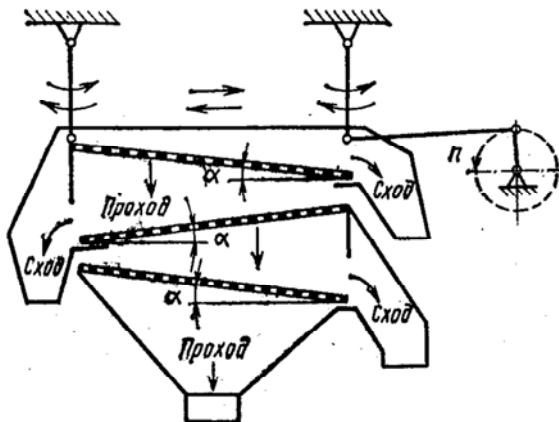


Рис. 2.6. Схема многоярусного вибрационного грохота

Принцип работы вибрационного грохота заключается в том, что при помощи какого-либо механизма сетка грохота вибрирует в плоскости, перпендикулярной плоскости решета или под определенным углом к плоскости решета. Вся масса материала разрыхляется, тем самым создаются хорошие условия для прохождения частиц через отверстия решета. Вибрации чаще всего сообщаются раме грохота (это создает равномерные вибрации по всей поверхности решета).

Число вибраций может достигать до 3600 вибраций в минуту (чаще всего 900–1500).

Амплитуда колебаний решета может изменяться в довольно широких пределах: от 0,5 до 12 мм (чаще 3–5 мм).

Вибрационные грохоты могут работать в диапазоне крупности от 200 до 0,1 мм. Для крупного материала обычно берут число вибраций меньше, а амплитуду больше, чем для мелкого.

Угол наклона решет вибрационных грохотов – от 7 до 40°.

Для обеспечения высокой производительности и эффективности грохочения питание грохота должно быть равномерным и, как правило, осуществляться при помощи питателя.

Виброгрохочение является эффективной операцией в схеме извлечения луженой тары из черного металлолома, выделенного из бытовых отходов.

Пневматическое сепарирование

Пневматическое сепарирование (аэросепарация) – процесс разделения смеси в движущейся газовой (воздушной) среде, основанный на использовании различий в плотности компонентов и их скорости витания.

Аэросепарацию при сепарировании тары и упаковки применяют для разделения потока отходов на легкую и тяжелую фракции (это необходимо прежде всего по условиям технологии извлечения металлов), а также для выделения горючих компонентов для последующей термической переработки, хотя в принципе возможна не только энергетическая утилизация легких компонентов.

При аэросепарации бытовых отходов, тары и упаковки в легкую фракцию переходят макулатура, полимерная пленка, некоторые текстильные компоненты (в основном синтетические) и т. п. Рекомен-

двумя крупностью компонентов смеси при аэросепарации бытовых отходов – 250 мм.

Основными факторами, влияющими на технологические показатели аэросепарации, являются скорость воздуха, крупность материала и его влажность.

Ниже рассмотрены наиболее типичные конструкции аэросепараторов, применяемые при обогащении бытовых отходов, тары и упаковки.

Для сортировки отходов в горизонтальном потоке воздуха представляют интерес сепараторы, запатентованные в США и ФРГ (рис. 2.7, 2.8) и предназначенные для разделения дробленых отходов.

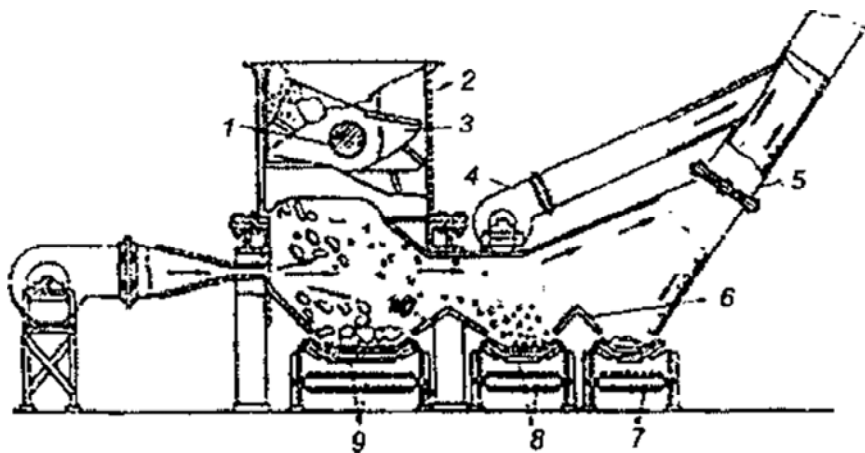


Рис. 2.7. Аэросепаратор для сортировки отходов в горизонтальном потоке воздуха (США):

1 – вал; 2 – приемная воронка; 3 – измельчитель; 4 – вентилятор; 5 – труба; 6, 10 – направляющие вставки; 7, 8, 9 – конвейеры

В сепараторе США отходы обрабатываются в измельчителе 2 с рабочим колесом 3, вращающимся на валу 1. Измельченные отходы подхватываются горизонтальным потоком воздуха. Тяжелые материалы (металлические банки, резина, камни) поступают на конвейер 9, более легкие (мокрое дерево, неметаллические предметы) – на конвейер 8, предметы из алюминия и других подобных материалов – на конвейер 7. Макулатура, текстиль и т. п. подхватываются потоком воздуха и выносятся в трубу 5, куда дополнительно вентилятором 4

подается воздух, направляемый затем в топку. Для предотвращения смешивания отходов между конвейерами устанавливаются разделительные направляющие вставки 6 и 10.

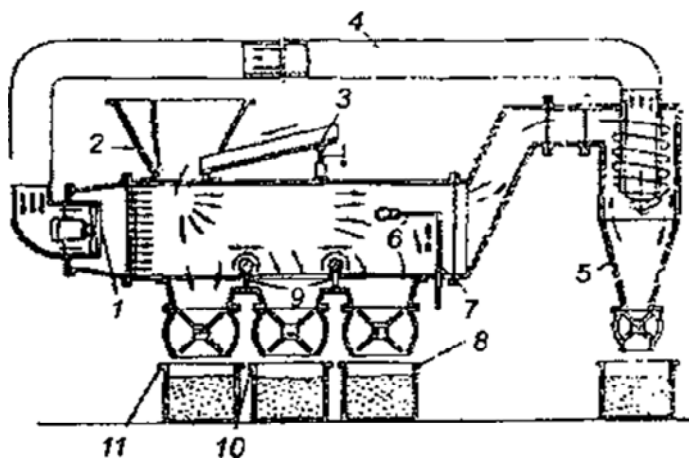


Рис. 2.8. Аэросепаратор для сортировки отходов в горизонтальном потоке воздуха (ФРГ):

1 – вентилятор; 2 – приемная воронка; 3 – вибропитатель; 4 – система рециркуляции воздуха; 5 – циклон; 6, 9 – подвижные перегородки; 7 – перегородка; 8, 10, 11 – сборники материала

Устройство, запатентованное в ФРГ (см. рис. 2.8), снабжено системой циркуляции воздуха 4 и камерой, выполненной в виде трубы, с загрузочным бункером 2, в который измельченный материал подается вибропитателем 3. Материал, подхваченный горизонтальным потоком воздуха от вентилятора 1, разделяется на три фракции и удаляется в сборники 8, 10 и 11, а легкие компоненты выносятся в циклон 5. Для регулирования сепарации внутри камеры между разгрузочными отверстиями установлены подвижные перегородки 6 и 9. Изменением высоты перегородки 7 регулируется вынос мелких частиц в циклон 5.

На рис. 2.9 представлена схема вертикального аэросепаратора зигзагообразного типа для разделения дробленых отходов.

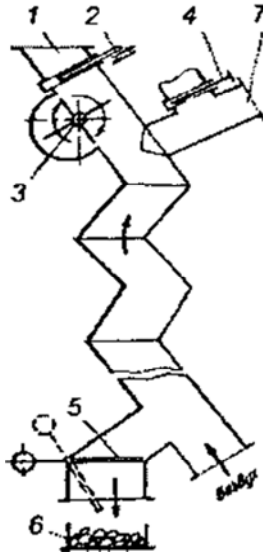


Рис. 2.9. Вертикальный аэросепаратор зигзагообразного типа:
 1 – приемная воронка; 2, 4, 5 – шиберная заслонка; 3 – роторный питатель;
 6 – приемник; 7 – патрубок

Конструкция аэросепаратора обеспечивает повышение эффективности разделения за счет лучшего рыхления материала и его разединения на отдельные компоненты в рабочей зоне сепарации в условиях стесненного падения материала при его пересечении в различных направлениях организованным потоком воздуха.

Магнитное сепарирование

Магнитная сепарация – процесс разделения твердых материалов в магнитном поле, основанный на использовании различий в их магнитных свойствах (главным образом в магнитной восприимчивости).

Магнитную сепарацию широко применяют для удаления железистых примесей. Магнитному сепарированию обычно подвергается материал крупностью не более 200 мм.

Для магнитного обогащения важное значение имеет способность разделяемых компонентов к намагничиванию, которая характеризуется магнитной восприимчивостью.

Магнитная восприимчивость χ вещества характеризует связь между намагниченностью J (магнитным моментом M вещества, отнесенным к его объему V) и напряженностью магнитного поля H в этом веществе: $\chi = J / H$.

По магнитным свойствам (по способности намагничиваться во внешнем магнитном поле) все вещества делятся на диамагнитные, парамагнитные и ферромагнитные. Принадлежность вещества к той или иной группе определяют процессы в атомах, молекулах и кристаллах.

Диамагнитные вещества (висмут, серебро, золото) обладают отрицательной магнитной восприимчивостью (под действием магнитных сил электроны атомов приобретают добавочную угловую скорость, вследствие чего в каждом атоме возникает добавочный магнитный момент, направленный против создающего его внешнего поля).

Парамагнитные вещества (хром, марганец, олово, платина, редкоземельные элементы) обладают положительной магнитной восприимчивостью (под действием магнитных сил атомные магнитные моменты ориентируются по направлению поля, вследствие чего парамагнитные вещества во внешнем магнитном поле намагничиваются в направлении поля).

У диа- и парамагнитных веществ магнитная восприимчивость очень мала и почти не зависит от напряженности поля.

Ферромагнитные вещества (железо, никель, кобальт, кадмий) характеризуются способностью к самопроизвольному намагничиванию даже при отсутствии внешнего магнитного поля. При увеличении напряженности внешнего магнитного поля намагниченность ферромагнитного вещества возрастает до полного насыщения (все атомные магнитные моменты становятся параллельными и ориентируются по полю).

Если в магнитное поле, создаваемое в зоне сепарации системами из постоянных магнитов или электромагнитов с обмоткой, питаемой постоянным током, попадает ферромагнитное вещество, магнитное поле существенно искажается. При попадании в магнитное поле пара- и диамагнитных веществ оно искажается незначительно. Соответственно, ферромагнитные вещества испытывают значительные силы со стороны магнитного поля, пара- и диамагнитные – меньшие.

Ферромагнитный компонент в магнитном поле намагничивается и становится магнитом с двумя полюсами.

При намагничивании ферромагнитного компонента ему сообщается энергия на создание магнитного поля внутри компонента и вне его. Магнитная сила, действующая на ферромагнитный компонент в магнитном поле, определяется потенциальной энергией, приобретенной единицей объема компонента во время его намагничивания.

Чтобы магнитные компоненты притягивались к магниту, действующая на них магнитная сила притяжения должна превосходить силу тяжести, а также сопротивление среды движению частиц и другие механические силы.

Чем больше разница магнитной восприимчивости отдельных компонентов в их смеси, тем легче разделяются они в магнитном поле, причем чем выше магнитная восприимчивость, тем меньшая требуется напряженность поля для разделения компонентов.

Ферромагнитные компоненты большинства твердых отходов имеют удельную магнитную восприимчивость не менее $3 \cdot 10^{-3} \text{ см}^3/\text{г}$ и достаточно эффективно извлекаются в магнитный продукт при использовании сепараторов с относительно слабым магнитным полем напряженностью до 120 кА/м (практически применяются сепараторы с магнитным полем 90–200 кА/м). К ним относятся все изделия из черного металла, отслужившие свой срок в быту и попавшие в бытовые отходы, а также луженая консервная тара и др.

Для выделения из отходов магнитного продукта наиболее подходят подвесные электромагнитные сепараторы-железоотделители типа ПС с автоматической разгрузкой и шкивные сепараторы типа ШЭ. В рабочей зоне этих сепараторов имеется магнитное поле, которое создается системой из электромагнитов с обмоткой, питаемой постоянным током.

Подвесные магнитные сепараторы устанавливаются над лентой конвейера, транспортирующей отходы: чаще всего в каком-либо месте между приводным и хвостовым барабаном перпендикулярно направлению движения конвейера, либо в месте разгрузки материала с конвейера в направлении движения ленты (рис. 2.10).

Для повышения эффективности процесса устанавливают сепараторы с удлиненной зоной сепарации и со сложной электромагнитной системой, обеспечивающие вторичную концентрацию ферромагнитных компонентов, извлеченных из потока отходов, и позволяющие получить более чистый черный металлолом.

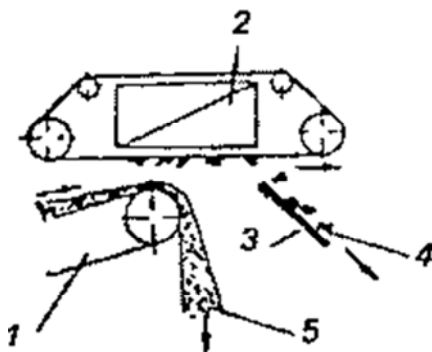


Рис. 2.10. Схема установки подвешенного магнитного сепаратора в зоне разгрузки ленточного конвейера (над приводным барабаном): 1 – ленточный конвейер; 2 – магнитный сепаратор; 3 – течка из немагнитного материала; 4 – магнитные компоненты; 5 – немагнитная фракция

Недостаток установки подвешенных магнитных сепараторов над слоем транспортируемых отходов – низкое извлечение черных металлов (особенно небольшого размера), находящихся под слоем ТБО. Поэтому магнитная сепарация должна проводиться в несколько стадий, а сепараторы устанавливаться в различных точках технологической схемы.

Для доизвлечения железных предметов, находящихся под слоем ТБО, целесообразно использовать шкивной магнитный сепаратор в виде приводного барабана ленточного конвейера, проходящего под сепаратором типа ПС (контрольная магнитная сепарация).

По данным практики магнитный шкив должен работать при подаваемом напряжении не менее 10–15 В, обеспечивающем извлечение ферромагнитных предметов массой более 50 г.

Схемы установки шкивных магнитных сепараторов на конвейерных линиях извлечения черных металлов из потока отходов приведены на рис. 2.11.

В зарубежной практике при магнитной сепарации ТБО и других отходов нашли применение барабанные сепараторы со встроенным во вращающийся барабан неподвижным постоянным или электрическим магнитом. Конструкция барабанного магнитного сепаратора подобна конструкции шкивного сепаратора, но барабан не связан непосредственно с транспортирующим средством.

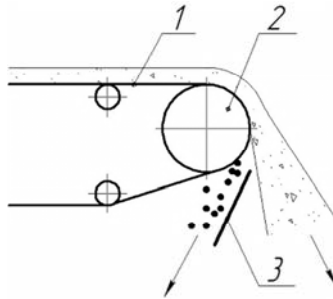


Рис. 2.11. Схема установки шкивного магнитного сепаратора (отходы транспортируются горизонтальным ленточным конвейером):

1 – ленточный конвейер; 2 – магнитный шкив;

3 – шибер (из немагнитного материала)

Магнитное поле такого сепаратора распространяется на 180° окружности барабана (обечайка из немагнитного материала вращается вокруг неподвижной магнитной системы). Ферромагнитные компоненты, притянувшиеся к барабану, проходят до немагнитной зоны и там отрываются от поверхности барабана. Устанавливают барабанный сепаратор таким образом, чтобы поток отходов поступал или непосредственно на барабан, или проходил бы под барабаном (рис. 2.12, 2.13). Для повышения эффективности сепарации подавать материал к барабану необходимо тонким слоем (например, с помощью вибропитателя).

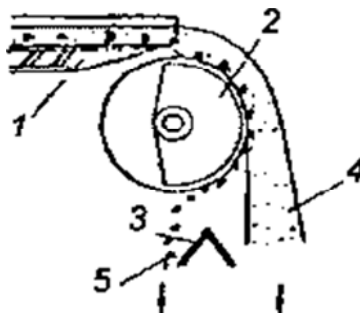


Рис. 2.12. Схема установки барабанного магнитного сепаратора с подачей отходов на барабан:

1 – вибропитатель; 2 – магнитный барабан; 3 – отсекающий (из немагнитного материала); 4 – немагнитный продукт; 5 – магнитный продукт

Практика показывает, что при извлечении черных металлов, особенно в голове процесса сепарации ТБО, вместе с ними в магнитный продукт попадают посторонние примеси (макулатура, текстиль, полимерная пленка и др.), поэтому в технологической схеме обязательно должна предусматриваться перечистка магнитного продукта в магнитном поле для освобождения от неметаллических включений (см. рис. 2.13).

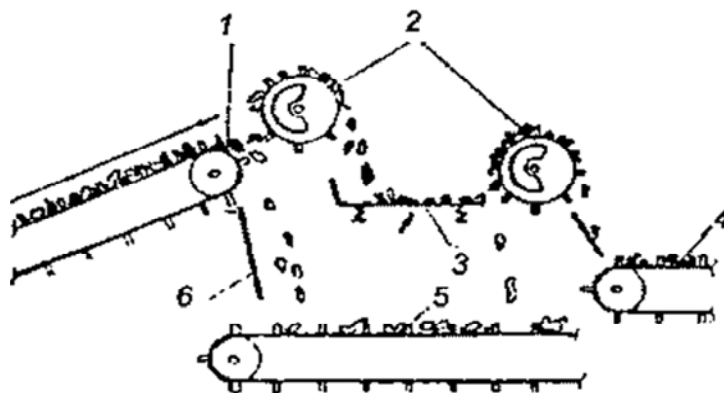


Рис. 2.13. Схема установки барабанного магнитного сепаратора с подачей отходов под барабан:

- 1 – ленточный конвейер с рифлями; 2 – магнитные барабаны; 3 – вибропитатель;
- 4 – магнитный продукт; 5 – немагнитный продукт;
- 6 – шибер (из немагнитного материала)

Наивысшие показатели в операции перечистки обеспечивает сепарация в магнитном поле подвешенного сепаратора, на ленте которого поддерживают магнитную индукцию 150–170 мТл (подаваемое напряжение не более 180 В). Замена подвешенного магнитного сепаратора на магнитный шкив снижает извлечение ферромагнитных компонентов на 10–15 %.

После перечистки содержание металлов в коллективном концентрате составляет 98–99,5 %.

При необходимости коллективный магнитный концентрат может разделяться на лом черный и оловосодержащий (с использованием виброгрохочения и сепарации на подвижной наклонной плоскости): оловосодержащие компоненты (луженая консервная тара) выделяются

в виде среднего класса грохочения и подвергаются доводке на движущейся вверх ленте конвейера, установленного под углом 22–23°; консервные банки скатываются по ленте конвейера вниз, а остальные компоненты транспортируются конвейерной лентой вверх. Выделенные оловосодержащие компоненты реализуются как лом цветных металлов и могут направляться на гидрометаллургические установки для снятия олова.

Лом черных металлов, выделенный из ТБО для отправки потребителю, должен соответствовать требованиям ГОСТ 278–86. Засоренность продукта неметаллическими примесями не должна превышать 3 % по массе.

Чаще всего черный металлолом поставляется потребителю в пакетированном виде.

Пакетирование – уплотнение крупнокускового материала методом прессования с получением пакетов (при пакетировании макулатуры, пластмассы, текстиля – обязательно с обвязкой проволокой, веревкой и т. п.) с целью повышения эффективности последующего обращения с материалом (хранение, транспортировка, захоронение, переработка). Металл в пакетированном виде загружают в транспортные средства с помощью автопогрузчика или магнитной шайбы.

Лом луженой тары (оловосодержащие компоненты) должен соответствовать требованиям ГОСТ 1639–93 «Лом цветных металлов и сплавов». Засоренность продукта бумагой, тряпками, древесиной, остатками пищевых продуктов и т. п. не должна превышать 5 %.

Лом луженой тары, выделенный из ТБО с целью последующего извлечения олова, должен поставляться на предприятия вторичной металлургии в россыпном виде.

При переработке оловосодержащего лома получают два продукта: высококачественное олово (в виде 25-килограммовых чушек) и прессованные пакеты жести от консервных банок, представляющие собой ценное сырье для выплавки стали.

Следует отметить, что извлеченные из ТБО консервные банки загрязнены, причем обычно банки имеют несколько швов, где металл плотно спрессован и во многих случаях спаян. В этих швах концентрируется приблизительно четвертая часть всей массы олова, снятие которого в процессах гидрометаллургии затруднено. Поэтому перед подачей консервных банок на стадию снятия олова необходима их предварительная обработка: мойка в специальном аппарате,

измельчение, а также введение других операций, позволяющих очищать банки и раскрывать швы.

При этом измельчение консервных банок в дробилке типа молотковой нежелательно, так как банки сминаются, что резко ухудшает возможность их очистки и снятия олова. Предпочтение следует отдать дисковым или ножевым дробилкам, в которых банки не сминаются, а разрезаются. Преимущества такого дробления: раскрытие значительной части швов, удаление загрязняющих примесей, снижение насыпной массы, что сокращает транспортные расходы (последние можно избежать, если цех снятия олова входит в состав мусороперерабатывающего завода).

Электродинамическая сепарация

Электродинамическая сепарация – комбинированный процесс магнитного обогащения, основанный на использовании различий в магнитной восприимчивости обогащаемых материалов (извлечение ферромагнитных компонентов) или в их электрической проводимости (извлечение диа- и парамагнитных компонентов).

Основная область применения электродинамической сепарации – извлечение из потока твердых отходов цветных металлов, а также разделение цветных металлов по видам. Преимущественная крупность извлекаемых компонентов 40–50 мм.

Цветной металлолом в ТБО в основном представлен различными видами отслужившей упаковки и посуды из алюминия (банки из-под напитков, баллончики, тубики, тарелки, ложки, вилки, кастрюли, крышки и прочее), значительно реже – сантехническими изделиями из сплавов на медной основе (бронзы, латуни). Содержание цветных металлов в ТБО – на уровне 0,7 %.

По физическим свойствам цветные металлы относятся к неферромагнитным электропроводным веществам, поэтому при изменении пронизывающего их магнитного потока возникают вихревые токи, которые являются индукционными и возрастают с увеличением скорости изменения магнитного потока. В отличие от электрического тока в проводах вихревые токи замыкаются непосредственно в проводящей массе, образуя вихреобразные контуры. Эффектом взаимодействия контуров тока с породившим их магнитным потоком является выталкивание неферромагнитных металлов из маг-

нитного поля (из зоны сепарации). В процессе электродинамической сепарации таким образом используется силовое взаимодействие магнитного поля и индуцированных в проводниках вихревых токов.

Для извлечения из ТБО цветных металлов чаще всего используется электродинамическая сепарация в бегущем или вращающемся магнитном поле, которое, подобно вращающемуся магнитному полю асинхронной машины, может создаваться обмоткой трехфазного тока (линейные асинхронные двигатели ЛД) или при относительном перемещении барабана (ленты) и многополюсной магнитной системы (рис. 2.14).

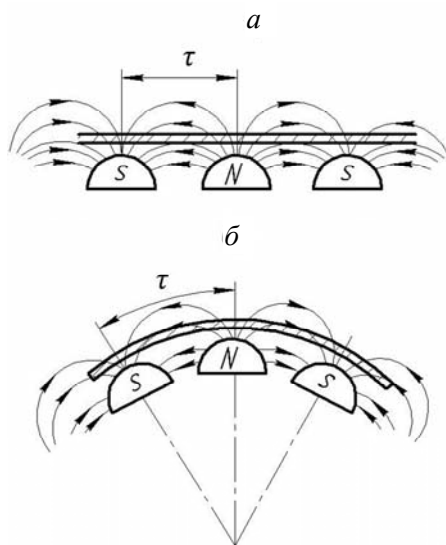


Рис. 2.14. Схема расположения полюсов открытой многополюсной магнитной системы в плоскости (а) и по цилиндрической поверхности (б)

Необходимо отметить, что с увеличением расстояния по высоте от поверхности сепаратора магнитная индукция резко снижается (с 0,19 Тл до 0,12 Тл уже на высоте 10 мм над поверхностью сепаратора промышленного типа), в связи с чем существенное влияние на результаты сепарации должны оказывать правильный выбор толщины конвейерной ленты и обеспечение по возможности однослойной подачи ТБО в рабочую зону индуктора. Магнитная индукция

существенно снижается по периферической зоне сепаратора («краевой» эффект). Как показали исследования, магнитная индукция зависит, кроме того, от мощности линейного двигателя (снижение мощности двигателя в десять раз приводит к снижению величины магнитной индукции на поверхности двигателя в два раза).

Возбуждение и сила индуцированных в проводнике токов зависят как от параметров первичного магнитного поля, так и от физических свойств проводника, его размеров и формы.

По способности подвергаться электродинамической сепарации цветные металлы характеризуются параметром σ/ρ – отношением электрической проводимости к плотности: чем выше это отношение, тем легче, при прочих равных условиях, извлекается металл электродинамической сепарацией (табл. 2.2).

Таблица 2.2

Параметры σ/ρ для различных металлов
(при комнатной температуре)

Металл	σ , $10^6 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{м}^{-1}$	ρ , $10^3 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$	σ/ρ , $10^2 \text{ м}^2 \cdot \text{Ом}^{-1} \cdot \text{кг}^{-1}$
Алюминий	35,4	2,70	130
Магний	23,0	1,74	130
Медь	59,1	8,93	66
Серебро	68,1	10,49	65
Цинк	17,4	6,92	25
Латунь	15,6	8,47	18
Олово	8,8	7,29	12
Свинец	5,0	11,34	4,5
Нержавеющая сталь	1,4	7,9	1,8

Плоские частицы легче поддаются действию отклоняющих сил и, следовательно, легче отделяются от немаetalлических материалов. Однако в ТБО содержится довольно много metalлических частиц сферической или цилиндрической формы, которые хуже поддаются действию отклоняющих сил из-за того, что под влиянием вихревых токов они начинают совершать вращательное движение. Сепарация,

основанная на использовании вихревых токов, осуществляется тем труднее, чем меньше размеры сепарируемых частиц.

Результатом взаимодействия магнитного поля и вихревых токов, индуцируемых в частицах цветного металла, является возникновение выталкивающей электродинамической силы, действующей на цветной металл.

Для обеспечения равномерной и монослойной подачи материала в зону сепарации применяют вибропитатели (виброжелоба), заменяют конвейерную ленту на специальные вибрирующие деки, а также используют систему ленточных конвейеров с последовательно увеличивающимися скоростями.

Установка для извлечения цветных металлов из потока ТБО с подачей материала в зону сепарации в область максимального воздействия бегущего магнитного поля показана на рис. 2.15 (разработка США).

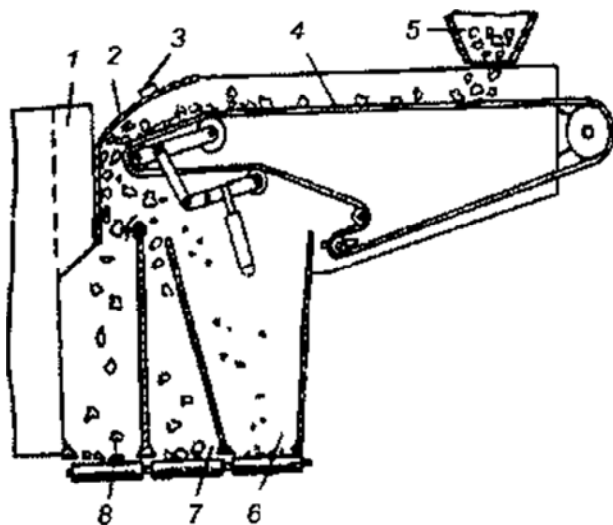


Рис. 2.15. Установка для извлечения цветных металлов из твердых бытовых отходов с вертикально установленным сепаратором:

1 – сепаратор; 2 – направляющая; 3 – детектор; 4 – конвейер; 5 – бункер;
6, 7, 8 – бункера, соответственно, для концентрата, промпродуктов и хвостов

Отходы из бункера 5 подаются на конвейер 4, которым они транспортируются и с помощью направляющей 2 вводятся в зону

сепарации, где на цветные металлы воздействует максимальный поток, создаваемый индуктором 1, включаемым по сигналу детектора 3. В итоге сортировки цветные металлы попадают в бункер концентрата 6 либо в бункер промпродукта 7; весь остальной материал выводится из процесса в виде хвостов 8. Следует также отметить, что направляющая 2 сводит к минимуму механическое отскакивание материала от поверхности индуктора, обеспечивая плавное изменение траектории потока ТБО, что способствует повышению извлечения металлов.

Источником поля также могут быть постоянные магниты, помещенные во вращающийся ролик небольшого диаметра.

Для надежной работы системы желательно предварительно удалить черные металлы из смешанных отходов перед их загрузкой в бункер 5 (например, с помощью магнитного шкива или подвесного сепаратора). Таким образом, в желоб поступают смешанные отходы, содержащие только неферромагнитные металлы.

Практика показывает, что для обеспечения полноты извлечения цветных металлов электродинамическая сепарация должна проводиться в несколько стадий (основная и контрольные операции), причем сепараторы должны устанавливаться на разных конвейерах, ленты которых имеют разную скорость (например, в основной сепарации 0,8–1,0 м/с, в контрольной – 1,0–1,2 м/с). При перегрузке слой потока будет утончаться, а компоненты цветных металлов займут иное, более благоприятное положение на ленте другого конвейера, что увеличивает вероятность их доизвлечения в контрольной операции.

