

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ  
Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования  
Ульяновский государственный технический университет

# ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ ЗАЩИТЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

## Ч. 3. ЗАЩИТА ЛИТОСФЕРЫ

Текст лекций по дисциплине  
«Процессы и аппараты защиты окружающей среды»

Составители: **И. Г. Кобзарь, В. В. Козлова**

Ульяновск  
2008

УДК 504(076)

ББК 51.21я7

П84

Рецензенты: заведующий кафедрой «Химия» Ульяновского государственного технического университета, доктор химических наук, профессор Е. С. Климов; председатель Комитета по охране окружающей среды и природопользованию, кандидат биологических наук А. В. Салтыков.

П84 **Процессы и аппараты защиты окружающей среды. Ч. 3. Защита литосферы: текст лекций по дисциплине «Процессы и аппараты защиты окружающей среды» / сост. И. Г. Кобзарь, В. В. Козлова. - Ульяновск: УлГТУ, 2008. — 100 с.**

ISBN 978-5-9795-0211-3

Составлен в соответствии с программой дисциплины «Процессы и аппараты защиты окружающей среды».

Рассмотрены существующие технологии защиты литосферы от загрязнений, и показана основная экобиозащитная техника.

Текст лекций по дисциплине «Процессы и аппараты защиты окружающей среды» предназначен для студентов специальности 28020265 «Инженерная защита окружающей среды».

Текст лекций подготовлен на кафедре «Безопасность жизнедеятельности и промышленная экология».

УДК 504(076)

ББК 51.21я7

Учебное издание

## **ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ ЗАЩИТЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ**

### **Ч. 3. ЗАЩИТА ЛИТОСФЕРЫ**

Текст лекций

Составители: КОБЗАРЬ Иван Григорьевич  
КОЗЛОВА Вита Вячеславовна

Редактор *О. С. Бычкова*

Подписано в печать 15.05.2008. Формат 60х84/16.

Бумага офсетная. Печать трафаретная. Усл. печ. л. 5,81.

Тираж 50 экз. Заказ 623

Ульяновский государственный технический университет  
432027, г. Ульяновск, ул. Северный Венец, д. 32.

Типография УлГТУ, 432027, г. Ульяновск, ул. Северный Венец, д. 32.

© Кобзарь И. Г., Козлова В. В., составление, 2008

ISBN 978-5-9795-0211-3

© Оформление. УлГТУ, 2008

## ОГЛАВЛЕНИЕ

|                                                                                                                                                                 |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ВВЕДЕНИЕ .....                                                                                                                                                  | 5  |
| <b>Лекция 1. Промышленные отходы</b> .....                                                                                                                      | 5  |
| 1.1. Источники и проблемы накопления твердых отходов .....                                                                                                      | 5  |
| 1.2. Классификация промышленных отходов .....                                                                                                                   | 6  |
| 1.3. Нормирование сбора промышленных отходов .....                                                                                                              | 11 |
| <b>Лекция 2. Методы утилизации и обезвреживания<br/>промышленных отходов и загрязнений</b> .....                                                                | 13 |
| 2.1. Общая характеристика методов утилизации и обезвреживания<br>промышленных отходов .....                                                                     | 13 |
| 2.2. Первичная обработка твердых отходов .....                                                                                                                  | 15 |
| 2.3. Сжигание твердых отходов .....                                                                                                                             | 17 |
| 2.4. Пиролиз и газификация отходов .....                                                                                                                        | 21 |
| <b>Лекция 3. Складирование и захоронение промышленных отходов<br/>на свалках, полигонах и поверхностных хранилищах</b> .....                                    | 24 |
| 3.1. Складирование и захоронение промышленных отходов<br>на свалках и полигонах твердых бытовых отходов .....                                                   | 24 |
| 3.2. Складирование промышленных отходов в поверхностных<br>хранилищах (шламонакопителях) .....                                                                  | 27 |
| 3.3. Обработка и утилизация промышленных отходов и загрязнений<br>на специализированных полигонах .....                                                         | 28 |
| <b>Лекция 4. Некоторые наиболее распространенные промышленные<br/>отходы добычи и обогащения полезных ископаемых<br/>и типичные методы их переработки</b> ..... | 30 |
| 4.1. Общая характеристика отвальных пород и хвостов обогащения .....                                                                                            | 30 |
| 4.2. Производство вяжущих и строительных материалов .....                                                                                                       | 31 |
| 4.3. Горнохимические отходы .....                                                                                                                               | 32 |
| 4.4. Нерудные материалы .....                                                                                                                                   | 33 |
| <b>Лекция 5. Топливные отходы угледобычи, нефтеотходы<br/>и методы их переработки</b> .....                                                                     | 35 |
| 5.1. Вскрышные породы угледобычи .....                                                                                                                          | 35 |
| 5.2. Отходы углеобогащения .....                                                                                                                                | 36 |
| 5.3. Отходы нефтедобычи и нефтепереработки .....                                                                                                                | 36 |
| <b>Лекция 6. Отходы черной металлургии и обработки металлов,<br/>методы их переработки</b> .....                                                                | 40 |
| 6.1. Железосодержащие пыли и шламы .....                                                                                                                        | 40 |
| 6.2. Вельц-процесс .....                                                                                                                                        | 41 |
| 6.3. Отходы прокатного производства .....                                                                                                                       | 41 |