При двухстадийной электродинамической сепарации извлечение цветных металлов из потока ТБО находится на уровне 80–85 %. Цветной металлом, извлеченный из ТБО, представлен в основном алюминием и в соответствии с ГОСТ 1639–93 («Лом цветных металлов и сплавов») может быть отнесен к классу А (лом и кусковые отходы). Лом этого класса подразделяют на две группы:

– группа 1 – алюминий чистый (не легированный); в зависимости от сорта содержание металла регламентируется в пределах 85–97 % (максимально допускаемая засоренность черными металлами – 10 %);

– группа х – лом и кусковые отходы алюминия и алюминиевых сплавов низкокачественные; содержание металла – не менее 70 %.

Электрическая сепарация

Электрическая сепарация – процесс обогащения в электрическом поле, основанный на использовании естественных или искусственно усиленных различий разделяемых компонентов в электрофизических свойствах (главным образом в электрической проводимости и способности приобретать электрический заряд в процессе контактной электризации).

С помощью электросепарации можно разделить полимерную пленку и бумагу, вольфрамовые спиральки и стеклобой, металлы и пластмассу. Преимущественная крупность разделяемых компонентов минерального сырья – от 5 мм до 50 мкм. Желательна классификация материала в узких пределах крупности.

В процессе электросепарации используется силовое взаимодействие электрического поля и электрических зарядов, носителями которых являются подлежащие разделению заряженные компоненты сырья. Под действием электрических сил они отделяются от незаряженных.

В технологии электросепарации условно можно выделить три операции:

- подготовка материала к сепарации;
- зарядка материала;
- разделение заряженных и незаряженных компонентов.

Подготовка материала к электросепарации может быть связана с изменением его крупности (дробление, грохочение), с обеспыливанием (грохочение, аэросепарация) и с направленным изменением электрических свойств разделяемых компонентов, если естественное различие в этих свойствах недостаточно для эффективной зарядки и селективной сепарации материала (искусственное увеличение различия в проводимости путем реагентной и термической обработки компонентов, а также путем регулирования влажности).

Естественные или селективно измененные электрические свойства сепарируемых компонентов определяют использование того или иного способа зарядки материала. Чаще всего она осуществляется с помощью газовых ионов, создаваемых в поле коронного разряда, или с помощью контактной электризации.

Коронный разряд – электрический разряд в воздухе, возникающий в неоднородном поле при определенной разности потенциалов,

приложенной к двум электродам (система «провод–плоскость» или «провод–цилиндр»). Коронирующие проволочные электроды подключаются к высоковольтному источнику тока (как правило, к отрицательному полюсу), осадительный электрод (в виде плоскости или цилиндра) заземляется. При определенной напряженности электрического поля вблизи коронирующих электродов начинается ионизация газа и образовавшиеся ионы под действием электрического поля направлены перемещаются к заземленному электроду, создавая ток короны и заряжая частицы сепарируемого материала, находящиеся в межэлектродном пространстве.

Заряженные частицы, источником которых является коронный разряд, представляют собой как свободные электроны, так и положительные и отрицательные ионы. Если на коронирующий электрод накладывается высокий отрицательный потенциал, к нему двигаются и отдают свои заряды положительные ионы; отрицательные ионы заполняют межэлектродное пространство и образуют объемный заряд одного знака. Оседая на частицах сепарируемого материала, ионы сообщают им избыточный заряд. Величина тока короны определяется количеством ионов.

В зоне действия коронирующих электродов частицы находятся в режиме зарядки; общий знак и величина заряда зависят, при прочих равных условиях, от электрических свойств частиц.

Разделяемые компоненты вводятся в электрическое поле коронного разряда, находясь на поверхности заземленного (осадительного) электрода. При движении потока материала через поле короны компоненты интенсивно заряжаются. Остаточный заряд после выхода из поля короны в разделительную зону сепаратора зависит от природы компонентов и определяется результирующим действием двух процессов: ионизационной зарядкой и разрядкой заряженных частиц через заземленный электрод.

Плохо проводящие компоненты имеют после зарядки знак заряда, одноименный заряду ионов, поступающих от коронирующего электрода (знак заряда совпадает со знаком коронирующих электродов). Компоненты с большой проводимостью быстро приобретают заряд, одноименный полюсу осадительного электрода, так как ионы коронного разряда стекают на осадительный электрод. Таким образом, коронирующий и осадительный электроды заряжают компоненты разноименными зарядами: в случае плохо проводящих

компонентов, находящихся в контакте с осадительным электродом, знак заряда сохраняется и они удерживаются на электроде; в случае компонентов с большой проводимостью заряд изменяет свой знак (проводники легко отдают заземленному электроду свой заряд ионизации, разряжаются и отскакивают от него). Принцип ионизационно-контактной зарядки разделяемых материалов при электросепарации в поле коронного разряда по электрической проводимости показан на рис. 2.16.

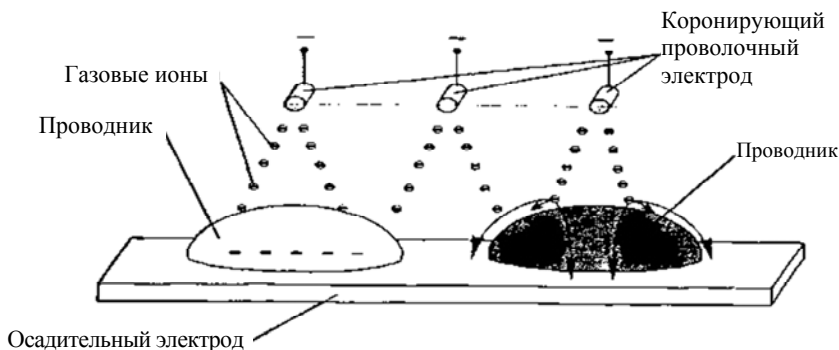


Рис. 2.16. Схема ионизационно-контактной зарядки разделяемых компонентов при электросепарации по электрической проводимости (система электродов «провод–плоскость»)

Для разделения по проводимости наиболее подходят коронные сепараторы барабанного типа. Разделение производится в воздушной среде в неоднородном электрическом поле при постоянной полярности. Поток газовых ионов из короны направлен в сторону барабана. Высоковольтные установки рассчитаны на напряжение 30–60 кВ. Конструкции электросепараторов выполняют обычно таким образом, чтобы разделение компонентов осуществлялось после их выхода из зоны действия коронирующих электродов.

На рис. 2.17 показана схема коронного барабанного сепаратора, представляющего собой вращающийся (с регулируемой скоростью) металлический заземленный барабан 2 диаметром 150–350 мм при длине 0,8–3 м и остроконечный коронирующий электрод 3, на который подается высокое напряжение отрицательного знака. Частота вращения барабана – от 30 до 500 мин⁻¹. Разделение материалов

в сепараторе происходит за счет различия в зарядах частиц в результате их бомбардировки газовыми ионами (компоненты заряжаются в зоне *ab*, где приобретают одноименные электрические заряды) с одновременной разрядкой при соприкосновении с заземленным электродом в зоне *bc*; различие в величинах и знаках зарядов, пропорциональное проводимости компонентов, создается за счет различной кинетики процесса разрядки проводников и непроводников через заземленный барабан. Непроводящие компоненты за счет остаточного заряда удерживаются на поверхности барабана, поднимаются до точки *e* и снимаются с помощью щеток *4*, попадая в отсек бункера НР. Проводящие компоненты быстро разряжаются, приобретают заряд, одноименный с зарядом барабана, отталкиваются от него на участке *cd* и попадают в отсек бункера ПР. Полупроводники и часть других компонентов попадают в отсек приемника ПП.

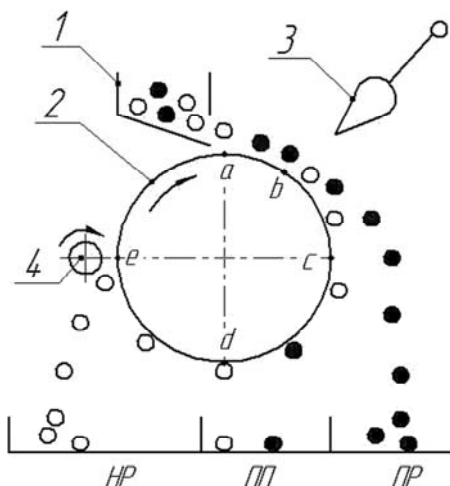


Рис. 2.17. Схема коронного барабанного электросепаратора:

● – проводник; ○ – непроводник;

1 – бункер; 2 – заземленный барабан; 3 – коронирующий остроконечный электрод;
4 – устройство для съема разделяемых компонентов

Компонент, находящийся на поверхности вращающегося электрода барабанного типа, испытывает действие механических сил: силы тяжести (может способствовать либо удерживанию компонента на поверхности электрода, либо его отрыву); силы адгезии (при-

липания) компонента к электроду, наиболее характерной для тонкозернистого материала и всегда направленной к электроду; центробежной силы, стремящейся оторвать компонент при вращении электрода; электрических сил (могут быть притягивающими к электроду и отталкивающими), обусловленных избыточным зарядом и поляризацией компонентов (под влиянием электрического поля у непроводников возникают поверхностные поляризационные заряды). Соотношение сил определяется, при прочих равных условиях, природой компонентов, их крупностью и ориентацией поверхности электрода.

На рис. 2.18 показана запатентованная в ФРГ установка для электросепарации полимерной пленки и бумаги.

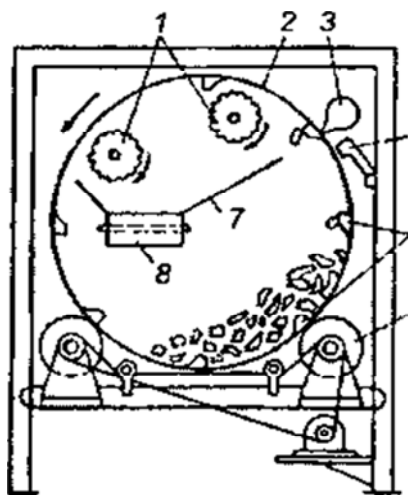


Рис. 2.18. Схема установки для электросепарации полимерной пленки и бумаги с использованием способа контактной электризации (электризатор – горизонтальный вращающийся барабан):

1 – щетки (съемники пленки); 2 – вращающийся барабан; 3 – система воздушного охлаждения щеток; 4 – щетки (создание электростатического поля); 5 – колодки; 6 – ролики; 7 – желоб конвейера; 8 – конвейер (сбор и удаление пленки)

Установка представляет собой барабан 2, вращающийся на роликах 6, внутри которого установлен конвейер 8 для сбора и удаления пленки. Материал, поступающий в барабан, удерживается в процессе вращения на его внутренних стенках с помощью колодок 5.

Подготовленный к сортировке материал попадает в электростатическое поле, созданное щетками 4. В результате контактной электризации пленка удерживается электрическими силами на внутренней поверхности барабана, снимается щетками 1, вращающимися в сторону, противоположную вращению барабана, и попадает на конвейер 8 с бортами 7. Бумага удаляется с противоположного конца барабана. Установка снабжена системой воздушного охлаждения щеток 3.

Сепарация по цвету

Для сортирования смесей по цвету применяют фотоэлектронные сепараторы. Они впитали в себя новейшие достижения электроники и микропроцессорной техники и являются наиболее сложными и дорогостоящими машинами, применяемыми для сепарирования. Разделение смесей в фотоэлектронных сепараторах проводится при помощи фотоэлементов (экранированием). Ведущими производителями являются фирмы «Buhler» и «Sortex» (Швейцария), «Sataki» (Япония), к серийному выпуску фотоэлектронных сепараторов собственных конструкций приступили предприятия «Воронежсельмаш» (Россия) и «Daewon» (Южная Корея).

При работе фотоэлектронного сепаратора (рис. 2.19) частицы смеси, сепарируемой по цвету, подаются специальным устройством поштучно в зону контроля, где происходит освещение каждой частицы при помощи ламп переднего и заднего фонов. Инфракрасные камеры улавливают отраженный частицей световой импульс, а электронная система сравнивает его с эталонным, соответствующим импульсу доброкачественной частицы. При совпадении величин импульсов частица свободно поступает на лоток для очищенного продукта и удаляется из сепаратора. При заметном отклонении импульсов частица направляется в емкость для примесей посредством кратковременного воздействия на нее струей воздуха, создаваемой эжектором.

По этому принципу работают фотоэлектронные сепараторы, выпускаемые фирмами всех стран; отличия в конструкциях заключаются в использовании различных механизмов поштучной подачи частиц в зону контроля.



Рис. 2.19. Принципиальная схема работы фотоэлектронного сепаратора

Специальные методы сепарации

Специальные методы сепарации применяются для выделения из ТБО компонентов, затрудняющих реализацию тех или иных технологических операций обогащения отходов. В частности, в присутствии текстильных и крупных пленочных компонентов существенно усложняется операция грохочения исходных ТБО, применяемая для удаления из потока отходов крупнокусковых компонентов.

Несмотря на то, что грохочение проводится по достаточно крупному классу (как правило, 250 или 300 мм), отверстия барабанных грохотов, как показала практика, забиваются текстильными и пленочными компонентами, и аппараты перестают функционировать как сортирующие устройства. Эти же компоненты затрудняют работу аэросепараторов. Кроме того, текстильные компоненты оказывают негативное влияние на технологический процесс дальнейшей переработки, например, при ферментации в биобарабанах (образование пробок из текстиля, хотя диаметр барабана составляет 4 м).

В этой связи технологическая задача своевременного выделения из потока компонентов, затрудняющих их сепарацию и дальнейшую переработку, весьма актуальна.

Методы извлечения из потока отходов волокнистых и пленочных компонентов основаны на использовании свойства таких компонентов фиксироваться на рабочих элементах специальных сепараторов.

Из различных типов сепараторов-текстилеотделителей наиболее перспективны аппараты с захватывающими элементами (крючья, штыри, штифты и т. п.).

На рис. 2.20 показана установка фирмы Сорайн Чеккини для выделения из ТБО текстильных компонентов, работа которой основана на прочесывании движущихся по конвейеру 8 отходов 1 с помощью вращающегося барабана 2 с крючьями 3 (направление движения конвейера и вращения барабана совпадают). Загнутые крючья вращающегося барабана погружаются в транспортируемые конвейером ТБО, захватывают текстильные и пленочные компоненты, поднимают их к отверстию всасывающей трубы 4, по которой отходы транспортируются в циклон (разрежение создается с помощью вентилятора 5) с разгрузочным питателем 7. Отработанный воздух подвергается фильтрованию.

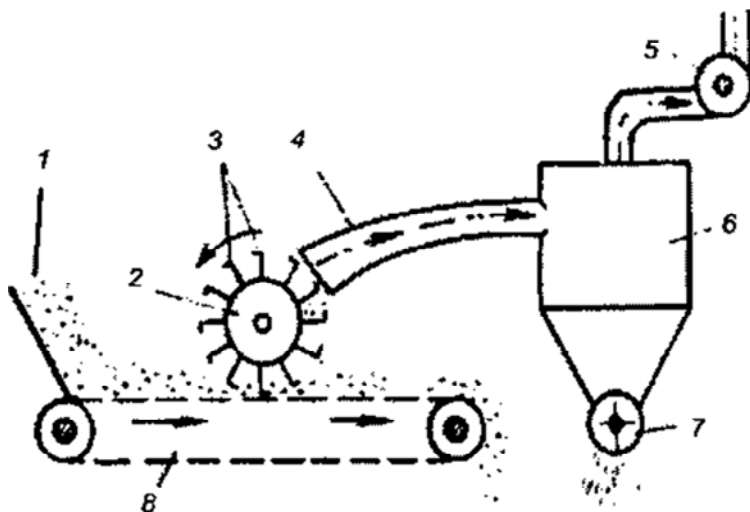


Рис. 2.20. Установка для выделения из ТБО текстильных и пленочных компонентов с использованием вращающегося барабана с крючьями:
1 – отходы; 2 – барабан; 3 – крючья барабана; 4 – труба; 5 – вентилятор;
6 – циклон; 7 – питатель

2.3. Агрегатирование

Наряду с методами уменьшения размеров кусковых материалов и их разделения на классы по крупности при переработке тары и упаковки 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 подготовке к переплаву мелкокусковых и дисперсных отходов черных и цветных металлов, в процессах утилизации пластмасс, древесной мелочи и во многих других процессах утилизации и переработки вторичных материальных ресурсов.

Агрегатирование в зависимости от формы получаемого продукта можно разделить на три вида:

- гранулирование;
- брикетирование;
- таблетирование.

При переработке тары и упаковки наиболее часто применяют первые два вида.

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

Гранулирование порошкообразных материалов наиболее часто проводят в прессах-грануляторах. Производительность этих аппаратов и характеристики получаемых гранул зависят от свойств исходных материалов, а также от технологических параметров (расхода порошков и связующих, температурного режима, частоты вращения, коэффициента заполнения аппарата) и конструктивных факторов (геометрических размеров аппарата, угла наклона и др.).

Основные схемы прессующих механизмов грануляторов, работающих по принципу окатывания, изготавливаемых промышленностью в настоящее время, представлены на рис. 2.21.

Рабочий орган прессующего механизма, имеющий фильеры, обычно называют матрицей. Матрица *1* представляет собой толстостенное перфорированное радиальными фильерами кольцо (рис. 2.21, а)

или диск, в котором оси фильер параллельны оси диска (рис. 2.21, б). На схемах, изображенных на рис. 2.21, давление в продукте создается при взаимодействии матрицы с другим рабочим органом – прессующим роликом 2. Матрица и ролики соединяются в механизм водилом 3 так, что прессующие ролики перекатываются по рабочей поверхности матрицы.

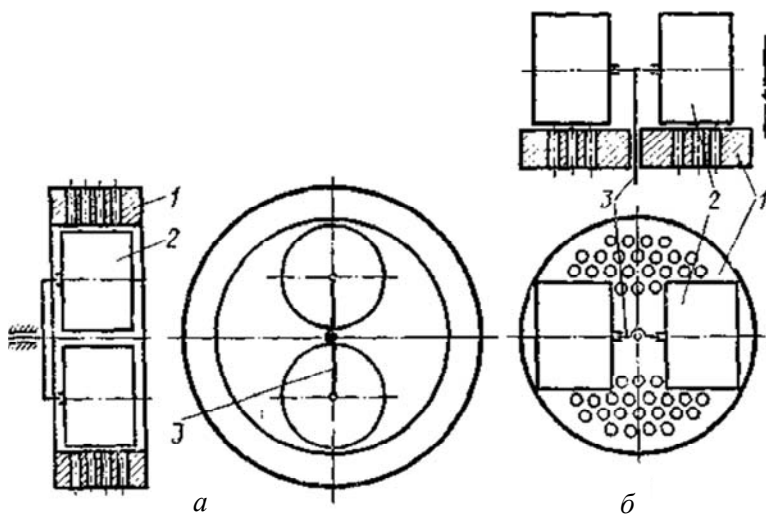


Рис. 2.21. Схемы прессующих механизмов для гранулирования кормов:
а – с кольцевой матрицей и прессующими роликами; *б* – с плоской матрицей
 в виде диска и цилиндрическими прессующими роликами;
 1 – матрица; 2 – прессующий ролик; 3 – водило

Цилиндрическая наружная поверхность прессующего ролика имеет рифление, нанесенное параллельно оси вращения ролика, или густую перфорацию несквозными цилиндрическими отверстиями. Неровности поверхности предназначены для лучшего сцепления прессующего ролика с продуктом. Ролики устанавливают таким образом, чтобы зазор между рабочими органами был минимальный.

Во время работы гранулятора рассыпной материал непрерывно подают на рабочую поверхность матрицы. Прессующий ролик перекатывается по слою материала, сжимает его, а затем проталкивает в фильеры матрицы. Следующий прессующий ролик проталкивает в фильеры новую порцию, вызывая движение спрессованного продукта к выходу

из фильеры. Таким образом, при непрерывном процессе перемещения прессующих роликов по поверхности матрицы движение продукта в каждой фильере происходит периодически – только в момент прохода прессующего ролика над входным отверстием фильеры. За один проход прессующего ролика гранула из выходного отверстия фильеры выдвигается на длину до нескольких миллиметров.

В прессующих механизмах, составленных по схеме, изображенной на рис. 2.21, *а*, одно из звеньев – кольцевая матрица *1* или водило *3* – закреплено неподвижно. Одно из подвижных звеньев прессующего механизма связано с электродвигателем привода.

Обычно такие механизмы имеют от одного до трех прессующих роликов. Механизмы с одним прессующим роликом применяют в прессах малой мощности, главным образом лабораторных, так как при одном ролике с увеличением мощности возникают значительные изгибающие усилия, передаваемые на валы привода матрицы и водила. При соосности матрицы и водила и наличии двух или трех осесимметрично расположенных прессующих роликов изгибающие усилия от роликов уравниваются друг друга, поэтому валы привода матрицы и водила освобождаются от изгибающих моментов.

Прессующие механизмы с плоской матрицей (см. рис. 2.21, *б*) имеют, как правило, закрепленную матрицу *1* и ведущее водило *3*, на котором установлено от двух до пяти прессующих роликов *2*.

Принципы прессового гранулирования реализуют также в червячных прессах (экструдерах, рис. 2.22) различной конструкции, рабочими элементами которых являются червяки (шнеки), пластицирующие перерабатываемый материал и продавливающие его через фильерную решетку, по выходе из которой сформированные жгуты либо ломаются под действием собственной тяжести, либо их режут до или после охлаждения дисковым или гильотинным ножом на частицы заданной длины. Червячные экструдеры широко используются для гранулирования пластмасс.

При утилизации тары и упаковки с целью создания условий для транспортировки, хранения, а часто и самой возможности переработки или с целью изготовления товарной продукции широко используют брикетирование.

Брикетирование дисперсных материалов проводят без связующего – при давлении прессования, превышающем 80 МПа, и со связующим – при давлении, обычно составляющем 15–25 МПа. На процесс

брикетирования дисперсных материалов существенно влияют состав, влажность и крупность материала, температура, удельное давление и продолжительность прессования. Необходимое удельное давление прессования обычно находится в обратной зависимости от влажности материала. Перед брикетированием материал обычно подвергают грохочению, дроблению, сушке, охлаждению и другим подготовительным операциям.

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

Принцип действия штемпельного прессы для получения брикетов больших поперечных размеров повышенной плотности. Брикет прессуют в длинном канале, открытом с обеих сторон, пуансоном, совершающим возвратно-поступательное движение (см. рис. 2.22).

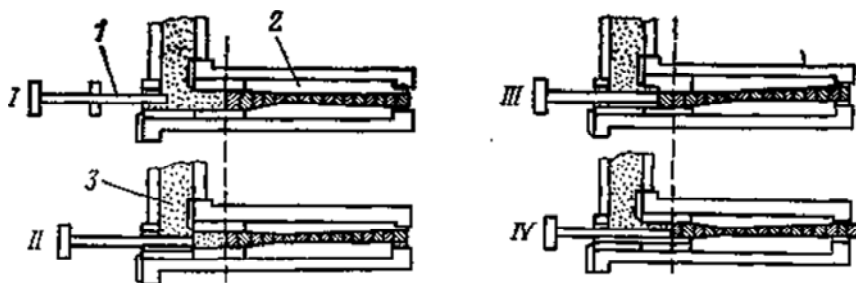


Рис. 2.22. Схема процесса прессования в штемпельном прессы:
 1 – пуансон; 2 – плита; 3 – загрузочное отверстие;
 I, II, III, IV – положения пуансона

В исходном положении I пуансона 1 продукт подают сверху в канал, образованный плитами 2. Этот канал называют формовочным. При перемещении пуансона в положение II последний перекрывает загрузочное отверстие 3 и проталкивает продукт в формовочный канал. В положении III происходит уплотнение продукта и образование брикета. В положении IV пуансон проталкивает всю находящуюся перед ним массу на расстояние, равное величине хода пуансона. При обратном ходе пуансон открывает загрузочное

отверстие 3, перемещается в исходное положение, и дальше весь цикл повторяется в той же последовательности.

Для преодоления сопротивлений продукта прессы этого типа должны развивать высокое давление, а также обеспечивать выдержку брикетов в течение некоторого времени под давлением. Штемпельные прессы при брикетировании опилок развивают давление до 80 МПа.

2.4. Смешивание

Смешение широко используется при переработке тары и упаковки с целью диспергирования материалов друг в друге, получения гомогенной композиции, изменения физического состояния материалов, ускорения химических и физико-химических процессов. Различают смешение в жидкой фазе, когда по крайней мере один из перемешиваемых материалов является жидкостью; смешение в вязкотекучем состоянии, когда хотя бы один из материалов является вязкой жидкостью или расплавом, и смешение в твердой фазе, когда смешиваемые материалы являются сыпучими порошками.

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

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

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

Области их применения и некоторые характеристики приведены в табл. 2.3.

Таблица 2.3

Некоторые характеристики смесителей для жидкостей

Показатели	Виды мешалок				
	Лопастные ¹	Пропеллерные ²	Якорные ²	Рамные ³	Турбинные открытого типа ³
Вязкость перемешиваемых материалов, Па·с ⁻¹	0,1–50	0,001–10	0,1–5	1–100	0,001–5
Объем аппарата, м ³	1–50	1–50	1–10	1–50	1–50
Максимальная окружная скорость мешалки, м/с	1,5–5,0	3,8–16,0	0,5–4,0	0,8–7,0	2,5–10,0
Диаметр мешалки, мм	700–2650	300–1000	800–2800	800–2800	300–1000
Скорость вращения, с ⁻¹	0,11–1,5	2,0–16,7	0,3–0,97	0,3–0,97	2,0–10,5
Мощность, кВт	0,01–17,8	0,04–56,8	0,01–26,6	0,01–63,8	0,06–93,8

1. Для смешивания жидкостей, растворения твердых веществ в жидкостях, кристаллизации, выравнивания температуры жидкости.

2. Для смешивания жидкостей, выравнивания температуры смеси.

3. Для смешивания вязких жидкостей, диспергирования твердых частиц в вязких жидкостях.

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

Для смешения и усреднения сыпучих материалов с крупностью частиц до 5 мм и насыпной плотностью не более 1,3 г/см используют планетарно-шнековые смесители периодического действия, представляющие собой коническую смесительную камеру с расположенными в ней двумя шнеками (рис. 2.23).

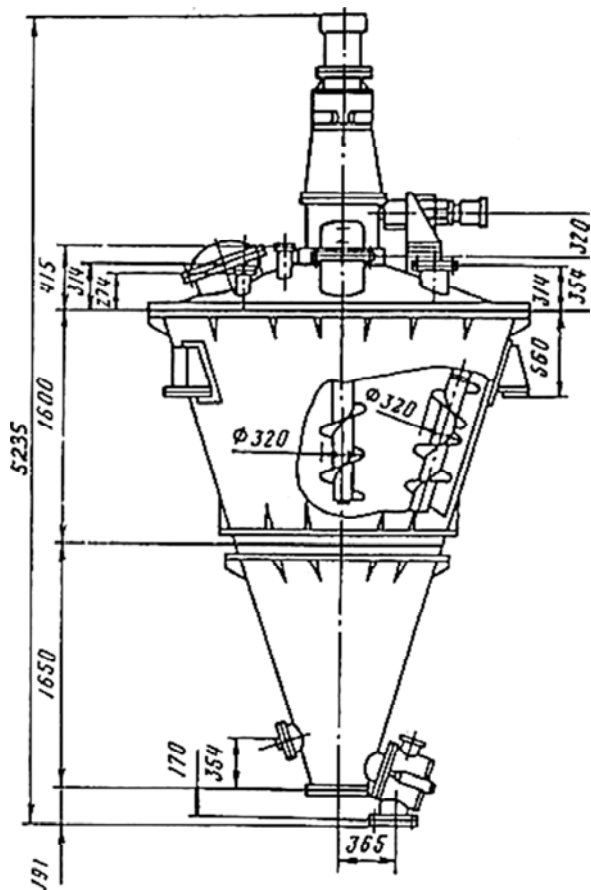


Рис. 2.23. Смеситель планетарно-шнековый ПШ-630ВБК
во взрывобезопасном исполнении

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

Для непрерывного процесса смешения сыпучих материалов с насыпной плотностью до 1,5 г/см³ удобен центробежный смеситель НДЦ-25 ВБК-01, состоящий из корпуса с крышкой, ротора, питающей тарели, разгрузочной лопасти и неподвижного направляющего конуса, внутри которого установлен шнек (рис. 2.24).

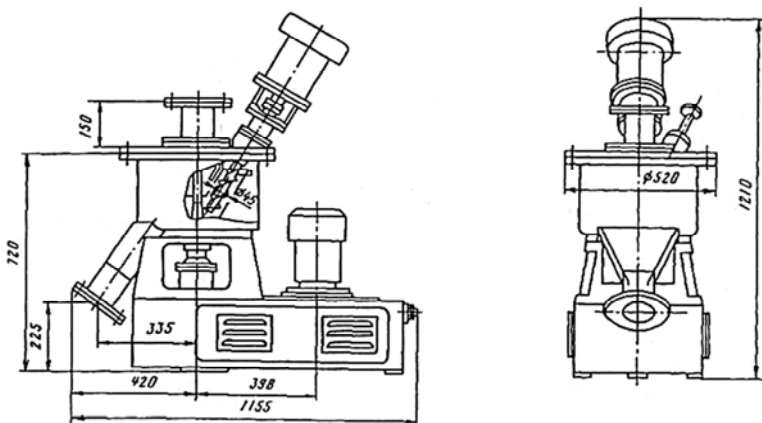


Рис. 2.24. Центробежный смеситель НДЦ-25 ВБК-01

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

Для приготовления липких и высоковязких композиций (с динамической вязкостью от $200 \text{ Па}\cdot\text{с}^{-1}$ до $100 \text{ кПа}\cdot\text{с}^{-1}$) целесообразно использовать смесители периодического действия с Z-образными лопастями типа ЗЛ (рис. 2.25), представляющие собой смесительную камеру, внутри которой расположены два Z-образных ротора, вращающихся в противоположные стороны с различными скоростями.

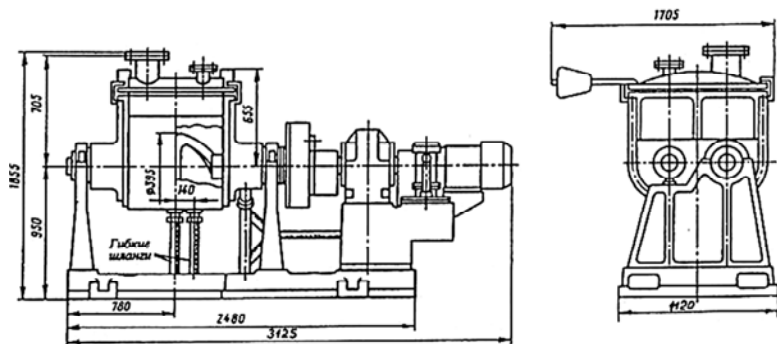


Рис. 2.25. Смеситель периодического действия ЗЛ-250-01

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

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

Барботажное перемешивание целесообразно при необходимости интенсифицировать насыщение жидкости кислородом, в частности, оно используется при сжигании нефтесодержащих отходов, а также в процессах флотационного разделения суспензий и растворов. Перемешивающими устройствами при барботажном способе смешения являются всевозможные газораспределительные устройства.

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

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

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

2.5. Разделение неоднородных жидких газообразных систем

Разделение жидких неоднородных систем, используемое при переработке тары и упаковки, включает: гравитационное отстаивание под действием силы тяжести в отстойниках и флотаторах, разделение под действием центробежной силы в центрифугах и гидроциклонах, фильтрацию под действием разности давлений через фильтрующую перегородку в различных фильтрах и др.

Принципиальной разницы в механизмах протекания данных процессов в жидкости и газе нет. Конечно, существенные отличия плотностей и вязкостей жидкой и газовой сред приводят к различию скоростей процессов и отличиям в конструкциях оборудования для осуществления процессов разделения.

Основной причиной этих отличий является соотношение силы тяжести частиц и величины сопротивления их перемещению под действием этой силы, оказываемого той или иной средой.

Поэтому здесь будут рассмотрены и процессы разделения частиц отходов в воздушных потоках. Это прежде всего очистка газов от твердых частиц в циклонах и рукавных фильтрах.

Классификация неоднородных жидких и газообразных систем

Под *неоднородной системой* понимают систему, состоящую из различных фаз, например жидкости и твердых частиц, жидкости и газа и т. д. Любая неоднородная система состоит из двух и более фаз. Одна фаза, *дисперсная* или *внутренняя*, находится в мелкодисперсном состоянии; другая фаза, *дисперсионная* или *внешняя*, является сплошной, окружает отдельные частицы дисперсной фазы и представляет собой среду, в которой распределены частицы дисперсной фазы.

В зависимости от физического состояния фаз различают несколько неоднородных жидких и газообразных систем (табл. 2.4).

Таблица 2.4

Виды неоднородных жидких и газообразных систем

Неоднородные системы	Дисперсионная (сплошная) среда	Дисперсная фаза
Суспензия	Жидкость	Твердое вещество
Эмульсия	Жидкость	Жидкость
Пена	Жидкость	Газ
Пыль, дым	Газ	Твердое вещество
Туман	Газ	Жидкость

Все системы, состоящие из жидкой и твердой фаз, называют *суспензиями*. В зависимости от размеров частиц твердого вещества могут быть условно разделены на четыре группы, представленные в табл. 2.5.

Классификация суспензий

Системы	Размер твердых частиц, мкм
Грубые суспензии	> 100
Тонкие суспензии	0,5–100
Мути	0,1–0,5
Коллоидные растворы	< 0,1

Можно считать, что граница между суспензиями (взвесями) и коллоидными растворами определяется появлением броуновского движения твердых частиц. С его возникновением эти частицы не могут осаждаться под действием силы тяжести.

Эмульсии состоят из несмешивающихся жидкостей и могут расслаиваться под действием силы тяжести. Эмульсии приобретают устойчивость лишь при очень незначительных размерах капелек дисперсной фазы (менее 0,4–0,5 мкм) или при добавления стабилизаторов, например мыла. С увеличением концентрации эмульгированного вещества в эмульсиях возможно *обращение фаз*: капельки дисперсной фазы сливаются друг с другом и образуют сплошную фазу, в которой распределяются капельки жидкости, бывшей ранее дисперсионной фазой.

Пены – неоднородные системы, состоящие из жидкой фазы и распределенных в ней пузырьков газов.

Пыли – неоднородные системы, состоящие из газовой фазы и распределенных в ней частиц твердой фазы (размеры частиц твердой фазы от 600 мкм до 5 мкм). Источники пыли: возникает в процессе измельчения продуктов, при смешивании различных сыпучих материалов.

Дымы – неоднородные системы, состоящие из газовой фазы и распределенных в ней частиц твердой фазы (размеры частиц твердой фазы от 5 мкм до 0,5 мкм).

Туманы – неоднородные системы, состоящие из газовой фазы и распределенных в ней капелек жидкой фазы (размеры частиц жидкой фазы от 5 мкм до 0,3 мкм).

Пыли, дымы и туманы представляют собой аэродисперсные системы, так называемые *аэрозоли*.

Взвешенные частицы в газовых системах могут во многих случаях, соединяясь друг с другом, укрупняться – этот эффект называют *агломерацией*.

Способы разделения неоднородных жидких систем

Для выбора способа разделения неоднородных систем необходимо знать: размер частиц дисперсной фазы, разность плотностей частиц и среды, вязкость сплошной среды.

В практике применяются следующие методы разделения неоднородных систем:

- отстаивание;
- фильтрование;
- центрифугирование.

Осаждение – процесс выделения жидких или твердых частиц из газовой или жидкой среды под действием сил тяжести, сил инерции (в том числе центробежных сил) и сил электрического поля.

Осаждение в поле сил тяжести называют *отстаиванием*; его применяют для грубого, предварительного разделения неоднородных систем.

Выделяют также *инерционное, циклонное и электроосаждение*.

Процесс отстаивания осуществляется в аппаратах, которые называют отстойниками или сгустителями.

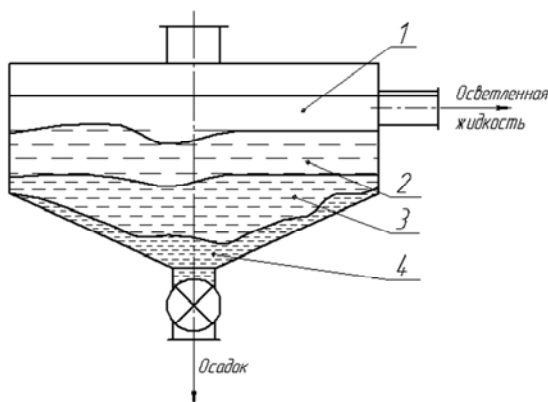


Рис. 2.26. Принципиальная схема отстойника:

- 1 – зона осветленной жидкости; 2 – зона свободного осаждения;
3 – зона сгущенной суспензии; 4 – зона осадка или шлама

Как правило, данные аппараты имеют цилиндроконическую форму.

По принципу действия различают аппараты непрерывного, полунепрерывного и периодического действия.

В аппаратах выделяют несколько зон: зона осветленной жидкости; зона свободного осаждения; зона сгущенной суспензии (в данной зоне происходит стесненное осаждение частиц, т. е. дисперсные частицы взаимодействуют между собой, и скорость осаждения меньше, чем в зоне свободного осаждения); зона осадка или шлама.

Расчет отстойников ведут на осаждение самых мелких частиц неоднородной смеси.

В основе расчета лежит следующий принцип: время пребывания неоднородной системы в отстойнике должно быть большим или равным времени осаждения самой мелкой частицы на дно аппарата.

Производительность отстойника в явном виде не зависит от его высоты, а зависит от площади отстойника в плане. Поэтому отстойники, как правило, имеют большую площадь в плане и сравнительно небольшую высоту.

Фильтрация – процесс разделения неоднородных систем с помощью пористых перегородок, которые пропускают жидкую (газовую) фазу и задерживают твердую. Его применяют для более тонкого разделения неоднородных систем.

Аппараты, в которых протекает процесс фильтрации, называют фильтрами, а их основным элементом является фильтровальная перегородка.

Движущей силой процесса фильтрации является разность давлений до и после фильтровальной перегородки:

Различают следующие виды фильтрации:

- фильтрация с образованием осадка;
- с закупориванием пор;
- промежуточных видов.

В зависимости от того, каким образом создается разность давлений до и после фильтровальной перегородки, выделяют следующие способы фильтрации:

– *фильтрация с постоянной разностью давлений*. В данном случае пространство над суспензией или под фильтровальной перегородкой соединяется соответственно с источником сжатого газа или вакуума, при помощи чего поддерживают постоянную разность давлений. При этом с течением времени скорость фильтрации

уменьшается вследствие увеличения толщины слоя осадка на фильтровальной перегородке, т. е. из-за увеличения его сопротивления;

– *фильтрация с постоянной скоростью фильтрации*. В этом случае суспензия на фильтровальную перегородку подается при помощи поршневого насоса, при этом перепад давления с течением времени возрастает из-за увеличения сопротивления накопившегося осадка за счет роста его толщины. Следует отметить, что производительность поршневого насоса остается постоянной и не зависит от создаваемого им давления;

– *фильтрация с переменными скоростью фильтрации и разностью давлений*. В данном случае суспензию на фильтровальную перегородку передают при помощи центробежных насосов, производительность и давление которых зависит как от характеристик самого насоса, так и сети.

Наибольшее распространение в промышленности нашел способ фильтрации при постоянной разности давлений и вид фильтрации с образованием осадка.

От правильного выбора фильтровальной перегородки зависит производительность фильтра и качество получаемого фильтрата.

Рассмотрим, каким образом производится выбор фильтровальной перегородки.

Изначально выбирают несколько видов фильтровальных перегородок. Выбор основывают на анализе размеров частиц фильтруемой суспензии и размеров пор перегородок. Окончательный выбор осуществляют только после экспериментальных исследований и промышленных испытаний.

Фильтровальные перегородки могут изготавливаться как из органических, так и из неорганических материалов: металлические, тканевые, стеклянные, из нетканых материалов, полимерных материалов и др.

Фильтровальные перегородки разделяют на поверхностные и глубинные.

Поверхностные перегородки – те, на которых частицы твердой фазы при разделении суспензии задерживаются на поверхности и не проникают внутрь перегородки.

Глубинные перегородки – внутрь которых проникают частицы твердой фазы и там задерживаются, при этом на поверхности перегородки не образуется слой осадка.

По принципу действия фильтры делятся на аппараты непрерывного и периодического действия.

В фильтрах периодического действия можно организовать любой процесс фильтрования. В фильтрах непрерывного действия обычно осуществляют фильтрование при постоянной разнице давлений. Фильтры могут работать под вакуумом и под давлением: последние более металлоемкие.

Центрифугирование – процесс разделения суспензий и эмульсий под действием центробежных сил. Может быть реализован в центрифугах и гидроциклонах.

Выделяют центрифуги отстойные (рис. 2.27) и фильтрующие (рис. 2.28).

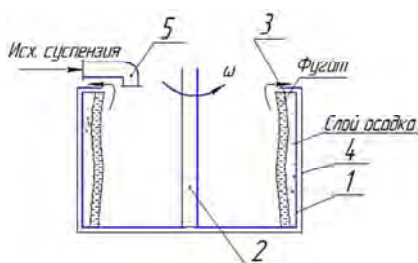


Рис. 2.27. Схема отстойной центрифуги:
1 – ротор со сплошной боковой стенкой;
2 – вал; 3 – переливной порог;
4 – неподвижный корпус; 5 – патрубок для подачи суспензии

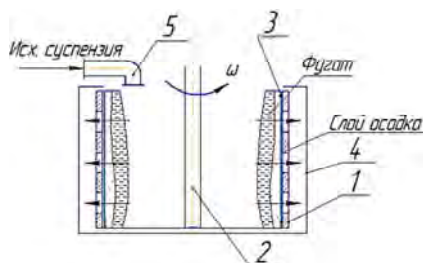


Рис. 2.28. Схема фильтровальной центрифуги:
1 – перфорированный ротор;
2 – вал; 3 – фильтровальная ткань;
4 – неподвижный корпус; 5 – патрубок для подачи суспензии

Частота оборотов ротора центрифуг составляет 3000–6000 об/мин.

В отстойных центрифугах реализуется процесс отстаивания, с той лишь разницей, что действие сил тяжести заменено на действие центробежных сил.

В фильтрующих центрифугах реализуется процесс фильтрования, а разность давлений создается центробежными силами.

Процесс разделения эмульсий в отстойных центрифугах называют сепарацией, а аппараты – сепараторами.

Скорость осаждения частиц в отстойных центрифугах увеличивается при увеличении диаметра и плотности частиц, частоты

вращения и радиуса ротора и уменьшается с увеличением вязкости и плотности среды.

Фактором разделения называют величину, показывающую отношение центробежного ускорения к ускорению силы тяжести. Он показывает во сколько раз эффект разделения в центробежном поле больше, чем в поле сил тяжести. В зависимости от фактора разделения центрифуги делятся на нормальные (фактора разделения менее 3500) и сверхцентрифуги (свыше 3500).

Большое распространение в промышленности нашли центрифуги постоянного действия с непрерывной выгрузкой осадка типа ОГШ.

Очистка газов

Очистка газов также широко используется при утилизации отходов. При создании оборудования для аэродинамического разделения фаз используются гравитационный, центробежный, инерционный механизмы, фильтрование, электроосаждение и др.

К устройствам, использующим гравитационный механизм, относятся пылевые камеры, в которых частицы пыли осаждаются из медленно движущегося газового потока. Они находят применение в основном для улавливания грубых фракций с размером частиц более 500 мкм.

К устройствам, в которых используется центробежный механизм, относят циклоны и центробежные скрубберы. Эффективность пылевыделения в центробежных очистителях газов зависит от диаметра аппарата: чем он меньше, тем выше эффективность. Принцип работы циклона понятен из схемы, приведенной на рис. 2.29.

Выделение твердых частиц в циклоне происходит за счет центробежных сил, возникающих при вращении газового потока вдоль стенки аппарата. С этой целью очищенный газ вводится в корпус циклона тангенциально к его поверхности либо закручивается внутри него с помощью винтообразной крышки 3. Оседающая на стенке пыль накапливается в бункере 7 и по мере необходимости выгружается из него с помощью пылевого затвора.

Циклоны бывают одиночные, групповые и батарейные. Применяют циклоны чаще для очистки газов от крупных и средних твердых частиц.

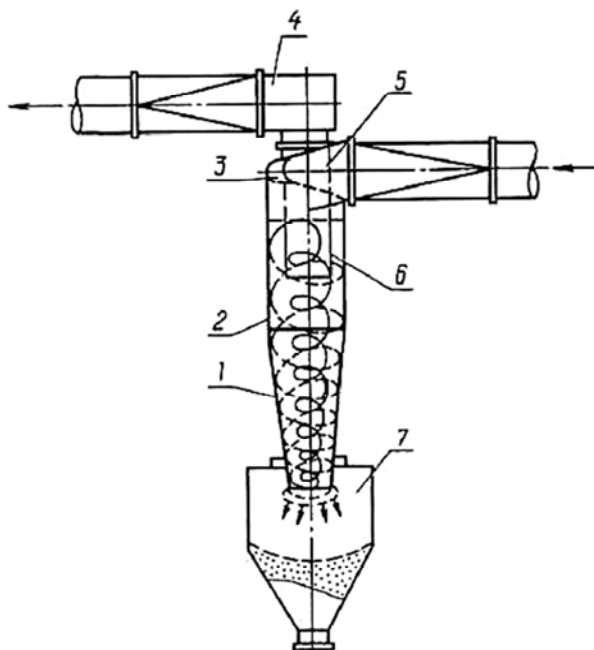


Рис. 2.29. Схема работы циклона:

1 – коническая часть корпуса; 2 – цилиндрическая часть корпуса;
 3 – винтообразная крышка; 4 – камера очищенного газа; 5 – входной патрубок
 для запыленного газа; 6 – выхлопная труба очищенного газа; 7 – пылевой бункер

К устройствам, использующим инерционный механизм, относятся текстильные и зернистые фильтры, скрубберы с насадками, жалюзийные пылеуловители и некоторые другие аппараты. Для очистки дымовых газов очень широко используются рукавные фильтры, в которых выделение твердых частиц происходит на волокнах фильтровального материала. При этом твердые частицы образуют слой пыли не только на волокнах, но и между ними, т. е. в порах материала.

По мере накопления пыли на поверхности фильтровального материала его фильтрующая способность уменьшается, и он регенерируется. Регенерация фильтровального материала производится обратной продувкой рукава очищенным газом или встряхиванием. Рукавные фильтры с фильтрующим элементом в виде рукава из текстильного материала широко используются для очистки дымовых

и аспирационных газов. Применяемые текстильные материалы могут быть ткаными или неткаными, из натуральных и синтетических волокон. На рис. 2.30 показано устройство широко распространенного рукавного, каркасного, импульсного фильтра ФРКИ.

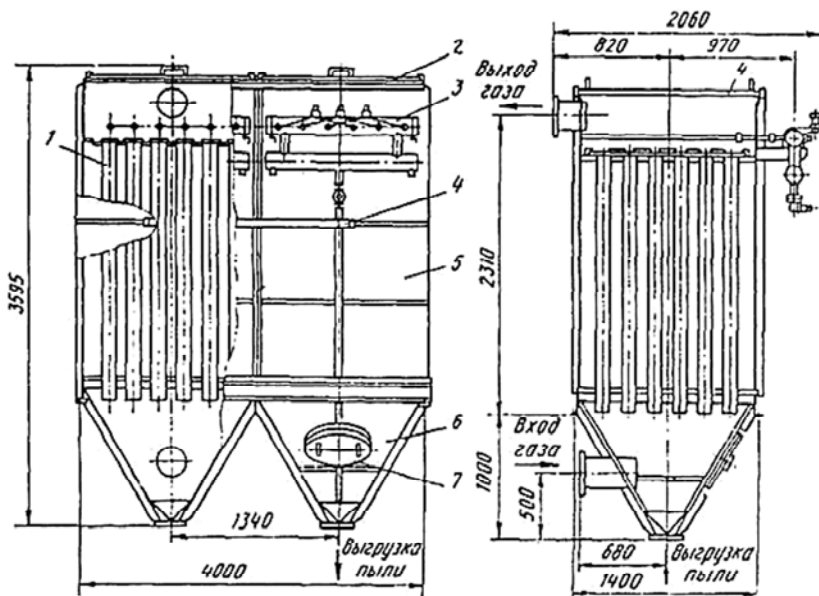


Рис. 2.30. Конструкция рукавного фильтра типа ФРКИ:
 1 – рукав; 2 – крышка; 3 – клапанная секция; 4 – коллектор;
 5 – корпус; 6 – бункер; 7 – люк

К инерционным очистителям относятся и скрубберы различных конструкций, в которых используется столкновение твердых частиц с водой, подаваемой в аппарат в виде капель. Скрубберы позволяют извлекать из газового потока частицы размером 3–5 мкм, а в скрубберах Вентури происходит отделение и более мелких частиц. На рис. 2.31 показано устройство полого форсуночного скруббера.

Очистка воздуха в таком скруббере производится с помощью мельчайших капелек жидкости, подаваемой в корпус 1 через форсунки 2. Загрязняющие частицы захватываются каплями жидкости и выводятся через нижний штуцер.

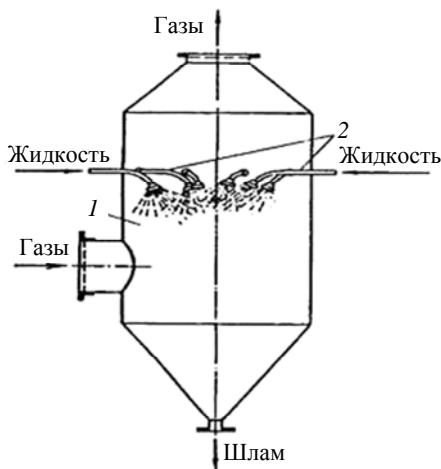


Рис. 2.31. Полый форсуночный скруббер:
1 – корпус; 2 – форсунки

2.6. Теплообменные процессы

Теплообменные процессы широко используются при различных способах утилизации тары и упаковки, реализуются с помощью аппаратов, выполняющих функции нагревателей, охладителей, кипятильников, испарителей, конденсаторов и т. п. Они лежат в основе работы не только нагревателей и охладителей, но и сушильных, ректификационных, сорбционно-десорбционных, выпарных, экстракционных и других установок.

Теплообмен – процесс переноса теплоты между телами, имеющими различную температуру.

Движущей силой тепловых процессов является *разность температур*.

Тела, которые участвуют в процессе теплообмена, называют *теплоносителями*. Тело с более высокой температурой называют *горячим теплоносителем*, а с меньшей – *холодным теплоносителем*.

В природе существует три способа переноса теплоты:

- теплопроводность;
- конвекция;
- тепловое излучение.

Теплопроводностью называют процесс переноса теплоты за счет теплового беспорядочного движения микрочастиц; этот перенос происходит внутри твердых тел.

Конвекция – процесс переноса теплоты за счет движения и перемешивания достаточно крупных объемов газа или жидкости. Выделяют *свободную* и *вынужденную* конвекцию.

Движущей силой свободной конвекции является разность плотностей, которая вызвана разностью температур.

Тепловое излучение – процесс переноса энергии в виде электромагнитных волн. В этом случае тепловая энергия превращается в лучистую, которая проходит через пространство, и затем снова превращается в тепловую при поглощении ее другим телом.

Перечисленные виды передачи теплоты редко встречаются в чистом виде. В промышленности, как правило, теплота переносится комбинированным путем.

В промышленной практики основными способами передачи теплоты являются теплоотдача и теплопередача.

Теплоотдача – процесс переноса теплоты от теплоносителя к стенке или наоборот.

Теплопередача – процесс переноса теплоты от горячего теплоносителя к холодному через разделяющую их стенку.

Теплообменные процессы осуществляются с помощью теплоносителей, которые аккумулируют тепло источника и отдают его в теплообменных аппаратах. Теплоносители имеют ограниченные температурные диапазоны применения.

При выборе теплоносителей учитывают их стоимость, возможность безопасной работы, интенсивность теплообмена, который они обеспечивают, коррозионную активность и другие факторы. Основными теплоносителями являются вода, водяной пар и топочные газы; в ряде случаев для этих целей используют высококипящие жидкости, расплавы солей, металлов и другие вещества. Некоторые процессы осуществляются с использованием электронагрева.

Горячую воду используют для нагрева до 100 °С. Перегретый пар легко обеспечивает нагрев до 200 °С и выше, однако такая температура достигается при давлении пара около 2 МПа. Высококипящие жидкости можно использовать при необходимости нагрева до 400 °С. Еще больший нагрев (до 550 °С) обеспечивают расплавы солей, но

их применение требует высокой герметичности оборудования и защиты последнего инертным газом.

Расплавы металлов и сплавов могут использоваться при температурах 300–800 °С. В качестве теплоносителей применяют литий, натрий, калий, ртуть, свинец и ряд сплавов. Использование расплавов металлов, так же как и расплавов солей, требует специального защищенного инертным газом и тщательно герметизированного оборудования.

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

Помимо нагревания при переработке отходов часто используется охлаждение. Наиболее распространены в качестве охлаждающих агентов вода и воздух. Вода позволяет охлаждать до температуры не ниже 4 °С (артезианская вода), а лед – до 0 °С. Более низкую температуру обеспечивают смеси льда с солями. Для создания низких температур в промышленности используют холодильные установки, работающие с применением различных хладагентов. Более глубокое криогенное охлаждение реализуется с помощью жидких газов. В частности, жидкий азот имеет температуру –195,8 °С.

К теплообменным аппаратам относятся любые установки, в которых происходит теплообмен между двумя и более средами: подогреватели, испарители, конденсаторы, паровые котлы, кипяильники, скрубберы и др.

По способу передачи тепла различают следующие типы теплообменных аппаратов:

– *поверхностные (рекуперативные)*, в которых оба теплоносителя разделены стенкой, причем тепло передается через поверхность этой стенки;

– *регенеративные*, в которых процесс передачи тепла от горячего теплоносителя к холодному разделяется по времени на два периода: сначала горячий теплоноситель нагревает стенку, а затем по его пути направляют холодный теплоноситель, и она отдает накопленную на первом этапе теплоту, затем цикл повторяется;

– *смесительные*, в которых теплообмен происходит при непосредственном соприкосновении теплоносителей.

Наибольшее распространение получили поверхностные теплообменники: кожухотрубные, теплообменники «труба в трубе», пластинчатые; спиральные и т. д.

Кожухотрубные теплообменники. Этот тип теплообменников является одним из наиболее распространенных. Они состоят из пучка труб, концы которых закреплены в специальных трубных решетках путем развальцовки, сварки, пайки, а иногда на сальниках. Пучок труб расположен внутри общего кожуха, причем один из теплоносителей (I) движется по трубам, а другой (II) – в пространстве между кожухом и трубами (межтрубное пространство). На рис. 2.32, *а* показан одноходовой теплообменник, в котором теплоноситель движется параллельно по всем трубам. Многоходовые теплообменники (рис. 2.32, *б*), работающие при смешанном токе теплоносителей, применяют для повышения скорости их движения в трубах.

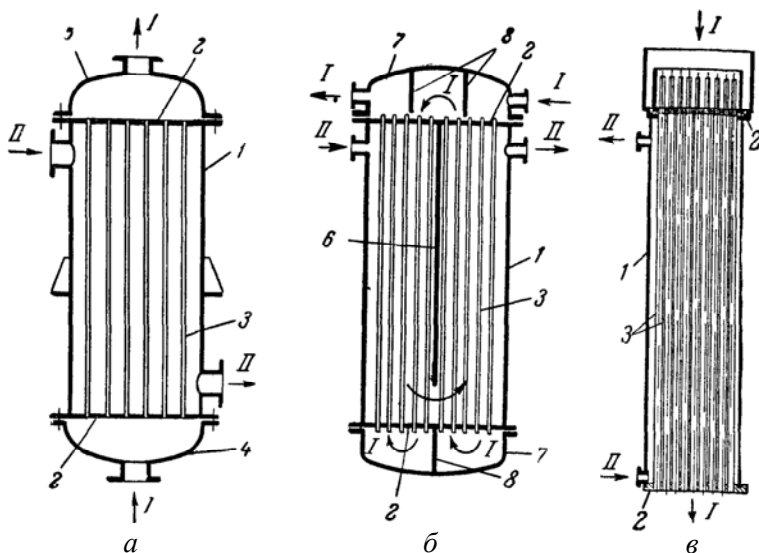


Рис. 2.32. Кожухотрубные теплообменники с неподвижными трубными решетками:
а – одноходовой; *б* – многоходовой; *в* – пленочный;
 1 – кожух; 2 – трубная решетка; 3 – трубы; 4 – входная камера; 5 – выходная камера;
 6 – продольная перегородка; 7 – камера; 8 – перегородки в камерах

На рис. 2.32, *в* показан теплообменник пленочного типа (вертикально-оросительный), в котором жидкий теплоноситель не запол-

няет всего сечения труб, а стекает пленкой по внутренней поверхности вертикальных труб. Жидкость направляется к поверхности труб специальными устройствами.

Пластинчатые теплообменники имеют плоские поверхности теплообмена. Обычно они состоят из ряда параллельных пластин, изготовленных из тонких металлических листов. Каналы между пластинами сгруппированы в две системы: по одной системе каналов движется горячий теплоноситель, по другой – холодный. Эти теплообменники весьма компактны, что обеспечивает (при соответствующем выборе расстояний между пластинами) пропускание обоих теплоносителей со значительными скоростями и приводит к достижению высоких коэффициентов теплопередачи.

Будучи ограничены плоскими стенками, пластинчатые теплообменники не выдерживают значительных давлений; в них трудно обеспечить достаточную герметичность для предотвращения смешения теплоносителей.

Спиральные теплообменники (рис. 2.33) состоят из двух спиральных каналов прямоугольного сечения, по которым движутся теплоносители I и II. Каналы образуются тонкими металлическими листами 1 и 2, которые служат поверхностью теплообмена. Внутренние концы спиралей соединены разделительной перегородкой 3. Для придания спиральям жесткости и фиксирования расстояния между ними служат прокладки. Система каналов закрыта с торцов крышками 4.

При выборе теплообменных аппаратов учитывают тепловую нагрузку, температуру процесса, физико-химические свойства рабочих сред, условия теплообмена, материалы, из которых они изготовлены, стоимость аппарата и эксплуатационные расходы, простоту конструкции, возможность ремонта и другие факторы.

При организации теплообменных процессов целесообразно использовать вторичные энергоресурсы, образующиеся в технологических процессах. Рациональное использование вторичных энергоресурсов снижает эксплуатационные затраты на топливо и уменьшает загрязнение окружающей среды.

При расчете теплообменных систем исходят из уравнения теплового баланса, предполагающего, что количество тепла, отдаваемого теплоносителем, равно количеству тепла, полученного нагреваемой средой.