|                                                                                                                        |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 6.4. Осадки стоков <b>гальванических</b> производств .....                                                             | 42  |
| 6.4.1. Цементы и безобжиговые строительные материалы .....                                                             | 42  |
| 6.4.2. Обожженные строительные материалы .....                                                                         | 43  |
| 6.4.3. Металлургическая переработка гальваношламов .....                                                               | 44  |
| <b>Лекция 7. Переработка отходов высокомолекулярных соединений</b> .....                                               | 45  |
| 7.1. Отходы лакокрасочных материалов .....                                                                             | 45  |
| 7.2. Отходы пластмасс .....                                                                                            | 46  |
| 7.3. Отходы производства резины и резинотехнических изделий .....                                                      | 50  |
| 7.3.1. Резиновые и резино-тканевые отходы .....                                                                        | 50  |
| 7.3.2. Отходы шинной промышленности .....                                                                              | 51  |
| 7.4. Отходы химической переработки древесины .....                                                                     | 57  |
| 7.4.1. Отходы гидролизного производства .....                                                                          | 57  |
| 7.4.2. Отходы целлюлозно-бумажных комбинатов .....                                                                     | 58  |
| 7.4.3. Древесные отходы .....                                                                                          | 59  |
| 7.4.4. Макулатура .....                                                                                                | 62  |
| <b>Лекция 8. Технология сбора, удаления и складирования</b><br><b>твердых бытовых отходов</b> .....                    | 64  |
| 8.1. Характеристика твердых бытовых <b>отходов</b> .....                                                               | 64  |
| 8.2. Критерии выбора метода и места размещения сооружений<br>обезвреживания и утилизации твердых бытовых отходов ..... | 66  |
| 8.3. Технология сбора, транспортирования<br>и складирования твердых бытовых отходов на полигонах .....                 | 71  |
| 8.4. Методы полевого компостирования твердых бытовых отходов .....                                                     | 74  |
| 8.5. Технология рекультивации территории закрытых полигонов .....                                                      | 76  |
| <b>Лекция 9. Термические методы переработки твердых</b><br><b>бытовых отходов</b> .....                                | 80  |
| 9.1. Процесс камерного сжигания твердых бытовых отходов .....                                                          | 80  |
| 9.2. Пиролиз твердых бытовых отходов .....                                                                             | 81  |
| 9.3. Метод «пиролиз-газификация» с использованием обогащенного<br>кислородом дутья .....                               | 83  |
| 9.4. Обработка осадков после очистки сточных вод .....                                                                 | 85  |
| 9.5. Технология сбора твердых бытовых отходов<br>на местах их образования .....                                        | 95  |
| 9.6. Охрана окружающей среды при эксплуатации<br>установок сжигания твердых бытовых отходов .....                      | 96  |
| <b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ</b> .....                                                                                                | 99  |
| <b>БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК</b> .....                                                                                  | 100 |

## ВВЕДЕНИЕ

Обеспечение ресурсами самым тесным образом связано с проблемой отходов, которые образуются в результате их переработки. В настоящее время около 90 % ресурсов перегоняются в отходы, и потому проблема ресурсосбережения и снижения уровня загрязнения окружающей среды являются двумя сторонами одной медали.

Принцип «1:10:100» объясняет огромное количество отходов, образующихся в процессе производства. Сегодня в мире на 1 т конечного продукта образуется 10 т отходов при его производстве и 100 т отходов при добыче сырья.

В составе промышленных отходов около 15 % приходится на токсичные отходы, содержащие тяжелые металлы и другие ядовитые вещества.

Кроме промышленных отходов, существенный вклад в загрязнение поверхности планеты и гидросферы вносят бытовые отходы.

Проблема отходов относится к числу важнейших проблем глобальной экологии. В «Повестке дня на XXI век», принятой на конференции «Рио-92», была поставлена задача уже в 2000 году снизить количество опасных отходов на 30 %. Существенного прогресса по этому вопросу еще не достигнуто.