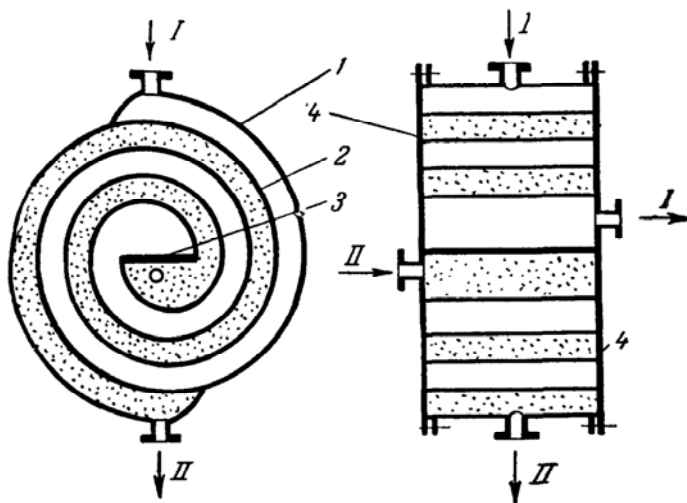


Рис. 2.33. Горизонтальный спиральный теплообменник:
 1, 2 – листы; 3 – разделительная перегородка; 4 – крышки

2.7. Массообменные процессы

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

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

Классификация и назначение массообменных процессов

Абсорбция – процесс поглощения компонента газа или пара из газовой или паровой смеси жидким поглотителем. Широко применяется для очистки дымовых и аспирационных газов, выделения из газовых смесей ценных компонентов и для других целей. Работоспо-

способность абсорбента определяется растворимостью в нем того или иного газа, которая зависит от физических и химических свойств газа и абсорбента, температуры и давления газа.

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

К поверхностным абсорберам относится наиболее часто используемый насадочный колонный аппарат с рабочими элементами в виде насадок (широко известны, например, насадочные кольца Рашига), на поверхности которых удерживается жидкий абсорбент в виде тонкой пленки.

Абсорбция в тарельчатых колонных аппаратах происходит в слоях жидкости на тарелках, через которую барботирует газ.

Жидкость, используемая в качестве абсорбента, после насыщения подлежит регенерации с помощью десорбции. Процесс десорбции состоит в очистке жидкости от поглощенного вещества с помощью дистилляции, нагревания, снижения давления и другими способами. Десорбция может проводиться в аппаратах, аналогичных по конструкции абсорберам.

Адсорбция – процесс поглощения компонента из газовой или жидкой фазы твердым поглотителем.

Одним из важнейших требований к адсорбенту является наличие у него высокоразвитой поверхности вследствие высокой пористости и развитого капиллярного строения. Минимальный диаметр пор составляет 10^{-4} мкм.

Другими важными свойствами адсорбентов являются поглощательная способность и избирательность поглощения тех или иных компонентов смеси. Поглощательная способность адсорбента называется активностью; она зависит от температуры и продолжительности его работы. С увеличением этих параметров активность адсорбента снижается. После насыщения адсорбента поглощенным веществом проводят процесс десорбции, т. е. извлечения адсорбата и восстановления работоспособности адсорбента.

Это важнейшая стадия процесса адсорбционной очистки. Адсорбированные вещества из адсорбента извлекают перегретым водяным паром либо нагретым инертным газом. Температура перегретого

пара (при избыточном давлении 0,3–0,6 МПа) составляет 200–300 °С, а инертных газов – 120–140 °С. Расход пара при отгонке легколетучих веществ равен 2,5–3 кг на 1 кг отгоняемого вещества, для высококипящих – в 5–10 раз больше. После десорбции пары конденсируют и вещество извлекают из конденсата.

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

В некоторых случаях перед регенерацией адсорбированное вещество с помощью химических реагентов превращают в другое вещество, которое легче извлекается из адсорбента. В том случае, когда адсорбированные вещества не представляют ценности, проводят деструктивную регенерацию химическими реагентами (окисление 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.

Наиболее часто применяемым адсорбентом является активный уголь. Широко используются силикагели. В качестве адсорбента применяют также различные тканые и нетканые материалы на основе углеродных активных волокон.

Процесс адсорбции реализуют в адсорберах колонного типа.

Процесс обратный адсорбции и адсорбции называют *десорбцией*.

Экстракция в системе «жидкость–жидкость» – процесс извлечения вещества, растворенного одной жидкостью при помощи другой.

Растворение и экстракция в системе «жидкость–твердая фаза» – процесс перехода из твердой фазы в жидкую.

Кристаллизация – процесс выделения твердой фазы в виде кристаллов из растворов или расплавов.

Перегонка – способ разделения жидких смесей, состоящих из нескольких компонентов. Она основана на многократном испарении жидкостей и конденсации ее паров или на однократном испарении смеси с последующей многоступенчатой конденсацией компонентов.

Перегонку подразделяют на два основных вида: простую перегонку (или дистилляцию) и сложную (ректификацию).

Под *простой перегонкой* понимают процесс однократного частичного испарения исходной жидкой смеси и конденсации образующихся при этом паров. Ее применяют для разделения смесей, представляющих собой легколетучее вещество с некоторым содержанием весьма труднолетучих веществ. Обычно простую перегонку используют для предварительного разделения, очистки веществ от примесей, смол, загрязнений. При этом сконденсированные пары называют *дистиллятом*, а неиспаренную жидкость – *остатком*.

Ректификация – наиболее полное разделение смесей жидкостей, целиком или частично растворимых друг в друге. Процесс заключается в многократном взаимодействии паров с жидкостью-флегмой, полученной при частичной конденсации паров.

Сушка – процесс удаления влаги из твердых влажных материалов путем ее испарения и отвода образовавшихся паров.

Сушка

Сушкой называется процесс удаления влаги из веществ (обычно твердых тел) путем ее испарения и отвода образующихся паров. Часто тепловой сушке предшествуют механические способы удаления влаги (отстаивание, фильтрование, центрифугирование и др.).

Во всех случаях при сушке в виде пара удаляется легколетучий компонент (вода, органический растворитель и т. д.). Этот процесс обычно применяется на конечной стадии технологического процесса с целью обеспечения высоких физико-механических характеристик получаемых продуктов (гранулята полимеров, бумаги и т. д.).

По физической сущности сушка является процессом совместного теплопереноса и сводится к перераспределению и перемещению влаги под воздействием теплоты из глубины высушиваемого материала к его поверхности и последующему ее испарению. В процессе сушки влажное тело стремится к состоянию равновесия с окружающей парогазовой средой, поэтому его температура и влагосодержание является функцией времени.

Под *влажностью* тела понимают отношение массы влаги, содержащейся в теле, к массе абсолютно сухого тела. *Влажность* – отношение массы влаги, содержащейся в теле, к массе влажного тела.

Различают следующие формы связи влаги с материалом: *химически связанную влагу* (не удаляется из влажных тел при нагревании до 100–120 °С); *физико-химически связанную влагу* (удерживается на внутренней поверхности пор материала адсорбционными силами); *физико-механически связанную влагу* (находится в крупных капиллярах, на наружной поверхности продукта и удерживается капиллярным давлением).

Под *интенсивностью сушки* понимают ее скорость, которая по мере приближения к состоянию равновесия уменьшается. Скорость процесса является функцией ряда факторов, в первую очередь внутренней структуры материала и его теплофизических свойств, размеров, формы и состояния внешней поверхности.

По способу подвода теплоты различают:

– *конвективную сушку*, проводимую путем непосредственного контакта материала и сушильного агента. Подвод теплоты осуществляется газовой фазой (воздух или смесь воздуха с продуктами сгорания топлива), которая в процессе сушки охлаждается с увеличением своего влагосодержания;

– *контактную (кондуктивную) сушку*, которая реализуется путем передачи теплоты от теплоносителя к материалу через разделяющую их стенку;

– *радиационную сушку* – путем передачи теплоты инфракрасным излучением;

– *сублимационную сушку*, при которой влага удаляется из материала в замороженном состоянии (обычно в вакууме);

– *диэлектрическую сушку*, при которой материал высушивается в поле токов высокой частоты.

Следует отметить, что при любом способе организации процесса материал находится в контакте с газом (воздухом). В большинстве случаев удалению из материала подлежит вода, поэтому обычно рассматривают систему «сухой воздух–пары воды».

При переработке отходов с целью уменьшения их влажности наибольшее распространение получили конвективные сушилки с перемешиванием слоя материала.

Барабанные сушилки (рис. 2.34) широко применяют, как правило, при атмосферном давлении для сушки кусковых, зернистых и сыпучих материалов.

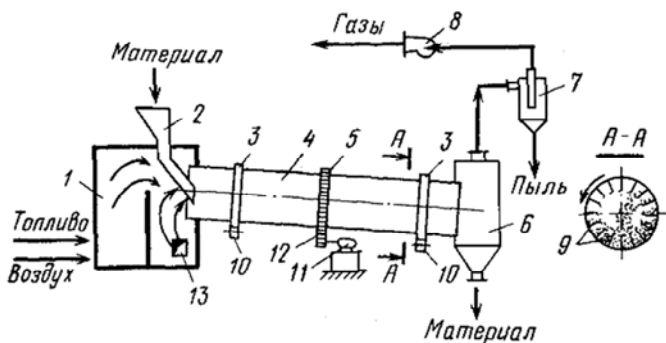


Рис. 2.34. Барабанная сушилка:

- 1 – топка; 2 – питатель; 3 – бандаж; 4 – барабан; 5 – зубчатый венец;
 6 – разгрузочная камера; 7 – циклон; 8 – вентилятор; 9 – подъемно-лопастная насадка;
 10 – опорные ролики; 11 – электродвигатель; 12 – зубчатая передача;
 13 – окно для подачи вторичного воздуха

2.8. Химические процессы

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

К химическим процессам относятся и некоторые способы переработки отходов пластмасс и резины и многие другие.

Сжигание отходов – это также разновидность химических методов переработки отходов, поскольку 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. Для снижения выбросов в атмосферу до требуемых

стандартами норм проводят их химическую и физическую обработку, включающую дожигание, нейтрализацию, промывку, фильтрацию, адсорбцию и др.

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

Любой химический процесс протекает в реакторе, конструкция которого должна создавать необходимые условия для оптимального его проведения. Большое количество воздействующих на процесс факторов, различные пределы их изменения приводит к тому, что ассортимент реакторов, используемых в промышленности, в том числе и при переработке отходов, достаточно велик. Химические процессы могут проводиться в реакторах непрерывного и периодического действия. Выбор конструкции аппарата зависит от условий технологического процесса.

Наибольшее влияние на конструктивное исполнение химического аппарата оказывают агрегатное состояние веществ, участвующих в реакции, наличие и конструкция теплообменных устройств и способы перемешивания.

2.9. Биохимические процессы

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

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

Направление и скорость трансформации зависят от температуры, поверхностей раздела, биологических и химических катализаторов и ингибиторов, pH среды и ее газового состава, состояния микробиологического сообщества и др. Трансформирующиеся органические вещества могут находиться в виде истинных растворов или в виде коллоидных и взвешенных частиц. Количество промежуточных продуктов и число элементарных стадий трансформации каждого из веществ исчисляется десятками и сотнями.

Основную роль играют собственно биохимические процессы, протекающие внутри клеток микроорганизмов, но немаловажное значение имеют и процессы массопереноса (сорбции и диффузии).

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

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

На протекание биохимических процессов влияют также некоторые вещества, содержащиеся в очищаемой среде.

Широко используются биохимические процессы при переработке твердых отходов органического происхождения.

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

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

Органические отходы, в частности отходы пластмасс, лесоперерабатывающей, пищевой и других отраслей промышленности, сельского хозяйства, а также бытовые отходы, можно использовать для получения энергии, разлагая их с помощью микроорганизмов до сбраживаемых соединений.

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

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

Одной из реальных биотехнологий является получение из влажных органических отходов биогаза, представляющего собой смесь из 65 % метана, 30 % углекислого газа, 1 % сероводорода и незначительных количеств азота, кислорода, водорода и других газов. 1 м³ биогаза по теплоте сгорания эквивалентен 0,6 м³ природного газа, 0,74 м³ нефти или 0,65 м³ дизельного топлива. Биогаз горит, образуя пламя синего цвета, не имеет запаха, а при сгорании не выделяет дыма.

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

Анаэробная технология совместной переработки твердых бытовых отходов и илистого осадка сточных вод позволяет сократить объем отходов на 30–40 %. Для этого отходы смешивают с активным илом в соотношении 3,5:1 (по объему), и полученную смесь размещают на площадке с водонепроницаемым основанием из глины, уплотняют и герметично изолируют от окружающей воздушной среды. Процесс протекает без доступа кислорода. Влажность среды должна составлять 70–75 %. Смешивание твердых бытовых отходов

с активным илом увеличивает выход метана, сокращает продолжительность разложения отходов в 4–5 раз и, самое главное, снижает период стабилизации полигонов отходов со 100 до 10–15 лет.

С точки зрения экологии метаногенез – важный процесс в углеродном цикле биосферы, так как позволяет самой природе ликвидировать органические отходы.

3. ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ ТАРЫ (УПАКОВКИ)

3.1. Переработка металлической тары

Перед плавкой металлоотходы подвергают первичной обработке – специальной подготовке. Это связано с тем, что уровень сдаваемого лома обычно не удовлетворяет предъявленным требованиям: свыше 60 % заготавливаемого лома и отходов цветных металлов сдается как низкокачественное сырье.

Технология подготовки металлолома к плавке включает следующие операции:

- пиротехнический контроль;
- разделку (дробление, резку);
- сортировку;
- пакетирование.

Сложнее дело обстоит, когда речь идет о выделении металла и металлической тары из ТБО. В общем случае рациональная схема механизированной сортировки твердых бытовых отходов должна предусматривать: извлечение в самостоятельные продукты черных и цветных металлов; разделение потока на две фракции: горючую и биоразлагаемую (соответственно для термообработки, биообработки или захоронения); удаление опасных и части балластных отходов.

В зарубежной практике сортировка ТБО чаще всего начинается с отсева в барабанных грохотах с диаметром отверстий 100 мм. По данным отечественной практики такая операция неэффективна вследствие забивания отверстий барабана текстильными и влажными компонентами.

Полагают, что специфичность отечественных бытовых отходов исключает механическое перенесение в наши условия западных

технологий сортировки без соответствующей адаптации к ним. Такая адаптированная технология была разработана и испытана на потоках ТБО мощностью около 15 т/ч (рис. 3.1).

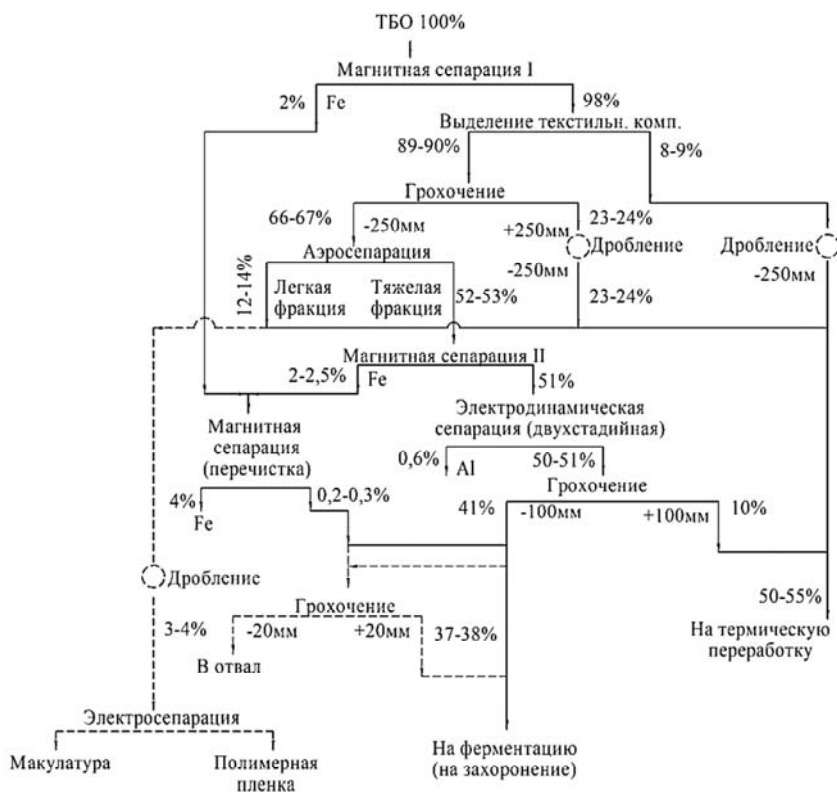


Рис. 3.1. Технологическая схема сортировки ТБО общей массы материала

Технологию отличают две операции, предшествующие грохочению (магнитная сепарация и удаление из потока текстильных и крупных пленочных компонентов). Последнее осуществляется в аппарате оригинальной конструкции, в котором происходит также рыхление материала. Отмеченные операции оптимизируют последующее грохочение на сите с отверстиями 250 мм.

Второе отличие технологии – регулирование основного потока отходов (65–70 % от исходного) с помощью воздушной сепарации.

Это позволяет оптимизировать последующие операции сортировки, улучшить санитарно-гигиенические условия работы (дезодорация, обеспыливание), подсушить компоненты легкой фракции.

Включение в технологическую схему операций дробления крупных фракций ТБО определяется требованиями последующей переработки. В частности, для слоевого сжигания дробление не требуется, при использовании кипящего слоя или технологии газификации оно обязательно.

Электродинамическая сепарация основана на том, что при движении электропроводного металла в переменном поле или при действии на неподвижный электропроводный металл переменным (например бегущим) магнитным полем в проводнике индуцируется ЭДС и возникают вихревые токи. Взаимодействуя с первичным магнитным полем, они изменяют направление движения металла.

Обычно этот вид обогащения используется для извлечения цветных металлов, прежде всего алюминия и меди, после выделения из отходов магнитной сепарацией черных металлов. Практика показывает, что для повышения степени извлечения цветных металлов электродинамическая сепарация должна проводиться в несколько стадий (основная и контрольные операции). Выделенный концентрат для удаления примесей необходимо подвергать перечистой электромагнитной сепарации.

Таким образом, после сортировки ТБО (см. рис. 3.1) получают следующие основные фракции: черный металл, текстильные отходы, макулатуру, полимерную пленку и т. п., цветной металл (алюминий), органические отходы и т. п.

Лом черных металлов, выделенный из ТБО для отправки потребителю, должен соответствовать требованиям ГОСТ 278–86. Засоренность продукта неметаллическими примесями не должна превышать 3 % по массе.

Чаще всего черный металлолом поставляется потребителю в пакетированном виде.

Пакетирование – уплотнение крупнокусового материала методом прессования с получением пакетов с целью повышения эффективности последующего обращения с материалом (хранение, транспортировка, захоронение, переработка). Металл в пакетированном виде загружают в транспортные средства с помощью автопогрузчика или магнитной шайбы.

Лом луженой тары (оловосодержащие компоненты) должен соответствовать требованиям ГОСТ 1639–93 «Лом цветных металлов и сплавов». Засоренность продукта бумагой, тряпками, древесиной, остатками пищевых продуктов и прочим не должна превышать 5 %.

Лом луженой тары, выделенный из ТБО с целью последующего извлечения олова, должен поставляться на предприятия вторичной металлургии в россыпном виде.

При переработке оловосодержащего лома получают два продукта: высококачественное олово (в виде 25-килограммовых чушек) и прессованные пакеты жести от консервных банок, представляющие собой ценное сырье для выплавки стали.

Следует отметить, что извлеченные из ТБО консервные банки загрязнены, причем обычно они имеют несколько швов, где металл плотно спрессован и во многих случаях спаян. В этих швах концентрируется приблизительно четвертая часть всей массы олова, снятие которого в процессах гидromеталлургии затруднено. Поэтому перед подачей консервных банок на стадию снятия олова необходима их предварительная обработка: мойка в специальном аппарате, измельчение, а также введение других операций, позволяющих очищать банки и раскрывать швы.

При этом измельчение консервных банок в дробилке типа молотковой нежелательно, так как банки сминаются, что резко ухудшает возможность их очистки и снятия олова. Предпочтительнее отдать дисковым или ножевым дробилкам, в которых банки не сминаются, а разрезаются. Преимущества такого дробления – раскрытие значительной части швов, удаление загрязняющих примесей, снижение насыпной массы, что сокращает транспортные расходы (последние можно избежать, если цех снятия олова входит в состав мусороперерабатывающего завода).

После отделения алюминиевую тару дополнительно обрабатывают (рис. 3.2). Отходы алюминиевых сплавов гидравлическим грейфером 1 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.

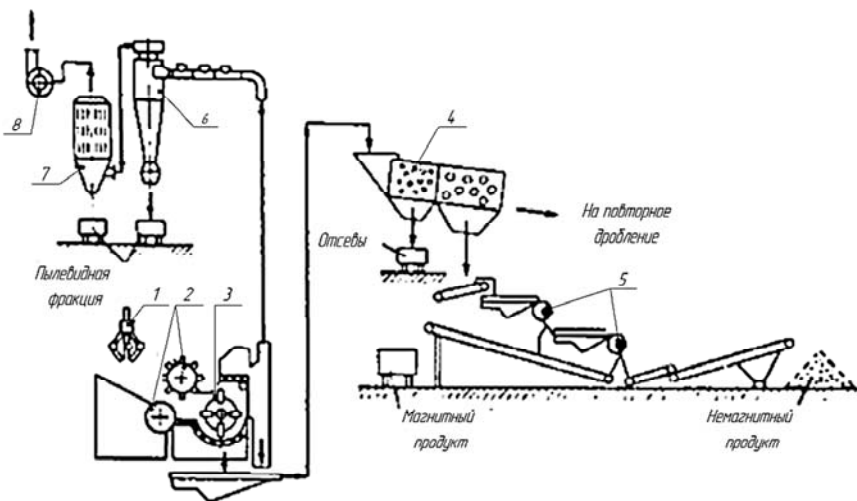


Рис. 3.2. Линия переработки отходов цветных металлов и сплавов

Для обеспечения равномерной нагрузки электродвигателя дробилки предусмотрено автоматическое и ручное включение приводов валков. Если собственной массы верхнего валка недостаточно для сжатия сырья, оператор увеличивает усилие 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 дробленой смеси воздушным потоком от вентилятора 8 удаляется легкая фракция, которая предварительно очищается в циклоне 6 и фильтре 7. Она содержит пыль, бумагу, текстиль и пластмассу. Тяжелая фракция разделяется с помощью магнитных сепараторов 5 на магнитные и немагнитные продукты. Немагнитный продукт можно дополнительно отсортировать на электродинамическом сепараторе. Далее алюминиевые отходы пакетируют и направляют потребителю.

3.2. Переработка бумажной тары

Утилизация использованной и пришедшей в негодность бумажной тары может происходить по следующим направлениям: повторное

использование для производства бумаги и картона, использование в качестве наполнителя в различных производствах, захоронение или уничтожение в составе твердых бытовых отходов.

Качество, вид и состав макулатуры для вторичного использования в производстве бумаги и картона регламентируются по ГОСТ 10700–89.

Поскольку основным компонентом бумаги и картона являются волокна целлюлозы, использованную бумагу или бумажный утиль можно подвергнуть переработке (рециклу). Отходы свежей бумаги, образующиеся в процессе производства, и чистой незапечатанной могут быть непосредственно добавлены в пульпу. Однако запечатанная бумага (газетная, журнальная), тара и упаковка должны сначала пройти предварительную обработку для удаления печатной краски и элементов переплета и брошюровки: пластиковых колец, скрепок и т. д. В отличие от стекла бумагу и картон нельзя подвергать рециклу произвольное число раз: волокна целлюлозы разрушаются при использовании, в производственных процессах и при удалении краски; укороченные волокна настолько уменьшаются в длине, что проходят сквозь сетку машины для производства бумаги. Для поддержания качества бумаги или картона, особенно их цвета и прочностных свойств, приходится ограничивать количество бумажного утиля, добавляемого в пульпу (его количество зависит от качества бумаги или картона, которое необходимо получить). Бумага, получаемая только из одного утиля (100 % рецикл), – серая: дальнейшее отбеливание разрушило бы структуру волокон и, следовательно, ухудшило бы качество бумаги.

Отходы картона для вторичного использования перерабатываются по схеме, представленной на рис. 3.3. Поступившие с заготовительных предприятий отходы картона и картонной упаковки, спрессованные в кипы, извлекают и направляют в емкость 1.

Макулатура замачивается и под действием вращающегося винта мешалки 1 измельчается, превращаясь в жидкую волокнистую массу. Волокнистая масса циркулирует во вращающемся барабане 3. При этом посторонние тяжелые включения – песок, частицы металла и прочее – опускаются на дно. Под действием вакуума сквозь сито свободно проходят легкие частицы, но задерживаются более крупные включения (размером в несколько миллиметров) типа кусочков пластика. В волокнистую массу подается распыленный сжатый воздух. К пузырькам воздуха, которые стабилизируются на поверхности

с помощью пенообразователя, прикрепляются обладающие обычно гидрофобностью частицы типографской краски, красителей, покрытий и клейких веществ. Такие загрязнители снимаются или откачиваются вместе с пеной. Второй добавляемый химикат помогает собрать эти частицы, увеличивая степень их прикрепляемости к пузырькам. Центрифуга (циклон) 10 разделяет материал по плотности. Волокна, которые имеют меньшую плотность, чем большая часть оставшихся загрязнителей, откачиваются сверху. От перепада давления материал пропускается через мешалку и сито 8. Волокна, меньшие по размерам, чем оставшиеся молекулы типографской краски и клейких веществ, свободно проходят дальше.

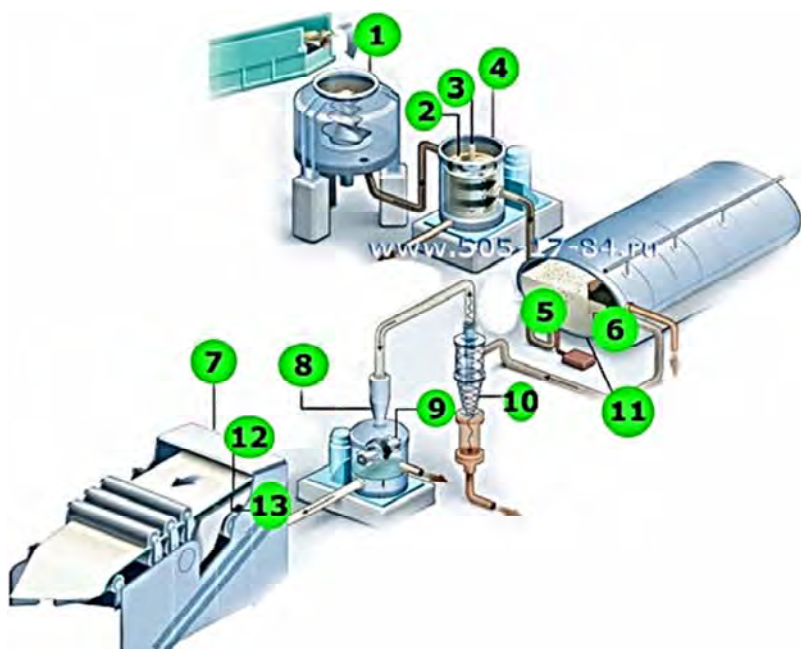


Рис. 3.3. Технологическая схема переработки макулатуры:

- 1 – роспуск; 2 – сито; 3 – мешалка; 4 – крупноячеестое сито; 5 – подача воздуха; 6 – пена; 7 – формование бумажного полотна; 8 – мелкоячеестое сито; 9 – сито; 10 – очистка; 11 – флотация; 12 – волокно; 13 – сетка

Прошедшая через мелкоячеестое сито бумажная масса, которая примерно на 95 % состоит из воды и на 5 % из волокон, выливается

на сетку 7. Здесь большие валики выжимают из нее воду, производя начальное формование бумажного полотна, которое еще больше высушивается и подготавливается к дальнейшей обработке в бумагоделательной машине 8.

Рассмотрим процесс переработки более детально.

Переработка макулатуры для использования в производстве бумаги и картона осуществляется по мокрой технологии и включает следующие операции:

- роспуск макулатуры;
- очистку макулатурной массы от посторонних примесей;
- дороспуск макулатурной массы;
- тонкую очистку макулатурной массы.

Роспуск макулатуры на волокна осуществляется в водной среде в гидроразбивателях при концентрации 4–6 %. Под действием гидромеханических усилий происходит процесс измельчения макулатуры на кусочки и разделение на волокна; гидроразбиватели оснащены ситом с отверстиями (10–12 мм), через которые проходит готовая суспензия макулатурной массы и поступает на следующую операцию. В гидроразбивателях происходит и отделение грубых включений из макулатуры: тяжелые удаляются из специального грязесборника, а легкие в виде текстиля и полимерных пленок удаляются либо в виде жгута постоянно, либо периодически. Макулатурная масса после гидроразбивателя содержит как волокна, так и нераспустившиеся кусочки макулатуры.

Далее макулатурная масса очищается от тяжелых и легких примесей. Очистка от тяжелых примесей – песка, стекла, скрепок и т. д. – осуществляется в очистителях макулатуры, представляющих из себя циклон. Тяжелые примеси осаждаются в грязесборнике и периодически удаляются.

Легкие примеси в виде полимерных пленок и кусочков макулатуры удаляются на вибросортировках с отверстием щелевого типа. Прошедшая сито макулатурная масса направляется на дальнейшую перегруппировку. Для снижения потерь макулатурной массы во всех типах очистительного оборудования, как правило, подается вода.

Очищенная макулатурная масса, содержащая как растительные волокна, так и пучки волокон и кусочки макулатуры проходит стадию дороспуска на специальном оборудовании – энтиштиперах различной конструкции типа конических или дисковых мельниц.

Необходимым условием нормальной работы энтштиперов является тщательная предварительная очистка массы от тяжелых и легких примесей. Статор и ротор энтштинера оснащены специальной размалывающей гарнитурой, зазор между которыми составляет 0,5–2 мм. В результате турбулентных пульсации и трения массы внутри потока происходит разделение кусочков макулатуры и пучков волокон на отдельные волокна; дороспуск макулатурной массы осуществляется на различного вида центробежных сортировках, сортировках давления с круглыми или щелевыми отверстиями.

Отличительной особенностью конструкции центробежных сортировок является неподвижно расположенное в корпусе цилиндрическое сито, внутри которого вращается лопастной ротор. Несортированная масса подается в центральную часть сортировки, где она подхватывается лопастями ротора и отбрасывается на внутреннюю поверхность сита. Прошедшие через сито волокна направляются на дальнейшую переработку. Неразволокненные пучки волокон и примеси продвигаются вперед и отводятся через патрубок для удаления отходов. Сортировки в зависимости от конструкции и назначения работают как при низкой (0,2 до 1,5 %), так и при средней (до 2–3 %) и высокой (4–5 %) концентрации массы.

Для окончательной очистки макулатурной массы от узелков и мелких точечных вкраплений широко применяются вихревые конические очистители, которые, как правило, устанавливаются в три ступени. Оптимальная концентрация массы для эффективной очистки составляет 0,5 %. Одним из способов сортирования макулатурной массы с целью ее более рационального использования является фракционирование – отделение длинноволокнистой фракции макулатурной массы. Как правило, она обогащена волокнами хвойной целлюлозы, имеющих большую длину, чем волокна древесной массы. Многие виды картона и бумаги имеют сложный состав, включающий битум, воск, парафин, клей и прочее. Указанные вещества при переработке макулатуры загрязняют оборудование, забивают сетки и сукна бумагоделательных и картоноделательных машин, налипают на поверхность сушильных цилиндров и т. д. Такая макулатура подвергается термомеханической обработке, которая осуществляется после очистки макулатурной массы при концентрации 25–35 %. Целью термомеханической обработки является диспергирование примесей до размеров, при которых их отрицательное действие

на процесс дальнейшей переработки не сказывается. Существует два способа термомеханической обработки: холодный и горячий. При холодном способе диспергирование проводится при атмосферном давлении и температуре до 95 °С, а при горячем – при повышенном давлении до 0,3–0,5 МПа и температуре 130–150 °С.

В зависимости от качества макулатуры и вида производимой картонно-бумажной продукции некоторые из указанных операций на практике могут быть исключены.

Отходы комбинированных материалов на основе картона и бумаги в большинстве случаев сжигаются на мусоросжигательных заводах. Сжигание в печах не требует дополнительного топлива. Горение поддерживается подачей воздуха через систему решеток, обеспечивающую его доступ по всему объему сжигаемой массы. Одной из основных целей мусоросжигательных заводов является внедрение так называемых эффективных технологий, когда сжигание упаковочных материалов позволяет производить энергию и тепло, не оказывая дополнительной экологической нагрузки на окружающую среду.

3.3. Переработка стеклянной тары

Утилизация стеклянной тары может производиться по трем направлениям:

- использование в качестве вторичного сырья при производстве стеклянной тары;
- использование в качестве одного из компонентов-наполнителей в различных производствах;
- захоронение в составе твердых бытовых отходов.

Основным направлением применения стеклобоя во всем мире является производство тары (банок, бутылок), так как это наиболее массовое производство, имеющее менее жесткие требования к постоянству химического состава стекломассы, что позволяет использовать вторичный стеклобой, разный по цвету и составу. Средний удельный расход стеклобоя в производстве стеклянной тары за рубежом составляет: 15 % – в Великобритании, 20 % – Венгрии, 20–30 % – США, 24 % – Чехии, 30 % – Германии и 40 % – в Нидерландах.

В Швейцарии в компании «Vetropak» работает стекловаренная печь производительностью 200 т/сутки зеленого стекла. Шихта содержит 80–85 % стеклобоя. Экономия топлива при этом составляет

0,25 % на 1 % перерабатываемого стеклобоя. В некоторых случаях в печах используется до 100 % стеклобоя.

На стеклотарных заводах США количество стеклобоя в шихте может составлять 30–60 %. Этому отвечает максимальная экономия энергии и оптимальный режим работы печей.

Переработка стеклобоя в стеклянную тару осуществляется следующим образом. После измельчения и дозировки исходных компонентов их тщательно перемешивают, добавляют стеклянный бой и загружают в плавильную печь. При высокой температуре карбонаты превращаются в оксиды, реагирующие с песком с образованием силикатов.

Разложение карбонатов сопровождается выделением углекислого газа, которое способствует хорошему перемешиванию расплава. С выделением CO_2 связана убыль массы по сравнению с исходным сырьем: в случае карбоната кальция она составляет 44 %, карбоната натрия – 42 %. Газообразные продукты сгорания, CO_2 и прочие удаляются через трубу в атмосферу.

Стекломассу варят в ваннных печах непрерывного действия. Размеры и конструкции определяются количеством и цветом вырабатываемого стекла и способом выработки.

При выработке изделий на полуавтоматах наиболее распространены ваннные печи с подковообразным пламенем, при механизированной выработке – печи с поперечным направлением пламени. Глубина варочного бассейна печи зависит от цвета стекла: при варке стекла окрашенного она должна быть не более 900 мм, полубелого – 1200 мм и обесцвеченного – 1500 мм. Глубину выработочного бассейна печи делают на 300 мм меньше глубины варочного бассейна. Съем стекломассы с 1 м² зеркала ванной печи в сутки при использовании высококачественного топлива составляет 900–1300 кг. Температура в зоне максимума стекловаренной печи должна быть не ниже 1450–1480 °С, причем рекомендуется в зависимости от качества используемых материалов придерживаться верхнего предела и при возможности повысить ее до 1500–1530 °С.

Во второй (не обогреваемой) части печи остывшая, но все еще мягкая стекломаасса подвергается формованию в бутылки и прочие изделия с помощью стеклодувного процесса механизированным способом на стеклоформирующих автоматических машинах в формах различной конфигурации.

При необходимости стеклянную тару отжигают в отжигательных печах-лерах типа ЛН-1000Х18. Для повышения их производительности в связи с модернизацией и повышением производительности стеклоформирующих машин муфельная часть леров удлиняется. Некоторые виды стеклянной тары после отжига дополнительно обрабатывают: притирают стеклянные пробки, шлифуют, матируют. Притирка пробок необходима для тех видов стеклянной тары, которые используют для герметической упаковки. Пробки притирают вручную на притирочных станках. Горизонтальный шпиндель станка вращается в подшипниках со скоростью 2200 об/мин. Производительность станка составляет в смену: флаконов с крупными пробками – 375–700 шт., с мелкими – 500–850 шт.

Полирование является последней наиболее тонкой стадией обработки изделия, в процессе которой сглаживаются микронеровности поверхностей, остающиеся после дистировки.

Одно из наиболее значимых направлений употребления битого стекла – производство пеноматериалов.

Школой горного дела в Колорадо (США) был предложен новый материал – тиксит, вырабатываемый из дробленого стеклобоя (32 %), строительного бутового камня (62 %) и глины (6 %). Плиты, получаемые из тиксит, очень прочны, отличаются низким поглощением воды, красивым внешним видом. Их производство обходится дешевле производства стандартных материалов.

В России с 2001 г. начато производство из стеклобоя пеностекла – теплоизоляционного материала с высокими теплотехническими свойствами на базе Воронежского электролампового завода (ОАО «ВЭЛТ», г. Воронеж) по технологии, разработанной специалистами ООО «Экология».

Теплоизоляционные материалы на основе вспененной стекло-массы имеют широкую область применения: изоляция стен, перекрытий, кровли, трубопроводов. Они являются альтернативой широко распространенным в настоящее время материалам на основе фенольных связующих, применение которых в жилых помещениях вызывает большие опасения экологов из-за вредных выделений. Пеностекло обладает высокими эксплуатационными характеристиками: негорючее, нетоксичное, с низкой теплопроводностью, долговечное. Оно также сравнительно недорогое (1,5–2 тыс. р. за 1 м³), поскольку его можно производить из отходов стеклобоя без связующих

компонентов. Таким образом, переработка образующегося стеклобоя в пеностекольные теплоизоляционные материалы актуальна как с экологической, так и экономической точек зрения.

Основной трудностью во вторичном использовании стеклобоя является его отделение от других твердых бытовых и промышленных отходов.

При сборе стеклобоя на предприятиях по выпуску продукции из стекла такая проблема отсутствует (практически весь собственный стеклобой используется заводами стекольной промышленности, за исключением боя армированного стекла, триплекса, зеркал и некоторых излишков сортовой посуды из бесцветного стекла). Она имеет место при сборе стеклобоя в сфере потребления в связи с несовершенной системой заготовки, существующей в настоящее время в стране. Стекольные заводы используют стеклобой, собранный в сфере потребления неохотно, так как он всегда потенциально опасен в отношении ухудшения однородности стекломассы и качества продукции. Качество собранного стеклобоя регламентируется СТБ ГОСТ Р52022–2003 и ГОСТ Р52233–2004, по которым его подразделяют на первый и второй сорт. Кроме того, стеклобой подразделяют на марки: БС (бесцветный), ПСТ (полубелый тарный), ПСЛ (полубелый листовый), ЗС (зеленый), КС (коричневый). В партии допускается содержание стекла:

- марок ЗС и КС в марках БС, ПСТ, ПСЛ для первого сорта стеклобоя – не более 0,5 %, второго сорта – не более 4 %;

- марок БС, ПСТ и ПСЛ в марках ЗС и КС для первого сорта стеклобоя – не более 10 %, второго сорта – не более 20 %;

- марки КС в марке ЗС и марки ЗС в марке КС для первого сорта стеклобоя – не более 7 %, для второго сорта – не более 15 %.

Размеры кусков стеклобоя первого сорта должны быть от 10 до 50 мм. Допустимое содержание в партии стеклобоя кусков размером более 50 мм – не более 5 %, размер менее 10 мм – не более 1 %. Размер кусков стеклобоя второго сорта не нормируют, масса кусков – не более 2 кг.

В стеклобое нормируются также примеси триплекса, стекла армированного металлической сеткой, металлические предметы, пробки, тугоплавкие стекла, зеркала, керамика, фарфор, шлак, уголь, кирпич, камень, щебень, бетон, асфальт, песок, глина и другие органические примеси в пределах 0,2–5 % для каждого компонента.

Вышеуказанный ГОСТ регламентирует методы контроля качества, приборы и приспособления для контроля, транспортировки и хранения стеклобоя.

В настоящее время отходы стекла применяются в производстве стекломозаичной плитки, штапельного стекловолокна, стеклотары, облицовочной плитки, кровельных материалов, плиток для полов, искусственного шифера, мрамора и т. д.

3.4. Переработка деревянной тары

Отходы деревянной тары, как правило, представляют собой кусковые отходы древесины.

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 щепка является сопутствующей товарной продукцией.

Щепа является основным сырьем целлюлозно-бумажной, гидролизной промышленности и ряда других отраслей, эффективность работы которых зависит от ее качества и стабильности поставок. Поэтому производство щепы не только дает возможность утилизировать отходы древесины, но имеет и важное самостоятельное значение. В зависимости от назначения к технологической щепе предъявляются различные требования. Особенно важно, чтобы щепка не содержала посторонних включений: металла, гнили, песка и т. п.

В зависимости от назначения щепка должна иметь размеры, указанные в табл. 3.1.

Таблица 3.1

Размеры технологической щепы

Назначение щепы (производство)	Размеры, мм	
	Длина	Толщина
Целлюлозно-бумажное	1–25	5
Древесно-волоконистых плит	10–35	5
Древесно-стружечных плит: плоского прессования	20–60	30
экструзионного формования	5–40	30
Гидролизное	5–35	5

Технология производства щепы включает стадии, указанные на рис. 3.4.



Рис. 3.4. Технологическая схема производства щепы

В процессе производства щепы основной операцией является измельчение древесных отходов. Она определяет качество и выход кондиционной технологической щепы, а также удельные энергозатраты на ее производство. Измельчение кусковых отходов осуществляют на рубильных машинах. В зависимости от формы ротора рубильные машины делятся на барабанные и дисковые. Барабанные рубильные машины производят щепу низкого качества, с неоднородным фракционным составом и поврежденными волокнами, что связано с их конструкцией. Такая щепа может использоваться для гидролизного производства, но малоприспособна для целлюлозно-бумажной промышленности и изготовления ДВП и ДСП. Для получения щепы, пригодной для этих 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. 3.5) 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 $45-50^\circ$ к направлению волокон, в результате чего значительно уменьшается расход энергии на измельчение древесины.

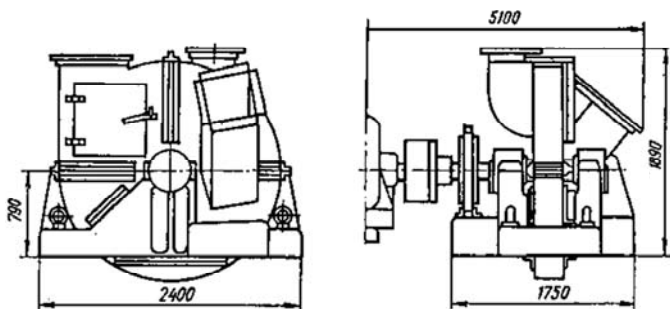


Рис. 3.5. Дисксовая рубильная машина с наклонной подачей сырья и выбросом щепы вверх

Основной рабочий орган дисковых рубильных машин – стальной диск с радиально закрепленными на нем ножами, количество которых может быть от 3 до 16 (рис. 3.6). Диск заключен в кожух и закреплен на стальном валу, вращающемся в двух или трех подшипниках скольжения или в роликовых подшипниках.

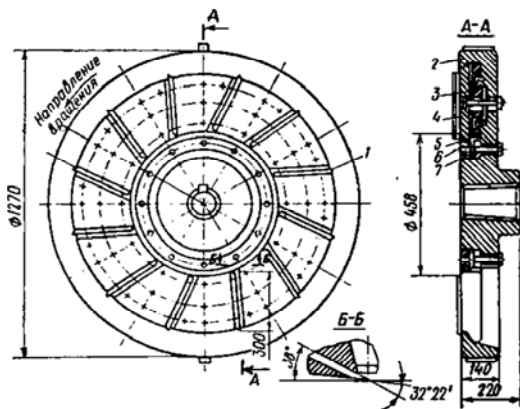


Рис. 3.6. Диск рубильной машины:

- 1 – ножи; 2 – корпус диска; 3 – подкладка; 4 – накладка; 5 – конусное кольцо;
6 – кольцевая гайка; 7 – втулка

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 переработки в щепу. В рубильных машинах со свободной подачей древесина поступает к нолам 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. 3.7. Геликоидальная рабочая поверхность диска представляет собой винтовую поверхность, которая сливается с задними кромками ножей, заточенными по той же винтовой линии. При вращении такого диска и при одновременной подаче древесины к диску ножи срезают древесину не в одной плоскости, как у машин с плоским диском, а по винтовой линии. Резание происходит не в вертикальной плоскости, а по ходу винта. Благодаря этому обеспечивается устойчивое положение и самозатягивание перерабатываемой древесины в процессе резания.

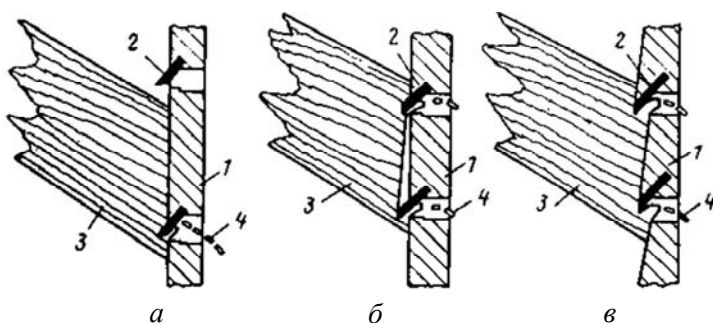


Рис. 3.7. Схема резания древесины в дисковых рубильных машинах: а – в малоножевых машинах с плоским диском; б – в многоножевых машинах с плоским диском; в – в многоножевых машинах с геликоидальным диском; 1 – ножевой диск; 2 – нож; 3 – перерабатываемый материал; 4 – щепа

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 установленные 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.

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.

Транспортировка щепы в пределах предприятия осуществляется с помощью ленточных, скребковых и шнековых транспортеров, а также пневмотранспортом.

Для транспортировки щепы за пределами предприятия, вырабатывающего ее, используют автомобильный, водный и железнодорожный транспорт.

Автомобильная промышленность Республики Беларусь и Украины изготавливает специализированные автомобили для перевозки щепы.

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 (стройматериалов, лесо-

химии, целлюлозно-бумажной и др.) по технологиям, принятым в этих отраслях.

Производство строительных и конструкционных материалов из отходов древесины. Одним из основных направлений утилизации древесных отходов является производство различных ограждающих и отделочных строительных материалов: древесно-волоконистых плит (ДВП), древесно-стружечных плит (ДСП), цементно-стружечных плит (ЦСП) и др.

При изготовлении древесно-волоконистых 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. 3.8 приведена принципиальная схема производства ДВП сухим способом.

Технологический процесс 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.

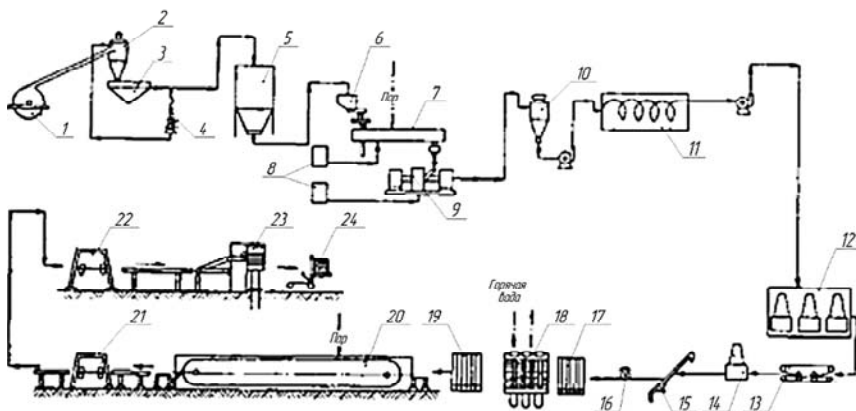


Рис. 3.8. Принципиальная схема производства ДВП сухим способом:
 1 – рубильная машина; 2 – циклон; 3 – щепосортировочная установка; 4 – дезинтегратор;
 5 – бункер хранения щепы; 6 – расходный бункер щепы; 7 – пропарочный аппарат;
 8 – расходные баки парафина и смолы; 9 – размольная установка; 10 – циклон
 сушилки первой ступени; 11 – сушилка второй ступени; 12 – формирующая машина;
 13 – ленточный пресс предварительной подпрессовки; 14 – формирующая 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

Для повышения прочности при изгибе плиту пропитывают смесью льняного и таллового масел. Лакокрасочное покрытие наносят на загрунтованную поверхность плиты.

Древесные опилки используют для изготовления различных видов бетона: арболита, опилкобетона, деревобетона, гипсоопилочно-бетона и термиза.

При переработке отходов древесины методами химической технологии получают такие важнейшие продукты, как древесный уголь, уксусную кислоту, скипидар, канифоль, дубильные вещества и др.

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 древесных отходов.

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. Также 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. 3.9. Отходы транспортером 1 подаются в промежуточный бункер с дозатором 2 и далее поступают в измельчитель 3. Измельченные отходы транспортером 4 перемещаются в сушилку 5, откуда по транспортеру 6 сыплются в бункер 7 и далее с помощью питателя 8 попадают в пресс 9. Спрессованные брикеты транспортером 10 подаются на склад готовой продукции.

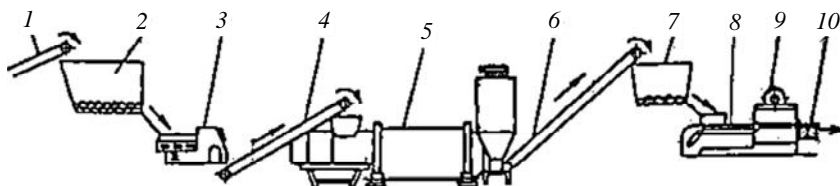


Рис. 3.9. Схема производства топливных брикетов

Основные свойства брикетов приведены в табл. 3.2.

Таблица 3.2

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	~ 19 600

Свойства брикетов зависят от их объемной массы и влажности. Водостойкость, 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 %.

3.5. Переработка текстиля

К текстильным материалам относятся ткани, трикотаж, 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, 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 прочее, могут изготавливаться из вторичных волокон по технологии производства нетканых материалов.

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. 3.10.

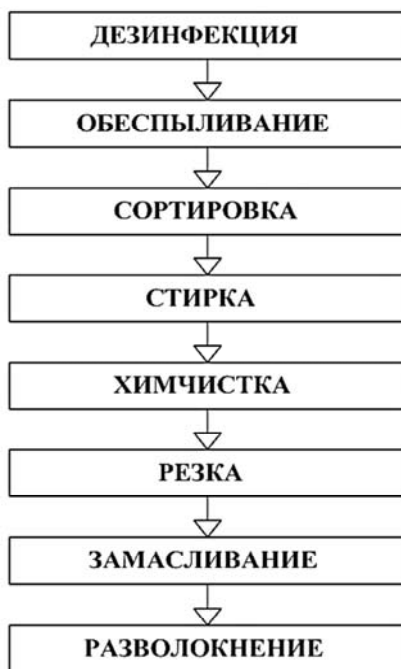


Рис. 3.10. Схема первичной обработки текстильных отходов

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 современные способы дезинфекции: с помощью переменного электрического поля высокой частоты, ультразвука, ультрафиолетового и инфракрасного излучений, 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 выпускаемые в Бельгии и США комбинированные машины, в которых производятся и обеспыливание, и разволокнение текстильных отходов.

Сортировка текстильных отходов бытового потребления производится с целью удаления застёжек, кнопок, нетекстильных элементов изделий. Она 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 сырьё подвергается стирке для извлечения поглощенной грязи, для чего применяются стиральные машины периодического действия СМО-ЮО и ПК-53 А. Однако с помощью стирки не удаётся удалить масло, краску и другие органические вещества, нерастворимые в воде. Поэтому технологический процесс подготовки текстильных отходов к разволокнению включает химическую чистку.

Химическая чистка сильно загрязнённых и засаленных текстильных материалов производится органическими растворителями на машинах КХ-007, КХ-012. Данный процесс уменьшает износ материала, сокращает продолжительность обработки и эксплуатационные расходы, повышает производительность труда.

Предварительно отходы обрабатывают в высококонцентрированном растворе щелочи, а 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.

Они оборудованы ротором, на котором закреплены ножи или диски, нарезающие материал определенной ширины. Ширина резки регулируется путем изменения скорости движения транспортера, подающего кипу отходов.

При выборе типа резальных машин необходимо учитывать вид и химическую природу текстильных отходов. В частности, 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 оксиэтилированные жирные спирты.

Кроме того, применяются сульфозфиры высших жирных спиртов и ненасыщенных кислот. Минеральные масла для замасливания волокна нежелательны, так как 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.

Текстильные отходы из синтетического волокна могут обрабатываться по сокращенной схеме. Для этого создан агрегат для разволокнения и чесания сырья, схема которого представлена на рис. 3.11. 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).

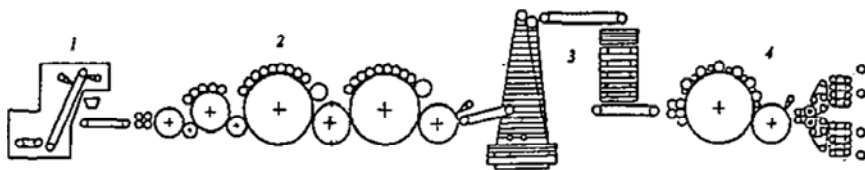


Рис. 3.11. Агрегат для разволокнения отходов из синтетических волокон:
1 – питатель; 2 – четырехбарабанная щипальная машина;
3 – транспортирующая решетка; 4 – чесальная машина

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.

При переработке разволокненных текстильных отходов существенную роль играют чесальные и прядильные машины. Современные чесальные машины полностью закрыты, что улучшает условия труда. Они могут иметь один и более приемных барабанов и зубчатые разрыхляющие сегменты (рис. 3.12).

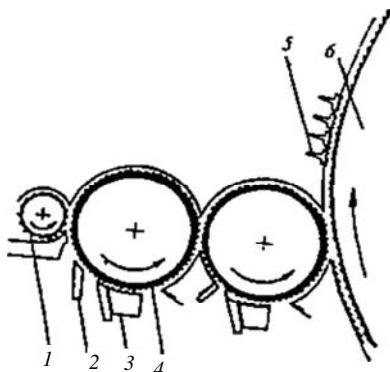


Рис. 3.12. Узел разрыхления чесальной машины:

1 – питающий валок; 2 – сороотбойный нож; 3 – разрыхляющий сегмент на приемном барабане; 4 – приемный барабан; 5 – разрыхляющий сегмент на главном барабане; 6 – главный барабан

В современном текстильном производстве все перечисленные операции производятся на поточных линиях.

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.

Производство нетканых материалов из текстильных отходов

Большие возможности для использования регенерированных волокон представляет производство нетканых материалов, которые изготавливаются 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. Таким образом 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 обрабатывающих элементов холстообразователя с помощью воздушной струи и транспортируются к месту образования холста. Отличительные особенности данного способа: возможность перерабатывать волокна, значительно отличающиеся по своим свойствам и длине; возможность быстрого изменения развеса холста; высокая производительность.

Технология аэродинамического холстообразования ясна из схемы, приведенной на рис. 3.13. Предварительно разрыхленные волокна подаются на быстровращающийся 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 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.

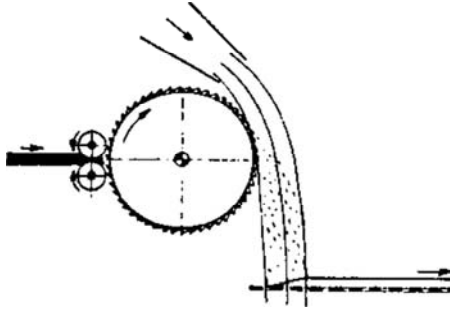


Рис. 3.13. Схема аэродинамического формирования холста НТМ

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. 3.14 показана схема агрегата гидродинамического формирования холста НТМ.

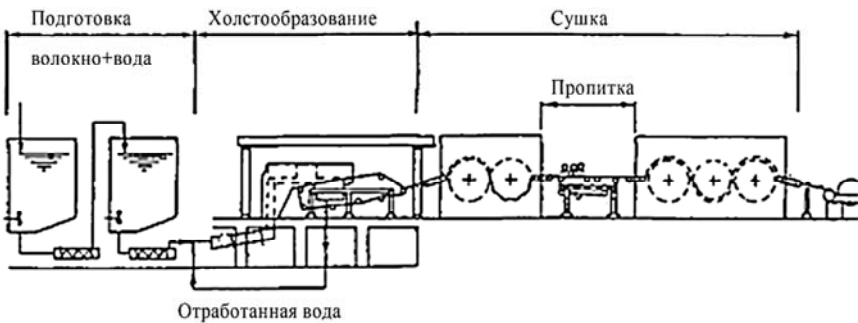


Рис. 3.14. Принципиальная схема установки гидродинамического формирования холста НТМ

При этом способе в специальных емкостях образуется дисперсия волокна в воде с концентрацией 0,01–0,1 %. Дисперсия перемешивается

вается 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 данного способа 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 гидродинамическому способу можно формировать холсты для изготовления тяжелых и среднетяжелых нетканых материалов, используемых в производстве линолеума, геотекстильных материалов, фильтров с большой плотностью, гидро- и электроизоляционных материалов.

Производство НТМ из сформированного волокнистого холста осуществляется иглопробивным, вязально-прошивным и клеевым способами.

Самым распространенным является иглопробивной, при котором можно использовать холсты, сформированные механическим и аэродинамическим способами. По этой технологии производят НТМ из холста плотностью 50–2000 г/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).

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/м^2 , полученные иглопробивным способом из текстильных отходов. Такие материалы, изготавливаемые из регенерированных волокон, обладают прекрасными акустическими и механическими свойствами.

Иглопробивным способом изготавливаются и геотекстильные материалы. Они имеют плотность холста $250\text{--}850 \text{ г/м}^2$ и предназначены для фильтрации и стабилизации насыпаемого на них фунта.

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 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 выполнять закрепляющую роль и обеспечить прочность изделия.

Вязально-прошивным способом из восстановленных волокон изготавливают одеяла, упаковочные материалы, подкладочные материалы для мебели и обуви, напольных покрытий (линолеума и ковра) с плотностью холста $200\text{--}400 \text{ г/м}^2$.

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. 3.15 показана поточная линия для производства НТМ путем закрепления холста с помощью дисперсии связующего вещества.

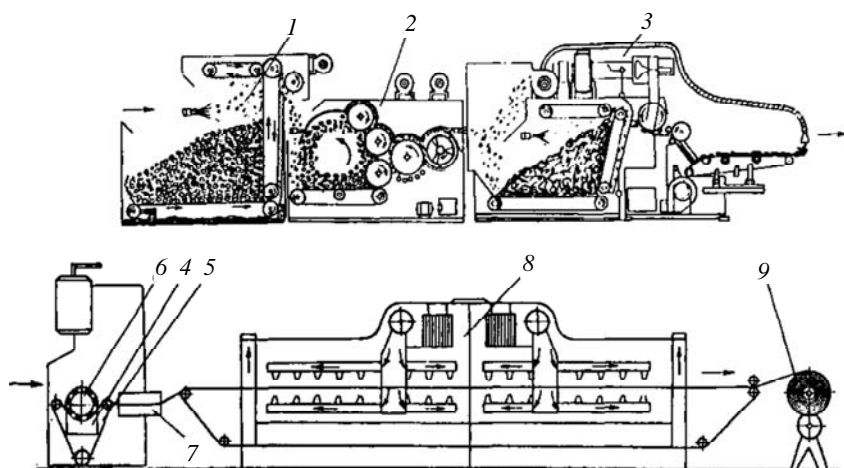


Рис. 3.15. Схема производства клеевого нетканого материала с пропиткой связующим

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 и далее в вакуумирующее устройство 6, где происходит стекание и удаление с помощью вакуума лишнего связующего. Затем материал высушивается в сушилке конвективного типа 8 и наматывается в рулоны 9.

Закрепление холста по другому способу изготовления клеевого 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 термоплавких полимеров проста и состоит из операций по формированию холста и его термической обработки. Вследствие этого указанная технология по сравнению с пропиткой холста дисперсией связующего и последующей сушкой имеет ряд преимуществ:

- возможность использования дешевых связующих полимеров;
- более высокая производительность;
- меньшие площади, занимаемые оборудованием;
- отсутствие сточных вод и вредных выбросов;
- менее высокая энергоемкость.