## Лекция 1. Промышленные отходы

### 1.1. Источники и проблемы накопления твердых отходов

Интенсивное использование минерального сырья сопровождается образованием большой массы отходов и выбросов на различных стадиях его переработки и в процессе транспортирования. Количество отходов во многих случаях превышает количество полученной продукции. Твердые отходы, поступающие в окружающую среду, можно разделить на 3 категории: **промышленные, сельскохозяйственные отходы городского хозяйства** (бытовые отходы). Основная масса промышленных отходов (ПО) образуется на предприятиях следующих **отраслей**:

- горной и горно-химической промышленности (отвалы, шлаки, «хвосты» и др.);
- черной и цветной металлургии (шлаки, шламы, колошниковая пыль и т. д.);
- металлообрабатывающих отраслей промышленности (стружка, бракованные изделия и т. д.);
- лесной и деревообрабатывающей промышленности (лесозаготовительные отходы; отходы лесопиления при изготовлении деревянных конструкций, мебели и др.);
- энергетического хозяйства, тепловых электростанциях (зола, шлаки);

- **химической** и смежных отраслей промышленности (фосфогипс, галит, огарок, шлаки, шламы, стеклобой, цементная пыль, отходы органических производств - резина, пластмассы и т. д.);
- пищевой промышленности (кость, шерсть и т. д.);
- легкой и текстильной промышленности.

В последние десятилетия в связи с интенсификацией сельского хозяйства возросли отходы от полеводства и животноводства, поступающие в окружающую среду. Наряду с отходами сельскохозяйственного производства на сельхозпредприятиях и на перерабатывающих производствах накапливается большое количество тары, в частности из пластмасс, старой резины, вышедших из строя машин и запасных частей, неиспользованных удобрений и т. д.

Огромная урбанизация на нашей планете породила серьезную проблему утилизации выбросов городского хозяйства (бытовых отходов).

В связи с постоянным накоплением больших масс твердых отходов их следует рассматривать как важные вторичные ресурсы. Для их использования необходимо решить ряд вопросов как технологического, так и экономического порядка. В качестве ведущего направления в этих разработках предусматривается комплексное использование всех химических элементов, имеющих в отходах. При решении этой задачи в ряде случаев приходится разрабатывать новую, более совершенную технологию. Например, использование в цветной металлургии процессов хлорирующего обжига и гидрометаллургии позволило значительно увеличить число и массу извлекаемых из руд элементов.

Наиболее рациональным путем использования минерального сырья является создание **безотходной технологии**. Практика утилизации отдельных видов отходов убедительно показывает, что создание безотходной технологии возможно. Однако это, конечно, потребует большой подготовительной работы, связанной с созданием новых процессов переработки сырья и отходов. Только при накоплении данных о путях использования каждого вида отходов можно создавать более сложные комплексные системы, охватывающие целую цепочку взаимосвязанных производств, позволяющие рационально использовать исходное сырье и образующиеся отходы.

## 1.2. Классификация промышленных отходов

**Классификация ПО**, образующихся в результате производственной деятельности человека, необходима как средство определения оптимальных путей использования или обезвреживания отходов. Обобщение и анализ литературных данных показывают, что классификация ПО основана на систематизации их по отраслям промышленности, возможностям переработки, агрегатному состоянию, токсичности и т. д. В каждом конкретном случае характер используемой классификации определяется следующими процессами: складированием, очисткой, переработкой, захоронением ПО, предотвращением их токсичного воздействия и др. Каждая отрасль промышленности имеет классификацию собственных отходов (см. рис. 1).