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.

3.6. Переработка полимерной тары

Утилизация полимерных отходов ввиду быстрого роста объема 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. Они достаточно однородны и 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.

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.

В общем виде последовательность операций при переработке отходов пластмасс с целью их повторного использования представлена на рис. 3.16.



Рис. 3.16. 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 схеме. Бытовые полимерные отходы, наоборот, нуждаются в тщательной подготовке. Производственная схема переработки таких отходов пластмасс приведена на рис. 3.17.

Переработка технологических отходов термопластов должна начинаться с определения степени изменения их свойств и выбора наиболее эффективной технологии использования.

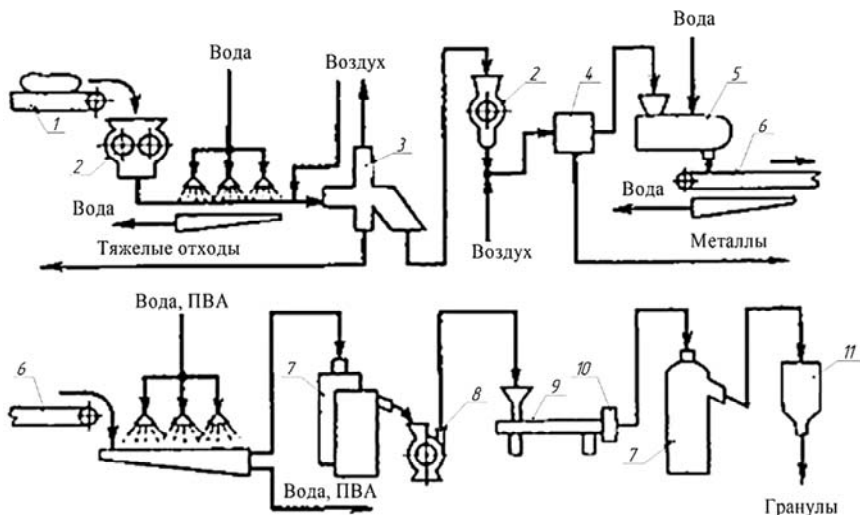


Рис. 3.17. Производственная схема переработки отходов пластмасс:
 1 – конвейер; 2 – дробилка; 3 – воздушный классификатор; 4 – магнитный сепаратор;
 5 – промыватель; 6 – конвейер; 7 – центробежные сушилки; 8 – дробилка; 9 – бункер;
 10 – экструдер; 11 – бункер для гранул

Высокое качество готовых изделий и стабильность технологического процесса могут быть обеспечены лишь при равномерном нитровании 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 стандартизированы, имеет смысл создавать специализированные предприятия по их переработке. 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 свои стабилизирующие вещества.

Сбор и сортировка отходов пластмасс являются наиболее слабым звеном в процессе организации переработки как технологических отходов, так и 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. Это 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 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 на сторону, их сортировка должна производиться на местах образования, так как переработка нерассортированных отходов у потребителя связана с 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, 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.

4. ТЕРМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ОТХОДОВ

Термическая переработка отходов представляет собой совокупность процессов теплого воздействия на отходы, необходимых для уменьшения их объема и массы, обезвреживания, получения энергоносителей и инертных материалов (с возможностью утилизации).

4.1. Классификация методов термической переработки

В настоящее время для практического использования предложены десятки вариантов термических технологий, большинство из которых рекламируется как лучшие в мировой практике. Поэтому весьма важно определить оптимальную область применения каждого метода и его реальную практическую ценность.

Критический анализ и сопоставление термических технологий невозможны без их четкой классификации.

В зависимости от температуры процесса все методы термической переработки ТБО, нашедшие промышленное применение или прошедшие опытную апробацию, можно разделить на две большие группы: процессы при температурах ниже температуры плавления шлака и процессы при температурах выше температуры плавления шлака. В свою очередь, по принципиальному характеру процесса из этих групп можно выделить по три подгруппы, которые поддаются детальной классификации по конкретному виду применяемой технологии (табл. 4.1).

Таблица 4.1

Классификация методов термической переработки

№ п/п	Группа (температура процесса)	Подгруппа (принципиальный характер процесса)	Вид (применяемая технология)
1	2	3	4
1	I. Термические процессы при температурах ниже температуры плавления шлака	1. Слоевое сжигание с принудительным перемешиванием и перемещением материала	а) Переталкивающие решетки б) Валковые решетки в) Вращающиеся барабанные печи
		2. Сжигание в кипящем слое	а) Стационарный кипящий слой б) Вихревой кипящий слой в) Циркулирующий кипящий слой
		3. Сжигание-газификация в плотном слое кускового материала без принудительного перемешивания и перемещения материала	Паровоздушная газификация (процесс Института проблем химической физики РАН в Черноголовке)
2	II. Термические процессы при температурах выше температуры плавления шлака	1. Сжигание в слое шлакового расплава	а) Использование обогащенного кислородом дутья (процесс Ванюкова) б) Использование в качестве дутья природного газа (фьюминг-процесс) в) Использование электрошлакового расплава
		2. Сжигание в плотном слое кускового материала и шлаковом расплаве без принудительного перемешивания и перемещения материала	Доменный процесс (с использованием подогретого до 1000 °С воздуха)

1	2	3	4
2	III. Термические процессы при температурах выше температуры плавления шлака	3. Комбинированные процессы	<p>а) Пиролиз-сжигание пирогаза и отсепарированного углеродистого остатка с использованием необогащенного дутья (процесс «Siemens»)</p> <p>б) Пиролиз-газификация (получение синтез-газа при совместной термообработке пирогаза, отсепарированного от металлов углеродистого остатка и минеральных компонентов) с использованием обогащенного кислородом дутья (процесс «Noell»)</p> <p>в) Пиролиз-газификация (получение синтез-газа при совместной термообработке пирогаза, углеродистого остатка и минеральной фракции) с использованием обогащенного кислородом дутья (процесс «Thermoselect»)</p>

Основные факторы, влияющие на выбор термической технологии: степень готовности процесса к промышленному использованию, допустимая производительность оборудования, эколого-экономические критерии (экологическое влияние, капитальные и эксплуатационные затраты), эксплуатационные критерии (кампания печи, межремонтный пробег вспомогательного оборудования, ремонтпригодность, надежность в работе, возможности автоматизации).

Термические процессы, осуществляемые при температурах менее 1300 °С, применяют часто. Наиболее распространенные в практике процессы – слоевое сжигание при температуре 900–1000 °С и сжигание в кипящем слое при температуре 850–950 °С – требуют принудительного перемешивания и перемещения материала. Весьма перспективный процесс сжигания-газификации отходов в плотном

слое реализуется без принудительного перемешивания и перемещения материала.

4.2. Термические методы переработки при температурах ниже температуры плавления шлака

Слоевое сжигание с принудительным перемешиванием и перемещением материала при переработке. Слоевое сжигание ТБО осуществляют на подвижных решетках (колосниковых и валковых) и во вращающихся барабанных печах.

Наиболее распространенной в мировой практике технологией термической переработки неподготовленных смешанных отходов, которую можно назвать традиционной, является технология сжигания на подвижных решетках.

Конкурентоспособными являются:

- поступательно-переталкивающие решетки;
- обратнопереталкивающие решетки;
- решетки валкового типа.

Все колосниковые решетки устанавливаются в топке, которая представляет собой камеру сгорания, куда подаются отходы и дутьевой воздух в качестве окислителя органических веществ. Эффективность сжигания отходов во многом зависит от комбинационных конструктивных решений топки и колосниковой решетки.

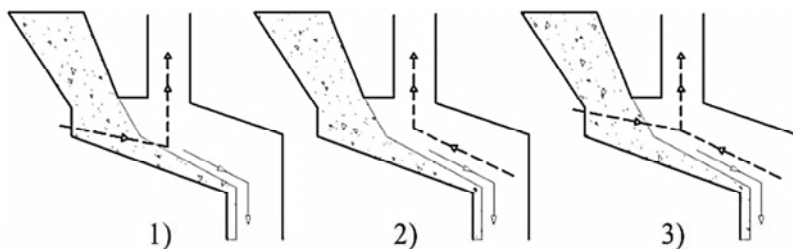


Рис. 4.1. Устройство топочной камеры:
1 – Deutsche Babcock; 2 – Martin; 3 – Steinmuller

Можно отметить три принципиальных варианта конструктивного решения системы «топка–решетка» (рис. 4.1):

– система фирмы «Deutsche Babcock Anlagen GmbH» (Германия) с прямым потоком газов в топочном пространстве оптимальная для

сжигания сухих отходов с высокой теплотворной способностью – 2800–3000 ккал/кг; наиболее горячая зона характерна для нижней части решетки, поэтому влажные отходы в начале решетки плохо подсушиваются;

– система фирмы «Martin GmbH» (Германия) с обратным по отношению к перемещаемому материалу потоком газов оптимальна для сжигания влажных отходов с низкой теплотворной способностью – около 1700 ккал/кг;

– система фирмы «Steinmuller» (Германия) со средним потоком газов (компромиссный вариант) оптимальна для сжигания отходов переменного состава и переменной влажности.

Барабанные вращающиеся печи для сжигания исходных (неподготовленных) ТБО применяют очень редко; чаще эти печи используют для сжигания жидких и пастообразных промышленных отходов, обладающих низким абразивным действием.

Сжигание в кипящем слое осуществляется на основе создания двухфазной псевдогомогенной системы «твердое–газ» при превращении слоя отходов в «псевдожидкость» под действием восходящего потока газа, достаточного для поддержания твердых частиц во взвешенном состоянии. Слой напоминает кипящую жидкость, и его поведение подчиняется законам гидростатики.

Технология сжигания ТБО в кипящем слое впервые реализована в начале 80-х годов XX века в Японии. К середине 90-х годов этот метод получил достаточно широкое распространение (например в Японии на его долю приходится около 25 % ТБО, подвергаемых термической переработке). Считается, что сжигание в кипящем слое по эколого-экономическим параметрам в ряде случаев превосходит традиционное слоевое сжигание. Развитие этого метода в Японии прогнозируется и в будущем, в том числе и за счет модернизации устаревших заводов.

Печи для сжигания ТБО в кипящем слое обеспечивают наилучший режим теплопередачи и перемешивания обрабатываемого материала и по этим характеристикам превосходят котлоагрегаты с переталкивающими решетками; кроме того, аппараты кипящего слоя не имеют движущихся частей или механизмов. Однако необходимость обеспечения режима псевдооживления обрабатываемого материала накладывает ограничение на его гранулометрический и морфологи-

ческий состав, а также на теплотворную способность; в ряде случаев процесс сжигания в кипящем слое (особенно в циркулирующем кипящем слое) оказывается дороже, чем слоевое сжигание.

Ведущие фирмы в области сжигания в кипящем слое – «Lurgi AG» (Германия), «Ебага» (Япония), «Foster Wheeler» (США). Технология японской фирмы «Ебага» реализована на нескольких десятках японских заводов; в европейских странах распространена под названием «Rowitex»; аналогичная система известна под названием «Pyroflow» (фирма «Ahlstrom», Финляндия). Сжигание в кипящем слое заложено в проекты заводов по комплексной переработке ТБО «Руднево» (Москва) и «Тимохово» (Московская область).

Производительность печей для сжигания ТБО в кипящем слое – от 3 до 25 т/ч. Преобладающая температура сжигания – 850–920°С.

В связи с более низкой (на 50–100 °С) температурой сжигания ТБО в кипящем слое по сравнению со слоевым сжиганием заметно снижается возможность образования оксидов азота за счет окисления азота воздуха, в результате чего снижаются выбросы NO_x с отходящими газами. Кроме того, при сжигании в кипящем слое значительно легче связать кислотные соединения серы и хлора путем добавки в топочное пространство соединений кальция (например, известняка).

В зависимости от характера псевдооживления различают три модификации кипящего слоя:

- стационарный кипящий слой;
- вихревой кипящий слой;
- циркулирующий кипящий слой.

Роль теплоносителя в системах кипящего слоя обычно выполняет тонкозернистый песок, поверхность частиц которого создает большую по сравнению с традиционным колосниковым сжиганием поверхность нагрева.

После разогревания песка с помощью запальной горелки до 750–800 °С начинают подачу отходов в кипящий слой, где они смешиваются с песком и в процессе движения истираются. В результате хорошей теплопроводности песка отходы начинают быстро и равномерно гореть. Выделяющееся при этом тепло обеспечивает поддержание песка в горячем состоянии, что позволяет работать в автогенном режиме без подвода дополнительного топлива для поддержания режима горения.

Печи для переработки и сжигания ТБО с вихревым кипящим слоем. Различают одно- и двухвихревой кипящий слой. Роль направляющего аппарата, определяющего характер кипящего слоя, выполняют пластины, наклоненные по отношению к желобу системы шлакоудаления. Под действием потоков воздуха происходит принудительное эллиптическое движение кипящего слоя. Первичный воздух подается в топку через несколько воздухопроводов, причем скорость потока воздуха возрастает по направлению к желобу шлакоудаления.

Общий схематический вид установки сжигания ТБО в двухвихревом кипящем слое приведен на рис. 4.2.

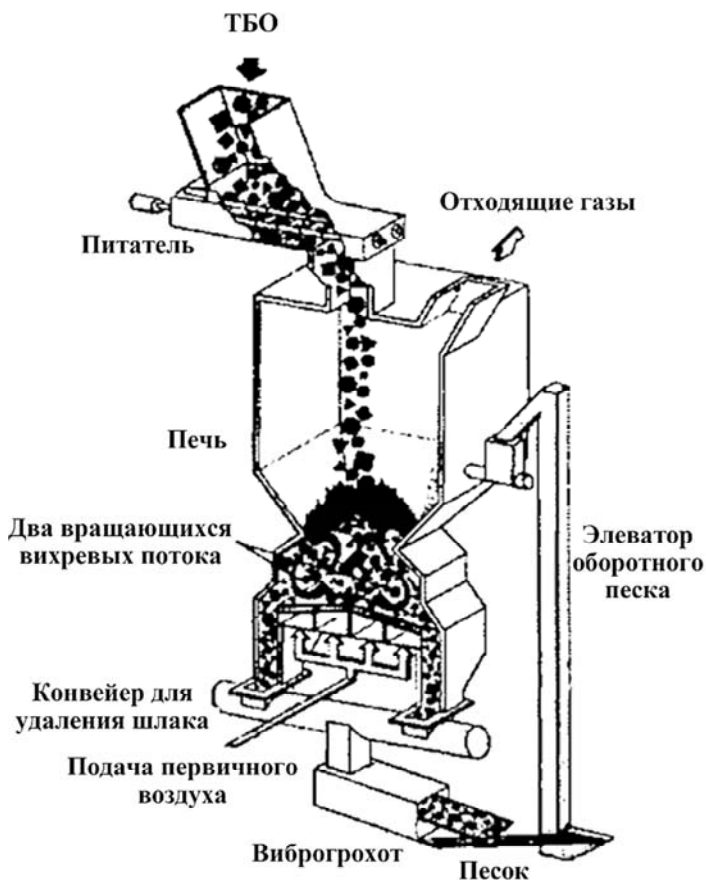


Рис. 4.2. Сжигание отходов в вихревом кипящем слое

Эффективность процесса сжигания отходов в значительной степени обеспечивается следующим конструктивным выполнением камеры сжигания:

– фурменное днище камеры состоит из нескольких секций, через которые вводится различное количество дутьевого воздуха, чтобы обеспечить ожигение и вихревое движение слоя загрузки; скошенная форма фурменного днища облегчает выгрузку;

– дефлекторы в верхней части топочной камеры обеспечивают направление вихревого движения, определяют степень расширения кипящего слоя и предотвращают вынос песка из слоя, благодаря чему удается удерживать точные геометрические размеры слоя;

– два вращающихся в противоположных направлениях потока эллиптической формы, соприкасающиеся в середине, обеспечивают оптимальное распределение и ворошение отходов, благодаря чему достигается более чем 99%-е сгорание отходов и предотвращение подпора при загрузке новых отходов.

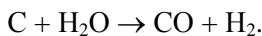
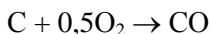
Чтобы достичь полного сгорания летучих компонентов, в зону высокой турбуленции подается вторичный воздух, который интенсивно перемешивается с горючими газами и способствует их полному дожиганию в вышерасположенном реакционном пространстве, в котором поддерживается температура 850 °С (время пребывания газов в этой зоне составляет 5 с).

Для регулирования температуры периодически осуществляется рециркуляция дымового газа.

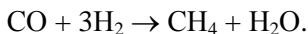
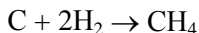
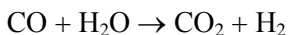
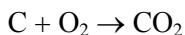
Сжигание-газификация в плотном слое кускового материала без принудительного перемешивания и перемещения материала.

Газификация ТБО – превращение органических компонентов в горючий газ, состоящий главным образом из СО и Н₂, при высокой температуре в присутствии окислителя (газифицирующего агента).

Газификацию можно рассматривать как процесс неполного окисления углерода. Часто окислителями служат О₂ и водяной пар:



Наряду с основными реакциями осуществляются и другие:



Таким образом, продукт-газ всегда содержит некоторые количества CO_2 , H_2O и CH_4 , иногда – высшие углеводороды. Компоненты ТБО, содержащие атомы серы и азота, образуются H_2S и NO_2 .

Скорость реакций неполного окисления углерода существенно зависит от температуры, которую устанавливают, обычно исходя из технологических соображений (в зависимости от способа удаления шлака и т. п.).

Необходимую температуру процесса можно обеспечить, изменяя состав дутья (в частности, соотношение водяного пара и O_2) и его начальную температуру.

Продукт-газ служит топливом (в котлах электростанций, технологических топках, отопительных котельных установках), при сжигании которого выделяется незначительное количество соединений, загрязняющих окружающую среду.

Институтом проблем химической физики Российской академии наук (ИПХФ РАН) в Черноголовке разработан процесс сжигания отходов на основе газификации с последующей утилизацией газа в обычных энергетических установках. Процесс характеризуется высокой степенью использования энергетического потенциала сырья, подвергаемого термообработке (процесс назван авторами сверхадиабатическим горением). Технология газификации продана в Финляндию и в 1998 г. реализована в промышленном масштабе при переработке ТБО.

Процесс осуществляется в реакторе (рис. 4.3) типа вертикальной шахтной печи с внутренним диаметром 1,6 м (внешний диаметр – 2,5 м) и высотой 7,3 м. Корпус реактора представляет собой трубу со стенкой толщиной 6 мм.

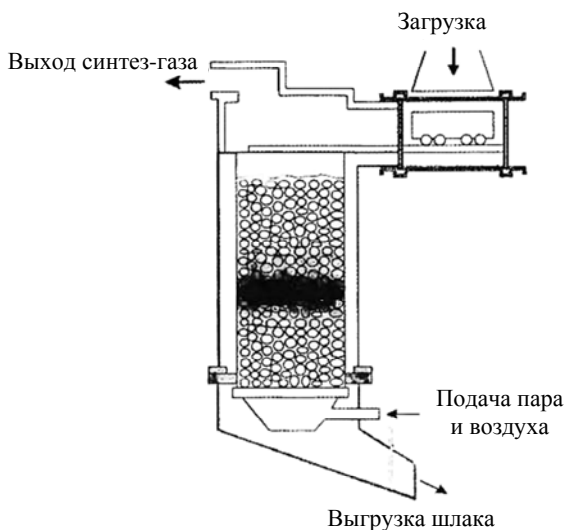


Рис. 4.3. Реактор газификации в плотном слое кускового материала без принудительного перемешивания и перемещения отходов

Внутри труба изолирована слоем шамота (~ 0,5 м), снаружи покрыта слоем изоляции и алюминиевым кожухом (в процессе работы печи кожух нагревается до 50 °С). Загрузка реактора осуществляется сверху с помощью цилиндра с поршнем, выгрузка шлака из реактора – с помощью вращающегося конуса с ребрами (на конус приходится почти вся нагрузка находящегося в реакторе материала). Отходы подаются в реактор в соотношении 1 : 0,4 с инертным материалом типа шамота. Регламентируемая крупность отходов – 200 мм (допускаются отдельные куски макулатуры и пластмассы крупностью до 250 мм); регламентируемая крупность инертного материала (шамот) – 120–70 мм. Шамот выполняет функцию теплоносителя и создает оптимальные условия для реакции газификации. В качестве газифицирующего агента используется паровоздушная смесь (температура 60–80 °С), которая подается в реактор снизу.

Процесс газификации проводится при относительно малых линейных скоростях газового потока и лимитируется сопротивлением прохождению газа сквозь толщу материала. Зона газификации расположена несколько ниже середины реактора. Максимальная температура

в зоне газификации составляет 1200 °С; здесь концентрируется выделяющееся при горении отходов тепло. Оно используется на получение водорода из воды и оксида углерода из углеродосодержащих соединений.

Продукты газификации (газ и шлак) выводятся из реактора при температуре менее 150 °С, что характеризует весьма высокий тепловой КПД реактора.

Полученный синтез-газ (смесь водорода, оксида и диоксида углерода, азота и водяного пара, присутствуют углеводороды и аэрозоли пиролизных смол), имеющий теплотворную способность около 1200 ккал/кг, направляется на сжигание в паровом котле с топкой при избытке вторичного воздуха. Мощность на горелке – 10 МВт. Перегретый пар из котла может являться питанием паровой машины с электрогенератором.

Поскольку процесс паровоздушной газификации проводится в плотном слое кускового материала при относительно малых линейных скоростях потока, в синтез-газе, который выводится из реактора сверху, практически отсутствует золоунос. Перемещение твердого материала в реакторе происходит под действием силы тяжести. Материал последовательно проходит зоны подогрева, сушки, пиролиза и газификации, перемещаясь сверху вниз. Получаемый в результате процесса шлак практически не содержит недожога и после выгрузки из реактора подвергается грохочению для отделения инертного материала, используемого в качестве оборотного.

По данным эксперимента и расчетов производительность одного реактора – 1,8 т/ч (по рабочей массе исходных ТБО), в случае газификации обогащенной фракции ТБО производительность реактора возрастает до 2,7 т/ч.

Удельные расходы воздуха, некоторых материалов и энергии в процессе газификации обогащенной фракции ТБО:

– дутьевой воздух – около 5000 м³/т (в том числе первичное дутье – 1000 м³/т, вторичное дутье при сжигании синтез-газа – около 4000 м³/т);

– водяной пар – около 300 м³/т;

– электроэнергия – около 40 кВт·ч/т.

Объем отходящих газов – около 5000 м³/т. Выход синтез-газа при термообработке 1 т отходов составляет 2,3 т.

По расчетам производство электроэнергии составляет 330 кВт·ч/т газифицируемых отходов, производство пара – 2,3 т/т.

Основные требования к отходам, направляемым в процесс газификации: крупность не более 200 мм (допускается, как отмечено, крупность 250 мм для отдельных кусков бумаги и полимерной пленки), теплотворная способность не менее 1500 ккал/кг. Эти требования обеспечиваются на стадии обогащения отходов введением в технологическую схему соответствующих операций, которые позволяют также предотвратить попадание в процесс металлов, экологически опасных компонентов и, при необходимости, мелкой фракции ТБО.

Усреднение состава горючих отходов и их равномерная подача в процесс термообработки являются необходимыми условиями обеспечения стабилизации термического процесса, повышения эффективности этой операции и последующей газоочистки.

4.3. Термические методы переработки ТБО при температурах выше температуры плавления шлака

Сжигание отходов (ТБО) в слое шлакового расплава

Сжигание в шлаковой ванне с использованием обогащенного кислородом дутья (процесс Ванюкова). Наиболее очевидным способом повышения температуры сгорания отходов является уменьшение содержания в используемом окислителе (воздухе) доли инертного компонента (азота), на нагрев которого расходуется значительная часть выделяющейся энергии. При этом может быть использовано и более простое оборудование для сжигания, например, шлаковые ванны, в которых отсутствуют какие-либо движущиеся части.

Вторым значительным преимуществом сжигания в кислороде является резкое сокращение объема дымовых газов и, следовательно, снижение затрат на газоочистку. Кроме этого, сниженная концентрация азота в дутьевом воздухе позволяет уменьшить количество образующихся при высоких температурах оксидов азота, очистка от которых представляет собой серьезную проблему.

В начале 90-х годов XX века для термической переработки ТБО при температуре 1350–1400 °С предложены металлургические печи Ванюкова (рис. 4.4).

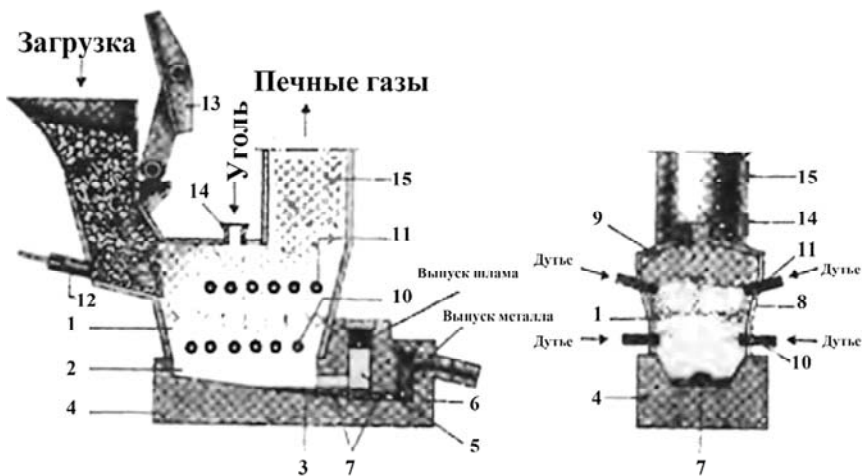


Рис. 4.4. Переработка отходов в печи Ванюкова:

1 – барботируемый слой; 2 – слой спокойного шлака; 3 – слой металла; 4 – огнеупорная подина; 5 – сифон для выпуска шлака; 6 – сифон для выпуска металла; 7 – переток; 8 – водоохлаждаемые стенки; 9 – водоохлаждаемый свод; 10 – барботажные фурмы; 11 – фурмы для дожигаания; 12 – загрузочное устройство; 13 – крышка; 14 – загрузочная воронка; 15 – патрубок газоотвода

Сжигание осуществляется в кипящем слое барботируемого шлакового расплава (образуется из загружаемых в печь золошлаковых отходов ТЭЦ). ТБО сбрасываются в ванну и погружаются в интенсивно перемешиваемый вспененный расплав. Барботаж расплава осуществляется с помощью окислительного кислородно-воздушного дутья, подаваемого через фурмы в нижней части боковых стенок печи (ниже уровня расплава); для дожигаания дымовых газов предусмотрена подача дутья через ряд верхних фурм (выше уровня расплава). Минеральная часть отходов растворяется в шлаке, а металлические компоненты расплавляются. Для получения шлака заданного состава в печь загружают флюс (рекомендуется известняк).

Шлак, выпускаемый из печи в сифон (непрерывно или периодически), рекомендуется подавать в жидком виде на переработку в строительные материалы. Теоретически в донной фазе должен получаться металл, однако практически в ходе опытных испытаний его получить не удалось (по объективным причинам: относительное содержание металлов в ТБО невелико, и они могут теряться в шлаковом

расплаве механически либо окисляться и снова переходить в шлаковую фазу и прочее). Для повышения выхода металла в донной фазе печи предложено добавлять к ТБО металлосодержащие промышленные отходы.

В случае пониженной теплотворной способности ТБО в качестве дополнительного источника тепла можно использовать уголь или природный газ. Производительность печи по твердым отходам – около 15 т/ч.

Процесс Ванюкова применительно к ТБО испытан в печи с площадью пода около 3 м², установленной на опытном заводе института «Гинцветмет» в г. Рязань (РОЭМЗ); загрузка ТБО в печь осуществлялась вручную (отходы предварительно затаривались в сетки).

Основные потенциальные преимущества процесса Ванюкова (применительно к ТБО) по сравнению с традиционным слоевым сжиганием ТБО: существенное снижение количества отходящих газов (за счет использования обогащенного кислородом дутья) и получение безвредного шлакового расплава.

Процесс Ванюкова и шлаковая ванна нашли применение в цветной металлургии для плавки медных концентратов.

Механический перенос этого процесса для широкомасштабной термической переработки ТБО не оправдан по четырем причинам:

- несопоставимость задач, решаемых при промышленной переработке руд и ТБО (в первом случае задача связана с получением металла с максимально возможным его извлечением, во втором – с обезвреживанием отходов, уменьшением их количества, материальной и энергетической утилизацией; в то же время тепловой КПД печи Ванюкова из-за высокой температуры отводимых газов – 1400–1600 °С – очень низок);

- несопоставимость состава и свойств медных концентратов и ТБО (в первом случае в переработку поступает минеральное сырье, во втором – преимущественно органическое, так как ТБО на 70–80 % представлены органическими компонентами; при нагревании минеральные вещества переходят в жидкую фазу, органические – в газообразную);

- отсутствие широкомасштабных испытаний процесса применительно к ТБО (не отработаны: узлы загрузки и разгрузки, автоматизация процесса, учитывающая колебания состава сырья, состава и объема отходящих газов и др.; не отработана и не доказана автогенность процесса применительно к термообработке отходов как гетерогенной

смеси многих компонентов, отличающихся составом, крупностью и теплотворной способностью: колебания в составе ТБО несопоставимы с колебаниями в составе порошкообразных концентратов при их плавке в печи Ванюкова – за счет тщательного усреднения колебания в составе концентратов не превышают 0,5 %, исходные ТБО усреднению практически не поддаются);

- высокая стоимость процесса и оборудования.

По эксплуатационно-техническим показателям процесс Ванюкова уступает другим технологиям:

- запуск печи достаточно сложен и занимает 7–8 суток (разработанный ИПХФ РАН в Черноголовке реактор газификации запускается за 2–3 часа);

- низкая кампания печи (не более одного года);

- полная и закономерная потеря металлов в шлаке при переработке реальных ТБО;

- сложность создания безынерционной системы автоматического регулирования процесса и, соответственно, сложность поддержания заданной температуры без дополнительного расхода энергии;

- низкий тепловой КПД печи Ванюкова;

- сильное пылеобразование.

Каких-либо преимуществ в отношении решения проблемы диоксинов печь Ванюкова не имеет, так как процесс образования этих соединений является обратимым. В 1987 г. было показано, что повышение температуры при сжигании ТБО до 1500 °С и изменение времени пребывания газов в печи от 2 до 6 с не приводит в конечном итоге к ликвидации дибензодиоксинов и дибензофуранов в отходящих газах, так как они вновь образуются при понижении температуры.

Таким образом, предложение использовать для промышленной термической переработки ТБО металлургический процесс Ванюкова не обосновано технологически, экологически и экономически, а также не доказано практически. Совершенно очевидно, что в схемах комплексной переработки ТБО, предусматривающих направление на термическую переработку обогащенной (преимущественно горючей) фракции отходов печь Ванюкова неприменима в принципе (при содержании в отходах 5–10 % минеральных компонентов нет никакого смысла поддерживать в постоянном напряжении шлаковый расплав массой около 100 т). Вместе с тем вполне вероятно,

что процесс Ванюкова можно использовать для переработки подходящих металлосодержащих промышленных отходов.

Что касается совместной переработки ТБО с промышленными отходами, то такая задача не актуальна и не обоснована (мощностей для переработки ТБО не хватает, системы сбора и транспортировки отходов различны); в большинстве случаев смешивание отходов недопустимо.

Сжигание отходов (ТБО) в плотном слое кускового материала и шлаковом расплаве без принудительного перемешивания и перемещения материала (доменный процесс)

Для термической переработки твердых бытовых и промышленных отходов любого состава НИИЦ «Экология» РАН предложено использовать шахтные печи (по конструкции аналогичны доменным печам). Подлежащие переработке отходы смешиваются с низкосортным углем (расход угля – 25–30 % от количества загружаемых в печь отходов) и известняком (расход известняка – 30 % от количества загружаемых в печь отходов), загружаются сверху в печь и продуваются предварительно подогретым до 1000–1400 °С воздухом, обеспечивающим получение в нижней части печи газов с температурой не менее 2000 °С (воздух подогревается в специальных подогревателях – кауперах, представляющих собой металлические футерованные емкости с керамическими элементами в виде шариков из диоксида циркония или алюминия).

Для переработки 60 тыс. т отходов в год необходима доменная печь объемом 200 м³ (высота – 18 м, диаметр горна – 4,25 м). Продукты высокотемпературной переработки – жидкий металл (чугун) и жидкий расплав шлака – предлагается перерабатывать в изделия (без повторного их нагрева). Предлагается также утилизировать тепло отходящих газов (производство тепловой и электрической энергии).

Преимущество предлагаемого процесса перед другими авторы видят в следующем: использование добавок угля и известняка, экологическая безопасность и высокая рентабельность, возможность переработки любых отходов, возможность получения товарной продукции широкого спроса.

В целях формулирования обоснованного вывода о возможности использования доменных печей для переработки ТБО необходима

полная программа промышленных испытаний; лабораторные испытания термообработки отходов совершенно недостаточны для моделирования промышленного металлургического процесса, особенно тягодутьевого режима.

Очевидно, нет необходимости смешивать ТБО с любыми другими отходами. Система сбора ТБО и их доставки на завод отличается от других отходов; допустима лишь совместная переработка с ТБО отходов, к ним приравненных; как отмечено, объемы образования ТБО таковы, что не хватает мощностей для их промышленной переработки, поэтому организация совместной переработки ТБО и других многотоннажных твердых отходов не актуальна.

Серьезным недостатком предлагаемой технологии является необходимость подачи в процесс больших количеств угля и известняка (необходимость дополнительного складского помещения, дополнительных транспортных систем для подачи в печь, сложность шихтовки материалов, зависимость от поставщиков и прочее). При плавке железных руд это оправдано, при переработке ТБО это является осложняющим, неоправданным фактором (суммарный расход угля и известняка около 60 % от количества ТБО). К тому же морфологический состав ТБО не позволяет эффективно выделять металлический расплав в донной фазе (очевидно, требуется добавка к ТБО подходящих отходов с высоким содержанием металла), и технология применения доменного процесса к ТБО вряд ли оправдана (прежде всего по экономическим соображениям).

Фактически в предлагаемом процессе безвозвратно теряются ценные компоненты ТБО (алюминий, олово, черный металл), которые можно выделить в самостоятельные продукты при сортировке. Реализация получаемого по данной технологии металлического расплава проблематична.

Поскольку преимущества данного процесса по сравнению с известными термическими технологиями не ясны (за исключением восстановительной атмосферы выше зоны шлакового расплава, что снижает вероятность образования диоксинов), температура процесса применительно к ТБО не оправдана, так же как не оправданы и добавки угля и известняка при больших расходах, строительство заводов с их комплектацией доменными печами представляется необоснованным.

Пиролиз-сжигание пирогаза и отсепарированного углеродистого остатка с использованием небогащенного дутья (процесс «Siemens»)

На опытно-промышленной установке в г. Ульм-Виблинген (Германия) концерном «Siemens KWU» испытана технология переработки ТБО «пиролиз-сжигание», или SBV-технология («Schwel-Brenn-Verfahren»). Начало испытаний относится к 1988 г.

Технология SBV включает (рис. 4.5, 4.6):

- дробление отходов в ножевой дробилке до размера менее 200 мм;
- пиролиз отходов при 450 °С в течение одного часа в барабанной печи (4 об/мин), снабженной обогреваемыми внутренними лопастями (обогрев дымовыми газами с температурой 600 °С), с образованием пиролитического газа и пиролитического твердого остатка (смесь углерода и минеральных компонентов);
- выделение из пиролитического остатка металлов и минеральных компонентов (камни, стекло и прочее) грохочением (отбор фракции более 5 мм; выход фракции 12–13 %);
- отделение черных и цветных металлов от минеральных компонентов;
- измельчение углеродистого остатка в шаровой мельнице до крупности менее 100 мкм;
- совместное сжигание при небольшом избытке воздуха угольной пыли и пиролитического газа при температуре 1300 °С с образованием расплава шлака (выход шлака 12–13 %);
- утилизацию тепла дымовых газов в котле-утилизаторе и выработку электроэнергии в турбогенераторе (350–450 кВт·ч/т).

В получаемом на выходе из пиролитического барабана материале все органические составляющие исходных ТБО превращаются в углеродистый остаток, который отделяется от минеральной части грохочением. Поскольку температура в пиролизной печи (450 °С) существенно меньше, чем в печи сжигания (850 °С), то многие компоненты ТБО (черные и цветные металлы, стекло и прочие) не претерпевают никаких изменений, а лишь очищаются от органических загрязнений, что упрощает их выделение и утилизацию. Отделение минеральной составляющей отходов перед процессом сжигания существенно повышает экологическую безопасность метода, так как

в дымовые газы и золу переходит существенно меньшее количество вредных веществ (прежде всего тяжелых металлов).

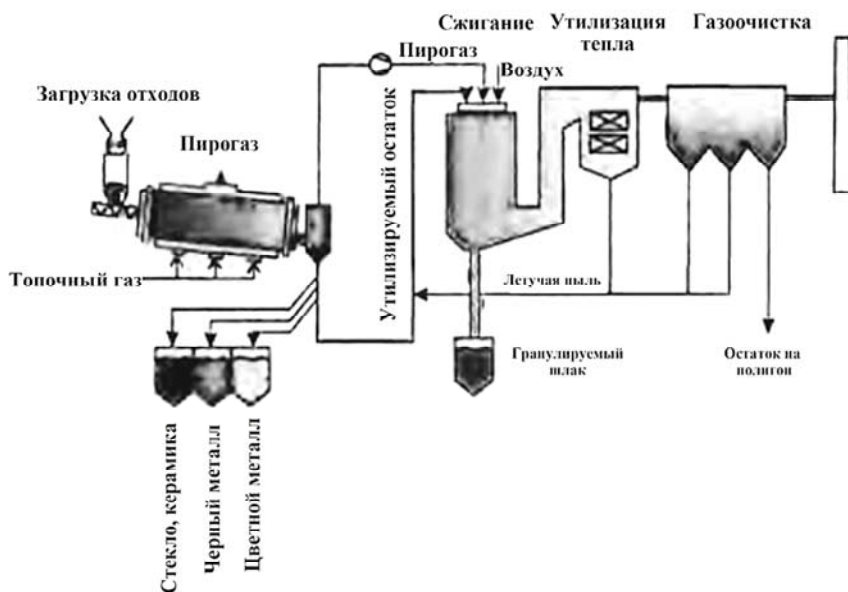


Рис. 4.5. Переработка отходов по технологии фирмы «Siemens KWU»

Использование барабанной печи с лопастями представляется не самым удачным вариантом для пиролиза ТБО, так как в результате плавления содержащихся в отходах пластмасс такие конструкции склонны к забиванию.

Достоинства метода:

- процесс является автогенным (не требует подвода энергии);
- получение экологически безвредного шлака (используется в качестве щебня).

Недостатки метода:

- дробление всей массы исходных ТБО;
- грохочение углеродистого продукта пиролиза, представляющего собой сажистый, сильно пылящий материал, загрязняющий отделяемые минеральные компоненты (последние переходят в класс +5 мм).

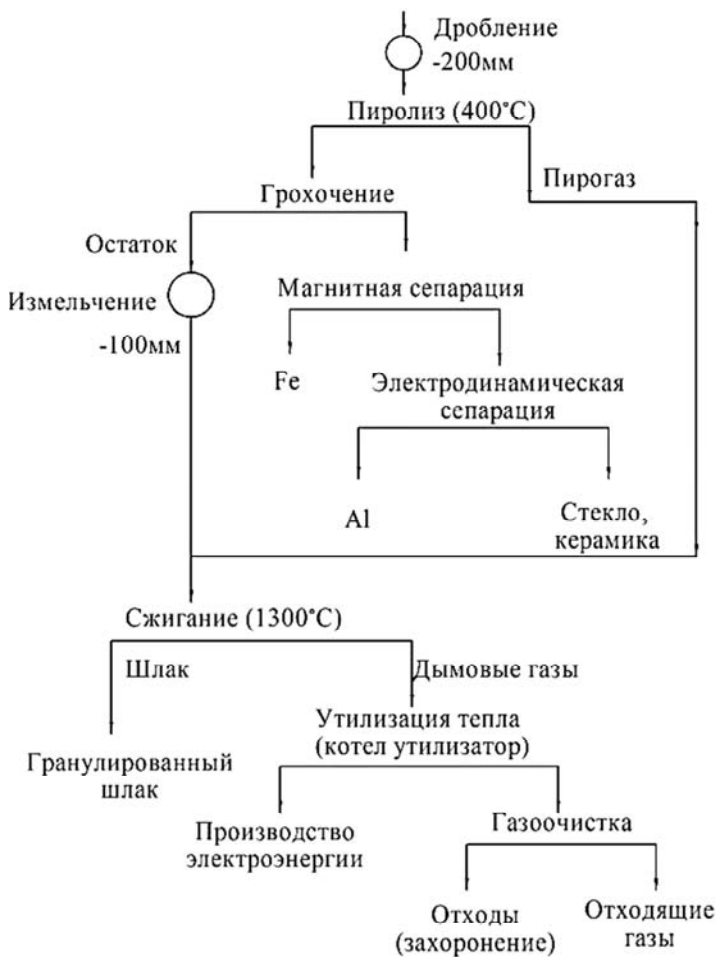


Рис. 4.6. Технологическая схема переработки ТБО фирмы «Siemens» (комбинация процессов пиролиз-сжигание)

По-видимому, присущие процессу недостатки явились одной из причин того, что пущенный в 1997 г. завод в г. Фюрт (Бавария) остановлен на неопределенный срок из-за серьезных неполадок в процессе (производительность – 100 тыс. т/год).

Повышения надежности технологии можно добиться, перерабатывая горючую фракцию ТБО, которая по сравнению с исходными

ТБО более стабильна по составу, имеет высокую теплотворную способность и меньшее содержание балластной минеральной части. В этом случае можно будет отказаться от операции грохочения пиролитического остатка, которая сопровождается образованием большого количества трудноулавливаемой угольной пыли, и использовать более эффективную технологическую схему переработки.

Пиролиз-газификация (получение синтез-газа при совместной термообработке пирогаза, углеродистого остатка и минеральной фракции) с использованием обогащенного кислородом дутья (процесс «Thermoselect»)

Технология фирмы «Thermoselect» (Италия-Швейцария) апробирована на опытно-промышленной установке производительностью 4,2 т/ч (около 100 т/сут) в г. Фондокоте (Италия). В промышленном масштабе технология реализована в 1998 г. в г. Карлсбё (Германия). Производительность – 220 тыс. т ТБО в год.

По технологии «Thermoselect» (рис. 4.7) исходные ТБО последовательно подвергаются дроблению, прессованию и пиролизу при температуре 600 °С в аппарате тоннельного типа длиной 15 м. Из пиролизной печи твердый углеродистый остаток вместе с минеральными компонентами, включая металлы, поступает в реактор газификации вертикального типа. В качестве газифицирующего агента используется кислород. Газификация с образованием оксида углерода происходит в нижней части реактора при контакте углеродистого остатка с кислородом. Температура при этом повышается до 2000 °С, и образовавшийся расплав поступает в шлаковую ванну, где разделяется на два слоя: металлический и собственно шлаковый. Образующийся синтез-газ выводится из верхней части реактора при 1200 °С, охлаждается и подвергается очистке и сжиганию с утилизацией энергии.

Недостатки процесса «Thermoselect»:

- дробление всей массы исходных ТБО;
- отсутствие предварительной сортировки ТБО;
- загрязнение синтез-газа летучими тяжелыми металлами (свинец, кадмий, ртуть, олово) и связанное с этим усложнение газоочистки;
- проблематичность утилизации металлического расплава.

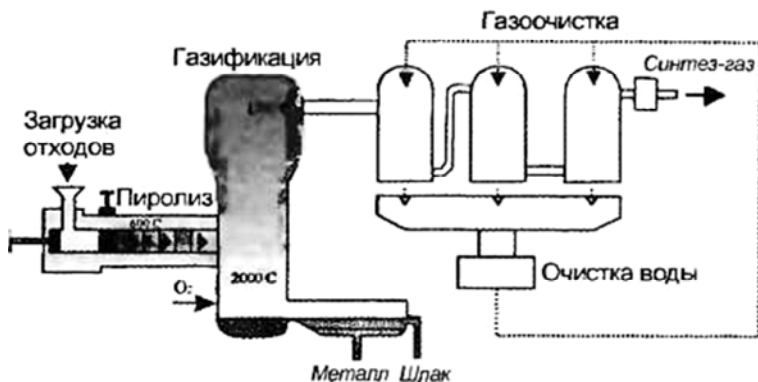


Рис. 4.7. Переработка отходов по технологии фирмы «Thermoselect»

Пиролиз-газификация (получение синтез-газа при совместной термообработке пирогаза, процесс «Noell»)

Технология фирмы «Noell» отработана на опытно-промышленной установке в г. Фрейбург (Саксония).

Главная часть технологической схемы (рис. 4.8) во многом аналогична схеме, разработанной концерном «Siemens-KWU», и включает в себя пиролиз дробленых (ножевая дробилка) ТБО в барабанной печи при 550 °С (в отличие от технологии SBV концерна «Siemens KWU» используется полая барабанная печь), сепарацию черных и цветных металлов из твердых продуктов пиролиза (в отличие от процесса «Siemens» другие минеральные компоненты от твердого углеродистого остатка не отделяются), тонкое измельчение не содержащего металлов материала.

Тонкоизмельченная смесь твердого углеродистого остатка и минеральных компонентов под большим давлением инжектируется в верхнюю часть реактора газификации, куда также вводится технический кислород и раздельно подаются остальные продукты пиролиза: охлажденный пирогаз, отделенный от пиролизных масел и воды, и жидкие продукты пиролиза (масла, вода) со следами пыли.

Процесс газификации с использованием в качестве газифицирующего агента технического кислорода осуществляется в цилиндрической реакционной камере, контуры которой формируются охлаждаемыми водой трубчатыми стенками. Газифицируемый материал

и кислород попадают в верхнюю часть реактора. При разложении органических веществ в реакторе образуется газ, содержащий CO и H₂ и свободный от высокомолекулярных углеводов.

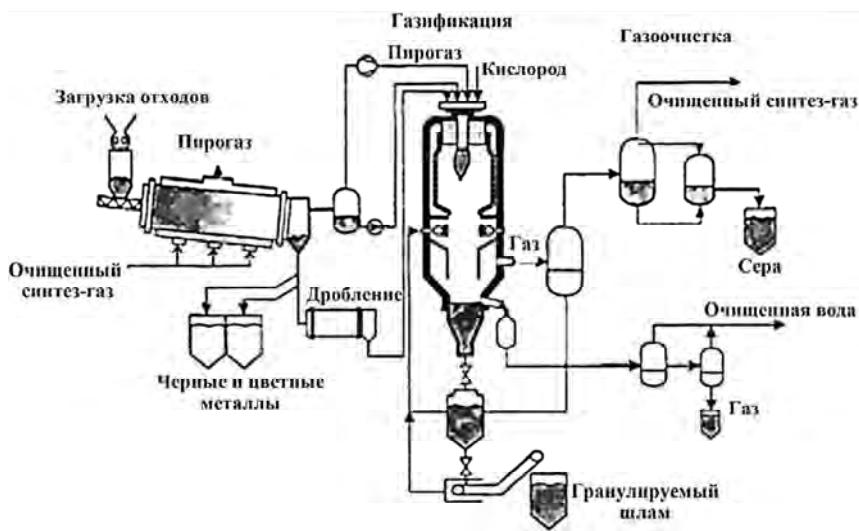


Рис. 4.8. Переработка отходов по технологии фирмы «Noell»

Температура реакции устанавливается таким образом, чтобы обеспечить плавление минеральных веществ, содержащихся в исходном материале. Расплав стекает по охлаждаемым стенкам реактора в виде пленки шлака. Жидкий шлак и синтез-газ выходят из зоны реакции через разгрузочное отверстие. В любой точке реактора температура газа выше температуры шлака.

В зоне охлаждения, которая находится ниже реакционной камеры, газ и шлак совместно охлаждаются холодной водой, впрыскиваемой через форсунки. Газ выходит из зоны охлаждения с температурой 150–210 °С в зависимости от давления. Шлак отверждается в форме гранул и удаляется через шлюзовый затвор.

Предварительно очищенный в зоне охлаждения газ проходит дополнительную стадию очистки от соединений серы. Сера, попадающая в процесс в составе исходного сырья, находится в форме сероводорода, который может быть относительно просто отделен и переработан в элементарную серу для реализации потребителям.

Для выбора оптимального метода термической обработки ТБО необходимо сравнение имеющихся технологий по следующим критериям:

- экономическим (уровень капитальных и эксплуатационных затрат);

- технологическим (уровень развития и апробации технологии, надежность оборудования, степень автоматизации процесса, эксплуатационные характеристики, требования безопасности, необходимость подготовки отходов и использования дополнительного сырья (топлива), других компонентов, производство товарной продукции);

- экологическим (количество и токсичность отходов и газовых выбросов, возможность их обезвреживания и утилизации).

5. ПОЛИГОННОЕ ЗАХОРОНЕНИЕ ОТХОДОВ

До настоящего времени наиболее распространенным методом решения проблемы ТБО и приравненных к ним отходов является их полигонное захоронение: в СНГ на полигоны вывозят 97–98 % образующихся ТБО, в США – около 70 %, в Европе – 55–65 %. В то же время в Японии и Швейцарии полигонному захоронению подвергают не более 25–30 % ТБО.

Современный полигон ТБО – инженерно обустроенное сооружение, обеспечивающее реализацию технологии размещения ТБО (прием, складирование, уплотнение, захоронение) и охрану окружающей природной среды от загрязнения.

На современных полигонах стремятся ограничить контакт отходов с окружающей средой, что предотвращает ее загрязнение, но одновременно затрудняет разложение отходов, вследствие чего они представляют собой своеобразную «бомбу замедленного действия».

При недостатке кислорода органические отходы на полигоне подвергаются анаэробному сбраживанию, что приводит к образованию так называемого «свалочного газа» – биогаза (смесь метана, углекислого газа, сероводорода и др.), создающего парниковый эффект. В недрах полигона формируется весьма токсичная жидкость – фильтрат, – попадание которой в водоемы и подземные воды крайне нежелательно.

Отсюда широко распространенную многовековую практику удаления отходов на свалки (полигоны) следует рассматривать как вынужденное, но малоперспективное с позиций экологии решение, тем более что для природных процессов многие отходы по своей структуре неизвестны и природа не способна справиться с накопленными и качественно измененными продуктами, созданными человеком для обеспечения своей жизнедеятельности. Учитывая также сложность выделения и обустройства земель под новые свалочные места, в странах Европейского сообщества запланирован к 2020 г. отказ от полигонного захоронения ТБО (за счет вовлечения отходов в переработку).

5.1. Устройство полигона и складирование отходов

Требования к современным полигонам включают требования к выбору площадки, конструкции, эксплуатации, мониторингу, выводу из эксплуатации, а на Западе и к предоставлению финансовых гарантий (страховка на случай форс-мажорных ситуаций).

Полигоны ТБО располагаются за пределами городов. Размер санитарно-защитной зоны от жилой застройки до границы полигона – 500 м, от аэропорта – 15 км.

Предпочтительным для размещения полигона является участок, сложенный глинами или тяжелыми суглинками (при глубине грунтовых вод не менее 2 м). Запрещается использование под полигон болот глубиной более 1 м, а также участков, затопляемых паводковыми водами.

Проектируемый срок эксплуатации полигона – не менее 15–20 лет. Необходимая площадь земельного участка для складирования ТБО зависит от численности обслуживаемого населения и высоты складирования ТБО. Например, для города с населением 0,5 млн жителей требуется полигон площадью от 20 до 60 га при высоте складирования ТБО, соответственно, от 45 до 12 м. Полигоны ТБО, имеющие общую высоту более 20 м и нагрузку на площадь более 10 т/м² (100 тыс. т/га), относят к категории высоконагружаемых.

Основные элементы полигона (рис. 5.1): подъездная дорога (с двусторонним движением), участок складирования ТБО (занимает 95 % площади полигона и ограничивается водоотводной канавой), хозяйственная зона (располагается на пересечении подъездной дороги

с границей полигона и включает бытовые и производственные помещения), инженерные сооружения и коммуникации (водопровод, канализация, мачты электроосвещения).

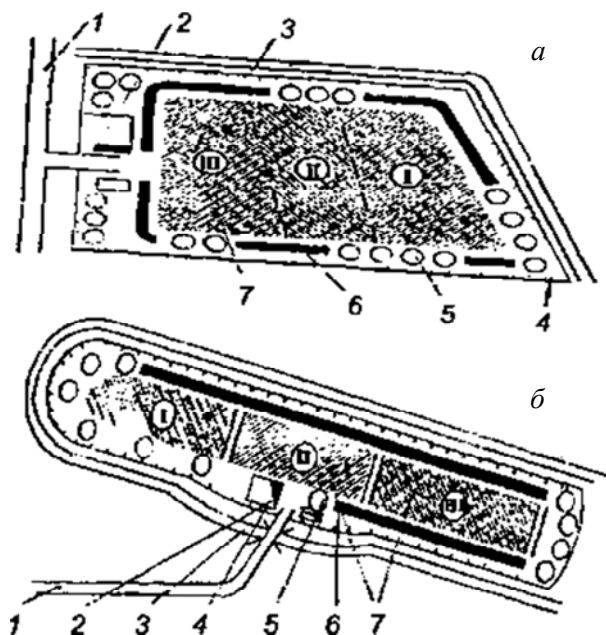


Рис. 5.1. Схема размещения основных сооружений полигона:
a – при соотношении длины и ширины полигона 2 : 1; *б* – при соотношении более 3 : 1;
 1 – подъездная дорога; 2 – хозяйственная зона; 3 – нагорная канава; 4 – ограждение;
 5 – зеленая зона; 6 – кавальер грунта для изоляции слоев;
 7 – участки складирования ТБО; I, II и III – очереди эксплуатации

Участок складирования разбивается на очереди эксплуатации (с учетом рельефа местности).

На участке складирования предусматривается устройство котлована, из которого производится выемка грунта для последующей изоляции ТБО (промежуточной и окончательной). Глубина котлована зависит от уровня грунтовых вод (днище котлована должно быть на 1 м выше уровня грунтовых вод).

Учитывая рельеф местности и очередность складирования ТБО, участок разбивается на несколько котлованов; при уклоне участка

более 0,5 м предусматривается каскад котлованов (рис. 5.2). Грунт, вынутый из котлована первой очереди, размещается в кавальерах по периметру полигона. Разность отметок оснований двух смежных котлованов – не более 1 м.

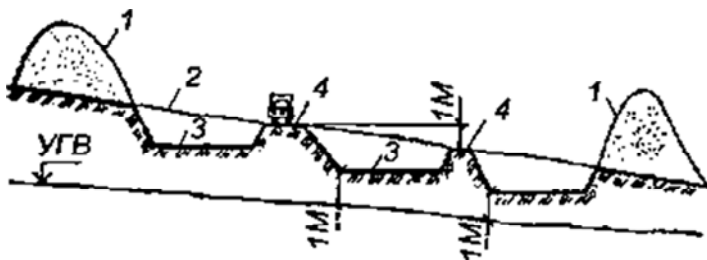


Рис. 5.2. Высотное размещение котлована в основании полигона

Основание котлована – глина толщиной не менее 0,5 м (коэффициент фильтрации воды не более 5–10 см/с). Если грунт характеризуется коэффициентом фильтрации более 5–10 см/с, требуется устройство искусственных непроницаемых экранов. Цель создания противofильтрационного экрана – ограничение потока фильтрата к нижележащим грунтовым водам и предотвращение притока грунтовых вод на уровень выше основания полигона.

В качестве противofильтрационных экранов в нашей стране регламентируется использование следующих материалов:

- однослойный глиняный экран (толщина не менее 0,5 м), поверх которого укладывается защитный слой из местного грунта (толщина 0,2–0,3 м);
- грунтобитумный экран, обработанный органическими вяжущими материалами или отходами нефтепереработки (толщина 0,2–0,4 м);
- экран из латекса (двухслойный).

В США и странах ЕС для гидроизоляции основания полигона используют полиэтилен, отличающийся высокой химической, физической и биологической стойкостью, а также устойчивостью к механическим нагрузкам.

Схема устройства противofильтрационного экрана, характерного для европейской практики, представлена на рис. 5.3.

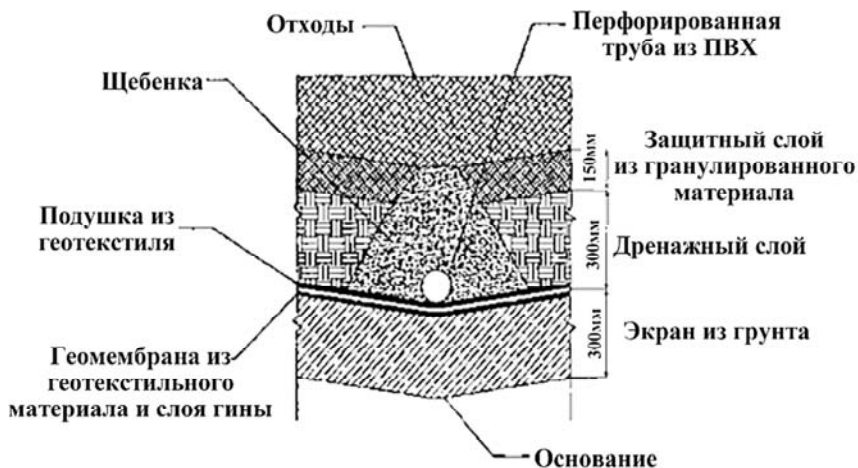


Рис. 5.3. Схема устройства противофильтрационного экрана в основании полигона (европейская практика)

Складируемые на полигоне ТБО подвергаются уплотнению и изоляции.

Складируют ТБО на рабочей карте, отведенной на данные сутки. Ее размеры: длина 30–150 м, ширина 5 м. Мусоровозы разгружают ТБО у рабочей карты. Бульдозеры сдвигают ТБО на рабочую карту, создавая слой высотой 0,3–0,5 м.

По данным российской практики уплотнение в три-четыре раза достигается четырехкратным проходом бульдозера (катка) по одному месту. Уплотненный слой ТБО высотой 2 м (12–20 слоев) изолируют грунтом, инертными материалами (отходы строительства, шлаки); вместо грунта возможно использование полученного из ТБО компоста. Слой промежуточной изоляции – 0,15–0,25 м.

На европейских полигонах практикуется ежедневное изоляционное покрытие складируемых ТБО. Для покрытия используют слой грунта толщиной не менее 0,15 м, химическую пену или полимерные пленки. Ежедневная изоляция препятствует рассеиванию отходов, улучшает внешний вид полигона, препятствует распространению запахов и возникновению пожаров.

Элементы общей схемы полигона приведены на рис. 5.4.



Рис. 5.4. Элементы общей схемы полигона

Степень уплотнения отходов при их полигонном захоронении зависит, при прочих равных условиях, от массы уплотняющего оборудования (определяет величину давления) и от числа проходов уплотняющей техники. Как видно из рис. 5.5 и 5.6, для получения стабильной степени уплотнения отходов достаточно четырех-шести проходов тяжелой (массой 20–40 т) техники (бульдозеры, тракторы). Дальнейшее увеличение числа проходов техники и ее массы существенно не влияет на уплотнение ТБО. Уплотнение отходов продлевает срок службы полигона, приводит к выравниванию площадки захоронения, облегчает укрытие отходов и дальнейшую работу. По данным зарубежной практики четырехкратное уплотнение каждого слоя обеспечивает плотность укладки до $1,1 \text{ т/м}^3$ (в расчете на сухую массу).



Рис. 5.5. Зависимость плотности ТБО на полигоне от количества проходов уплотняющей техники



Рис. 5.6. Влияние массы уплотняющей техники на уплотнение ТБО

В отличие от СНГ, в ряде европейских стран на одном и том же полигоне, помимо ТБО, складировуют на специализированных участках промышленные отходы, отходы строительства, осадки сточных вод и прочее. Кроме того, на полигонах проектируются участки компостирования растительных и других биоразлагаемых органических отходов, участки сортировки отходов и хранения вторичного сырья.

В отечественной практике на муниципальных полигонах допускается размещение лишь приравненных к ТБО отходов.

Промышленные отходы, допускаемые для совместного складирования с ТБО, не должны быть взрывоопасными и самовозгорающимися и не должны иметь влажность более 85 %; токсичность смеси отходов не должна превышать токсичность ТБО (по данным анализа водной вытяжки). Промышленные отходы IV класса опасности, принимаемые без ограничений полигонами ТБО, характеризуются содержанием в водной вытяжке (1 л воды на 1 кг отходов) токсичных веществ на уровне фильтрата из ТБО и должны иметь крупность не более 250 мм.

5.2. Разложение ТБО в местах захоронения

ТБО на 70–80 % состоят из органических компонентов, в большинстве своем подверженных разложению во времени в условиях захоронения за счет естественных химических и биологических процессов, до настоящего времени изученных недостаточно.

Экосистема полигона является динамичной и во времени изменяется. Основные процессы разложения органических отходов,

происходящие в теле полигона, состав образующихся продуктов и фильтрата представлены на рис. 5.7

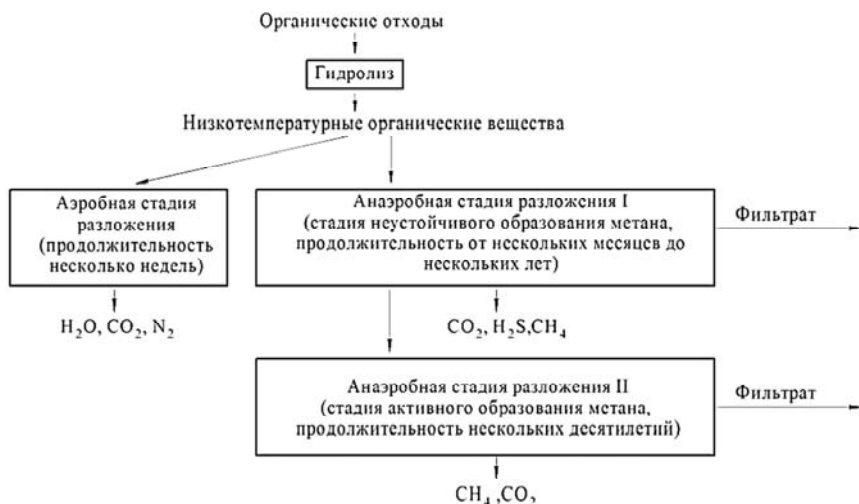


Рис. 5.7. Принципиальные процессы разложения органических веществ при полигонном захоронении ТБО (основные стадии разложения, состав образующихся продуктов и фильтрата)

Таблица

Перечень промышленных отходов IV класса опасности, принимаемых на полигоны твердых бытовых отходов без ограничения и используемых в качестве изолирующего материала

Код группы и вида отходов	Вид отходов
1	2
1.24.01	Алюмосиликатный шлам СБ-г-43-6
1.36.02.1	Асбестоцементный лом
1.36.02.2	Асбоброшка
1.39.01	Бентонита отходы
1.31.01	Графит отработанный производства карбида кальция
1.39.02	Гипсосодержащие отходы производства витамина В-6
1.39.03	Известь-кипелка, известняк, шламы после гашения
1.39.04	Мела химически осажденного твердые отходы

1	2
1.39.05	Оксид алюминия в виде отработанных брикетов (при производстве $AlCl_3$)
1.39.06	Оксид кремния (при производстве ПВХ и $AlCl_3$)
1.39.07	Паранита отход
1.39.08	Плав солей сульфата натрия
1.39.09	Селикагель (из адсорберов осушки нетоксичных газов)
1.24.02	Селикагеля производства шлам с фильтр-прессов (содержит глину и кремнезем)
1.24.03	Соды гранулированный шлам
1.24.04	Содово-цементного производства отходы дистилляции в виде $CaSO_4$
1.29.00	Формовочные стержневые смеси, не содержащие тяжелые металлы
1.24.05	Химводоочистки и умягчения воды шламы
1.27.01	Хлорид-натриевые осадки сточных вод производства лаковых эпоксидных смол
1.39.10	Хлорная известь нестандартная
1.36.02.3	Шиферного производства твердые отходы
1.39.1	Шлаки ТЭЦ, котельных, работающих на угле, торфе, сланцах или ТБО
1.39.12	Шлифовальные материалы

В результате реакции гидролиза образуются низкомолекулярные органические вещества, которые в течение нескольких недель проходят стадию кислородно-нитратного окисления и разлагаются в аэробных условиях до воды, диоксида углерода и азота. При протекании этих процессов в теле полигона отмечается повышение температуры.

Для анаэробных условий характерна стадия распада продуктов гидролиза. При этом можно выделить две фазы (стадии): фазу I (кислотная) и фазу II (метаногенная).

Продолжительность первой стадии – от 1 до 6 месяцев. В итоге процессов ферментации и восстановления сульфатов органические вещества разрушаются до низкомолекулярных кислот (образуются, в частности, муравьиная, уксусная и пропионовая кислоты), диоксида углерода и сульфида водорода; в небольших количествах выделяется метан. При этом образуются промежуточные продукты: карбоновые кислоты и спирты.

В метаногенной стадии разложения органических веществ (фаза II) образовавшиеся ранее жирные кислоты используются метанообразующими бактериями для производства метана. Стадия анаэробного разложения органических веществ растянута во времени и продолжается в течение 8–40 лет, причем первые три года процесс образования метана протекает неустойчиво.

Чем выше содержание влаги, тем активнее происходит биологическое разложение отходов в анаэробных условиях. При содержании влаги менее 20 % активность анаэробных процессов значительно снижается. Современные технологии полигонного захоронения ТБО обуславливают медленное разложение отходов (попадание воды в толщу полигона затруднено); то же самое характерно для полигонов, расположенных в засушливых регионах.

По мере снижения выхода биогаза начинается последняя стадия разложения органических отходов – стадия образования гумуса. Ее продолжительность – до 40 лет. Различные стадии активных процессов разложения органических отходов (без указания временного масштаба стадий) приведены на рис. 5.8.

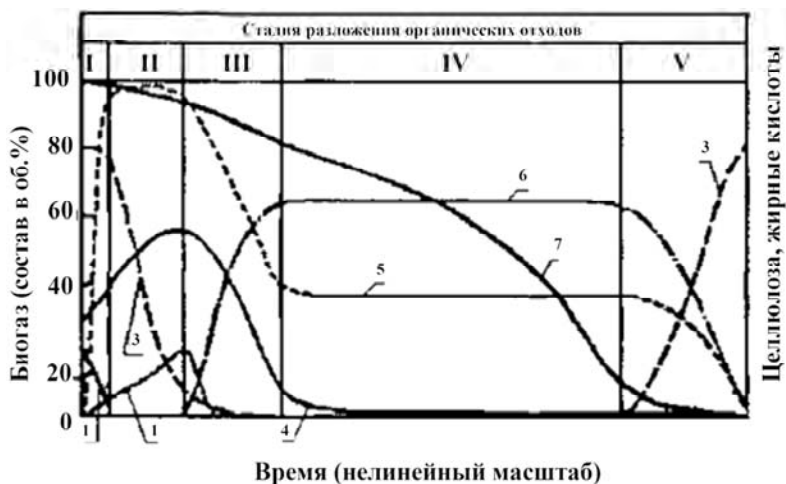


Рис. 5.8. Стадии разложения органических отходов:

- I – стадия окисления в аэробных условиях; II – стадия распада продуктов гидролиза в анаэробных условиях; III – стадия неустойчивого образования метана;
- IV – стадия образования метана; V – стадия образования гумуса;
- 1 – кислород; 2 – водород; 3 – азот; 4 – жирные кислоты; 5 – диоксид углерода;
- 6 – метан; 7 – целлюлоза

Сбор и обезвреживание фильтрата. Фильтрат, образующийся на полигонах ТБО, содержит продукты выщелачивания водорастворимых соединений и продукты разложения отходов. В среднем годовой объем образующегося фильтрата составляет 2–3 тыс. м³/га. Состав фильтрата зависит от срока эксплуатации полигона (от стадии разложения отходов), состава складываемых отходов и объема поступления поверхностных и грунтовых вод.

Фильтрат из ТБО характеризуется преимущественно по интегральным показателям – биохимической потребности в кислороде (БПК) и химической потребности в кислороде (ХПК), – а также по содержанию тяжелых металлов, аммонийного азота и некоторых других веществ. После короткой аэробной стадии разложения ТБО (продолжительность – несколько недель) можно выделить (см. рис. 5.7) две анаэробные стадии.

Первая стадия распада органических веществ в анаэробных условиях (кислотная фаза, фаза неустойчивого образования метана) протекает от нескольких месяцев до нескольких лет после депонирования. Фильтрат, образующийся на этой стадии разложения ТБО, характеризуется средним значением pH = 6, высоким значением БПК (13 000 мг/л O₂), высоким отношением БПК/ХПК (0,6), а также высоким содержанием аммонийного азота и железа.

Вторая стадия (метаногенная фаза), характерная для старых полигонов, может продолжаться в течение нескольких десятилетий. Во время этой фазы образовавшиеся ранее жирные кислоты и водород преобразуются в CO₂ и CH₄. Фильтрат старых полигонов имеет pH = 8, характеризуется низким значением БПК (200 мг/л O₂), низким отношением БПК/ХПК (0,06), высоким содержанием аммонийного азота (750 мг/л) и низким содержанием железа (15 мг/л). Содержание меди и свинца в фильтрате незначительно зависит от возраста полигона и колеблется в широких пределах, составляя в среднем около 100 мг/л; среднее содержание кадмия – 6 мг/л.

Как следует из состава фильтрата, полигонное захоронение ТБО может оказать негативное влияние на грунтовые воды, в связи с чем в России регламентируется контроль за состоянием грунтовых вод выше и ниже полигона (на расстоянии 50–100 м). Если содержание загрязняющих веществ превысит ПДК грунтовых вод, должны быть приняты меры по ограничению поступления этих веществ в грунтовые воды (до уровня ПДК).

Как отмечено, для предотвращения утечки фильтрата в окружающую среду основание полигона должно иметь противofильтрационный экран (с коэффициентом фильтрации по европейским нормам не более 10^{-9} см/с), а для облегчения его сбора поверхность полигона должна быть спланирована с уклоном (по европейским нормам уклон должен быть не менее 2 %).

В систему сбора фильтрата входят:

– перфорированные дренажные трубы, размещенные под складываемыми отходами на противofильтрационном экране и обкладываемые щебенкой (фильтрат по трубам отводится на участок его обезвреживания);

– насосная станция;

– водосборный накопительный пруд (для снятия пиков потоков).

Все новые европейские полигоны запроектированы с донным дренажем (см. рис. 5.3). На старых полигонах фильтрат собирается с помощью окружающих дренажных канав или путем откачки из трубных скважин, которые размещают в теле полигона или вокруг него.

Обезвреживание фильтрата можно производить либо в месте его образования, либо на муниципальных очистных сооружениях. К очистным сооружениям фильтрат транспортируется по герметичному трубопроводу, стоимость которого в ряде случаев может быть сопоставима с затратами на строительство самого полигона.

Практически применяют два метода обезвреживания фильтрата (дренажных сточных вод):

– биологическая очистка (в присутствии активных бактериальных культур, которые разрушают и используют органические вещества для синтеза своих клеток, например, в установках с активным илом, в аэрационных прудах и др.);

– физико-химическая очистка (чаще всего реагентная – для очистки от тяжелых металлов).

Следует отметить, что количество образующегося фильтрата зависит, при прочих равных условиях, от технологии захоронения: степени уплотнения ТБО и высоты их складирования. Высокий полигон является более предпочтительным с точки зрения защиты окружающей среды (уменьшается удельный объем фильтрата). В соответствии с европейской практикой полигоны высотой менее 10 м проектируют редко.

5.3. Добыча и утилизация биогаза

В результате анаэробного разложения органической фракции отходов образуется биогаз. Из общего количества метана, ежегодно поступающего в атмосферу, 40–70 % образуется в результате антропогенной деятельности, причем более 20 % из них приходится на объекты захоронения ТБО.

Подсчитано, что из одной тонны ТБО образуется около 200 м³ биогаза. При этом первые 15–20 лет при ее разложении выделяется до 7,5 м³ биогаза в год. В дальнейшем интенсивность выделения биогаза резко сокращается.

Основные компоненты биогаза (%): метан 40–75 (обычно 50–60), диоксид углерода – 30–40, азот – 5–15, кислород – 0–2, сероводород и другие токсичные соединения – в небольших количествах.

В зависимости от содержания метана биогаз имеет теплоту сгорания от 15 до 25 МДж/м³ (3600–4800 ккал/м³), что соответствует 50 % теплоты сгорания природного газа. В среднем теплота сгорания биогаза составляет 4200 ккал/м³.

Биогаз относится к числу газов, создающих «парниковый эффект» и влияющих на изменение климата Земли в целом. Конвенция «О предотвращении глобального изменения климата» обязывает страны-участницы минимизировать выбросы в атмосферу парниковых газов, таких как метан и диоксид углерода (выброс в атмосферу 1 м³ метана по своим губительным последствиям для изменения климата эквивалентен выбросу в атмосферу около 25 м³ диоксида углерода). В этой связи уменьшение выбросов биогаза в атмосферу обеспечивает не только улучшение экологической ситуации вокруг полигонов ТБО, но и способствует выполнению нашей страной своих международных обязательств.

Биогаз является одной из причин возгорания ТБО на полигонах и свалках. При содержании в воздухе от 5 до 15 % метана и 12 % кислорода образуется взрывоопасная смесь.

Биогаз оказывает также негативное воздействие на растительный покров, угнетая растительность на примыкающих к полигонам ТБО площадях (механизм влияния связан с насыщением биогазом порового пространства почвы и вытеснением из нее кислорода).

Негативное воздействие биогаза на окружающую среду привело к тому, что в большинстве развитых стран владельцы полигонов

законодательно принуждаются к предотвращению его стихийного распространения.

В связи с этим за рубежом в последнее десятилетие получили широкое распространение технологии добычи и утилизации биогаза. В Германии, например, к началу нового тысячелетия добыча биогаза на полигонах ТБО составила около 35 млн м³/год, что позволяет получать ежегодно 140 млн кВт·ч электроэнергии и экономить 14 тыс. т/год нефти.

На российских полигонах и свалках биогаз практически не собирается. Первые шаги в этом направлении осуществила фирма «Геополис», построившая совместно с фирмой «Гронтмай» (Нидерланды) установки для сбора биогаза на двух подмосковных полигонах ТБО (в Мытищах и Серпухове). На каждом полигоне, являющемся достаточно типичным для Московской области (площадь – 5–7 га, средняя мощность отходов – 10–12 м), образуется 600–800 м³ биогаза в час.

Для его сбора используют вертикальные скважины, газопроводы и компрессорные станции, обеспечивающие подачу газа к мотор-генераторам (при использовании биогаза для производства электроэнергии). Компрессор создает необходимое разрежение для сбора биогаза и его транспортировки по газопроводам.

На рис. 5.9 показана блок-схема добычи и утилизации биогаза, реализованная в Московском регионе.

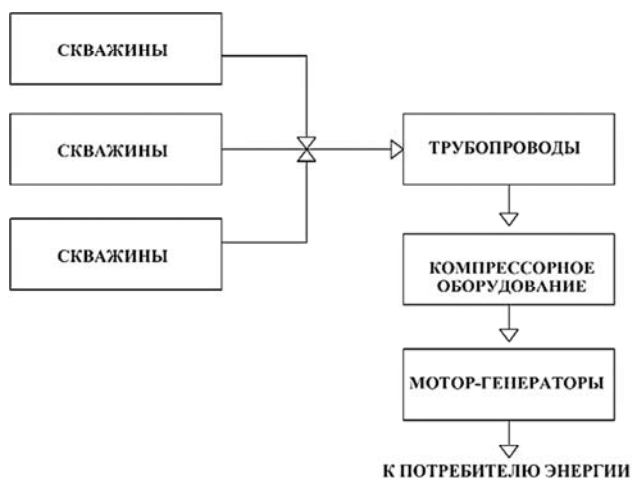


Рис. 5.9. Блок-схема добычи и утилизации биогаза

В отечественных условиях, как показала практика, наиболее целесообразно шнековое бурение скважин диаметром 250–300 мм (в Швеции практикуется бурение скважин диаметром 150–200 мм).

По европейским данным выход биогаза из пробуренной скважины глубиной 10 м обычно составляет 10–20 м³/ч. Устойчивая работа скважины обеспечивается, если ее дебит не превышает объема вновь образующегося биогаза. Подсчитано, что для обеспечения мощности требуется 15–20 пробуренных газовых скважин в теле полигона. Регулирование выхода биогаза с полигона осуществляется путем регулирования числа оборотов компрессора.

Расстояние между газовыми скважинами на участке сбора биогаза обычно составляет 50–60 м. Если число газовых скважин на полигоне оптимально, а откосы полигона уплотнены, извлечение биогаза составляет до 80 % от его образующегося объема. Если биогаз собирается на так называемых биокартах с однородными отходами (европейские условия), его извлечение повышается до 90 %. На рис. 5.10 показан общий вид скважины для добычи биогаза на подмосковных полигонах.

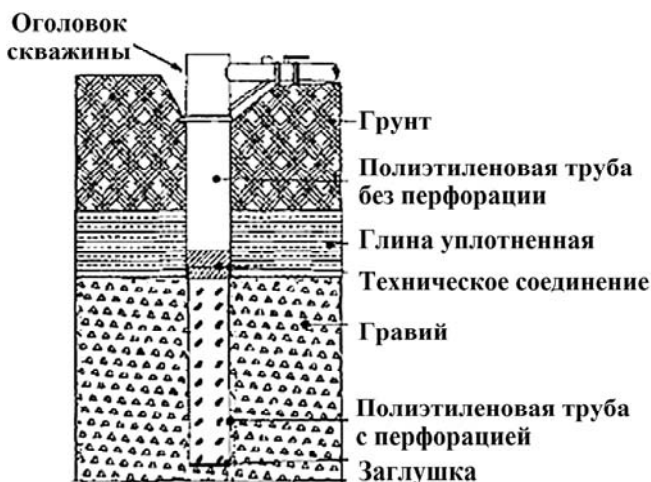


Рис. 5.10. Общий вид скважины для добычи биогаза

Инженерное обустройство скважины включает несколько этапов. На первом этапе в скважину опускается перфорированная стальная или пластмассовая труба, затушенная снизу и снабженная фланцевым

соединением в пристыевой части. Затем в межтрубное пространство засыпается пористый материал (например, гравий) с послойным уплотнением до глубины 3–4 м от устья скважины. На следующем этапе сооружается глиняный замок для предотвращения попадания в скважину атмосферного воздуха. После этого приступают к установке оголовка скважины, который представляет собой металлический цилиндр, снабженный газозапорной арматурой для регулировки дебита скважины и контроля состава биогаза, а также патрубком для присоединения скважины к газопроводу.

В шведской практике для крепления буровых скважин используются обсадные трубы (рис. 5.11), которые после установки перфорированного пластмассового фильтра частично вынимаются из тела полигона. Нижняя секция обсадной трубы длиной 3 м остается на уровне 1,5–4,5 м ниже уровня грунта, а над верхней частью фильтра в скважине образуется изолирующее покрытие высотой 4,5 м, позволяющее создать относительно большое разрежение вокруг скважины и повысить эффективность сбора биогаза. По данным шведской практики при сборе биогаза на действующих полигонах возникают эксплуатационные сложности и в течение первых десяти лет часть газовых скважин и фильтров должна быть обновлена (разрушение труб под действием проседания поступающих отходов, закупоривание фильтрующих труб). Схема размещения газовых скважин на высоконагруженном полигоне в Швеции показана на рис. 5.12.

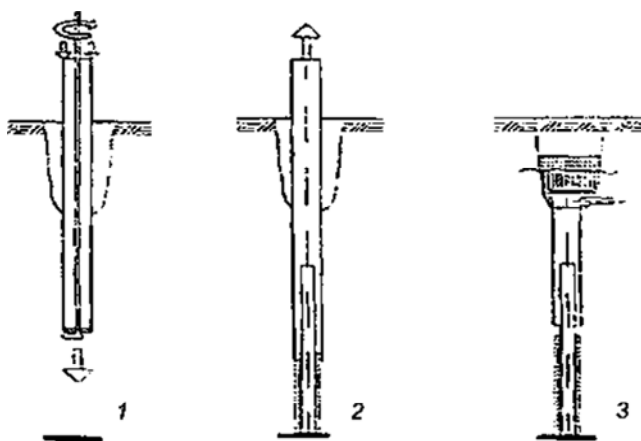


Рис. 5.11. Конструкция газовых скважин (европейская практика)

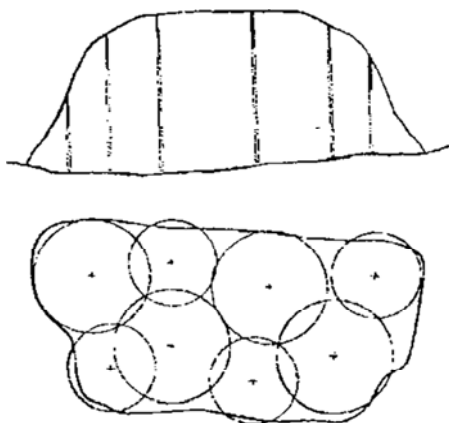


Рис. 5.12. Схема размещения газовых скважин на высоконагруженном полигоне

Температура образующегося биогаза соответствует температуре тела полигона, которая при анаэробном разложении органической фракции ТБО повышается до 25–40 °С. Поскольку для отходов характерна высокая влажность, биогаз насыщается парами воды. При снижении температуры биогаза до 10 °С в системе газопроводов образуется до 20 г/м³ конденсата. На установке мощностью 1 МВт ежедневно образуется 100 л конденсата, который необходимо удалять из системы сбора биогаза и направлять на обезвреживание, так как по химическому составу он во многом аналогичен фильтрату. Уклон газопроводных труб в пределах полигона должен обеспечивать сбор конденсата (в соответствии с европейской практикой уклон труб – не менее 20 %). Для удаления влаги из системы устанавливают конденсатоотводчики (стальные резервуары с гидрозатворами).

Биогаз, добываемый на полигонах, часто используют для производства электроэнергии. В российских условиях из 1 м³ биогаза можно получить 1,5 кВт·ч электроэнергии. К сожалению, большой энергетический потенциал полигонов в настоящее время не используется. В то же время в большинстве развитых стран производство электроэнергии на основе биогаза стимулируется государством с помощью специальных законов.

Так, в США и странах ЕС существуют законы, обязывающие энергетические компании использовать нетрадиционные источники

энергии, а потребителей – покупать альтернативную энергию. При этом нормативно определяется стоимость альтернативной энергии, которая, как правило, в 2–2,5 раза выше стоимости энергии, произведенной на основе использования традиционных энергоносителей (природный газ, нефтепродукты). В ряде случаев электроэнергия, произведенная из биогаза, частично или полностью используется для нужд предприятия, эксплуатирующего полигон ТБО.

В отличие от многих европейских стран, в Швеции традиционной формой утилизации биогаза является его сжигание в газовых котлах для производства тепловой энергии. Газовые котлы чаще всего соединяются с местной системой районного теплоснабжения. В Швеции имеется также опыт утилизации биогаза для комбинированного производства электрической и тепловой энергии на стационарных газовых двигателях.

В тех случаях, когда возникают сложности с утилизацией биогаза (например, из-за больших расстояний до потребителя), собранный биогаз подвергают факельному сжиганию в специальных газовых горелках. Факельное сжигание биогаза следует рассматривать как вынужденную и промежуточную меру, способствующую снижению поступления биогаза в атмосферу и вероятности возгорания ТБО на полигонах.

В соответствии с требованиями к мониторингу полигона должны проводиться систематические наблюдения за подземными и поверхностными водами, донными отложениями, растительностью, атмосферным воздухом.

Полигон, выведенный из эксплуатации, подлежит рекультивации. Она проводится по окончании стабилизации закрытых полигонов, когда свалочный грунт достигает устойчивого состояния. После планировки поверхности, укладки плодородного слоя и его выравнивания производится посадка многолетних трав, кустарников и деревьев.

ЛИТЕРАТУРА

1. Басов, Н. И. Расчет и конструирование оборудования для производства и переработки полимерных материалов : учеб. для вузов / Н. И. Басов, Ю. В. Казанков, В. А. Любартович. – М. : Химия, 1986. – 488 с.
2. Борщев, В. Я. Оборудование для измельчения материалов : дробилки и мельницы : учебное пособие / В. Я. Борщев. – Тамбов : ТГТУ, 2004. – 75 с.
3. Ветошкин, А. Г. Защита литосферы от отходов : учебное пособие / А. Г. Ветошкин. – Пенза, 2005. – 189 с.
4. Дарулис, П. В. Отходы областного города : Сбор и утилизация / П. В. Дарулис. – Смоленск, 2000. – 520 с.
5. Калинин, Э. Л. Свойства и переработка термопластов : справочное пособие / Э. Л. Калинин, М. Б. Саковцева. – Л. : Химия, 1983. – 288 с.
6. Лотош, В. Е. Технология основных производств в природопользовании / В. Е. Лотош. – Екатеринбург, 1998. – 536 с.
7. Лотош, В. Е. Экология природопользования / В. Е. Лотош. – Екатеринбург, 2000. – 510 с.
8. Михалева, З. А. Методы и оборудование для переработки сыпучих материалов и твердых отходов : учебное пособие / З. А. Михалева, А. А. Коптев, В. П. Таров. – Тамбов : ТГТУ, 2002. – 64 с.
9. Николаев, А. Ф. Технология пластических масс / А. Ф. Николаев. – Л. : Химия, 1977. – 368 с.
10. Тадмор, З. Д. Теоретические основы переработки полимеров : пер. с англ. / З. Д. Тадмор, К. Т. Гогос. – М. : Химия, 1984; Нью-Йорк, 1979. – 632 с.
11. Шантарин, В. Д. Пиролизная утилизация твердых бытовых отходов / В. Д. Шантарин, И. О. Коровин. – Тюмень, 2005. – 138 с.
12. Лезс, Э. А. Сбор, удаление и утилизация городских твердых отходов / Э. А. Лезс / Обзор // Эстонский НИИ научно-технической информации и технико-экономических исследований. – Таллин, 1984. – 35 с.
13. Производство изделий из полимерных материалов : учебное пособие / В. К. Крыжановский [и др.]. – СПб. : Профессия, 2004. – 464 с.

14. Утилизация полимерной тары и упаковки : учебное пособие / А. С. Клинков [и др.]. – Тамбов : ТГТУ, 2008. – 64 с.

15. Кузнецов, В. Л. Экологические проблемы твердых бытовых отходов. Сбор. Ликвидация. Утилизация : учебное пособие / В. Л. Кузнецов, Н. М. Крапильская, Л. Ф. Юдина. – М. : ИПЦ МИКХиС, 2005. – 53 с.

16. Мирный, А. Н. Санитарная очистка и уборка населенных мест : справ. / А. Н. Мирный [и др.] ; под ред. А. Н. Мирного. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Стройиздат, 1990. – 413 с.

17. Бобович, Б. Б. Процессы и аппараты переработки промышленных отходов : учебное пособие / Б. Б. Бобович. – М. : МГТУ «МАМИ», 2008 – 110 с.

18. Шубов, Л. Я. Технологии отходов (Технологические процессы в сервисе) : учеб. / Л. Я. Шубов, М. Е. Ставрoнский, Д. В. Шехирев. – М. : МГУС, 2006. – 415 с.

19. Бобович, Б. Б. Переработка промышленных отходов : учеб. для вузов / Б. Б. Бобович. – М. : СП Интернет Инжиниринг, 1999. – 445 с.

20. Митрофанов, В. П. Технологическое оборудование и оснастка упаковочного производства : учебное пособие / В. П. Митрофанов, В. И. Бобров. – М. : МГУП, 2003. – 204 с.

21. Хэнлон, Дж. Ф. Упаковка и тара : проектирование, технологии, применение / Дж. Ф. Хэнлон, Дж. Келси, Х. Е. Форсинио; под общ. науч. ред. В. Л. Жавнера. – СПб. : Профессия. – 632 с.

22. Ефремов, Н. Ф. Конструирование и дизайн тары и упаковки : учеб. для вузов / Н. Ф. Ефремов, Т. В. Лемешко, А. В. Чуркин. – М. : МГУП, 2004. – 424 с.

23. Тара и ее производство : учебное пособие / А. А. Букин [и др.]. – Тамбов : ТГТУ, 2006. – Ч. 1. – 88 с.

Учебное издание

ЕРМАКОВ Алексей Игоревич

УТИЛИЗАЦИЯ ТАРЫ И УПАКОВКИ

Учебно-методическое пособие
для студентов специальности
1-36 20 03 «Торговое оборудование и технологии»

Редактор *Т. В. Грищенкова*
Компьютерная верстка *Н. А. Школьниковой*

Подписано в печать 11.05.2017. Формат 60×84 ¹/₁₆. Бумага офсетная. Ризография.
Усл. печ. л. 11,33. Уч.-изд. л. 8,86. Тираж 100. Заказ 81.

Издатель и полиграфическое исполнение: Белорусский национальный технический университет.
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя
печатных изданий № 1/173 от 12.02.2014. Пр. Независимости, 65. 220013, г. Минск.