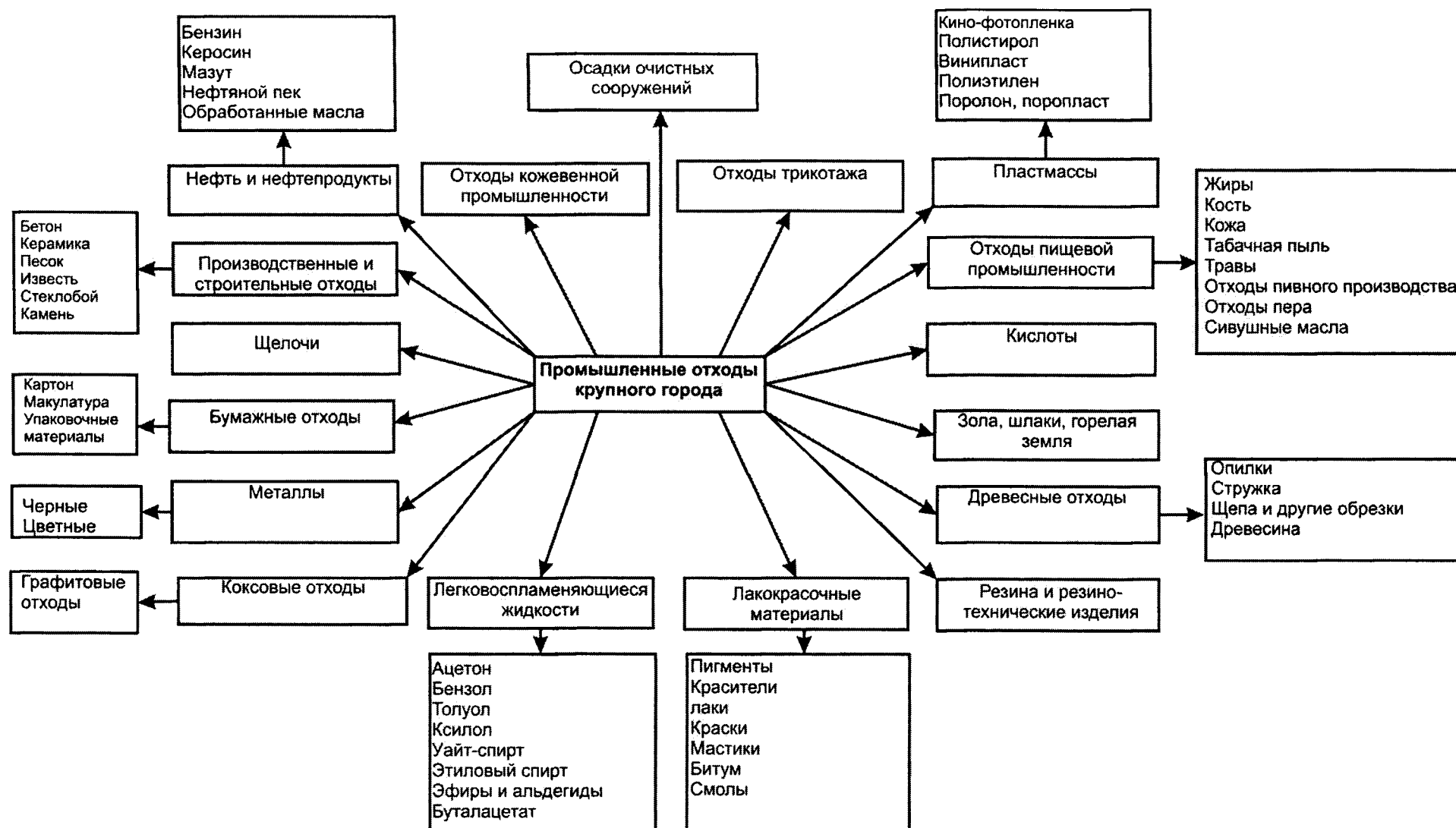


Рис. 1. Классификация промышленных отходов по группам и видам

Классификаций отходов возможна по разным показателям, но самым главным является степень опасности для здоровья человека. Вредными отходами, например, считаются инфекционные, токсичные и радиоактивные. Их сбор и ликвидация регламентируются специальными санитарными правилами.

Согласно ГОСТ 12.1.007–76 «Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности», все ПО делятся на пять классов опасности:

| <b>Класс:</b> | <b>Характеристика вещества (отходов)</b> |
|---------------|------------------------------------------|
| первый        | чрезвычайно опасные                      |
| второй        | высоко опасные                           |
| третий        | умеренно опасные                         |
| четвертый     | малоопасные                              |
| <b>пятый</b>  | неопасные                                |

Для примера можно привести класс опасности некоторых химических веществ, определяемый расчетным **методом**:

- наличие в отходах ртути, сулемы, хромовокислого калия, треххлористой сурьмы, бенз(а)пирена, оксида мышьяка и других высокотоксичных веществ позволяет отнести их к *первому классу опасности*;

- наличие в отходах хлористой меди, хлористого никеля, азотнокислого свинца и других менее токсичных веществ дает основание отнести эти отходы ко *второму классу опасности*;

- наличие в отходах сернокислой меди, щавелевокислой меди, хлористого никеля, оксида свинца, четыреххлористого углерода и других веществ позволяет отнести их к *третьему классу опасности*;

- наличие в отходах сернокислого марганца, фосфатов, сернокислого цинка, хлористого цинка дает основание отнести их к *четвертому классу опасности*.

Все остальные неопасные отходы отнесены к *пятому классу*.

Отходы могут быть использованы до или после обработки. На использование влияет не только их качество, но и количество в данном месте, а также местные условия.

По составу основным показателем можно считать происхождение отходов - органическое и неорганическое, а также сжигаемые отходы или нет.

Отходы возникают как в результате производственной деятельности, так и при потреблении. В соответствии с этим они подразделяются на отходы производства и отходы потребления.

*Отходами производства* следует считать остатки сырья, материалов или полуфабрикатов, образовавшиеся при изготовлении продукции и полностью или частично утратившие свои потребительские свойства, а также продукты физико-химической или механической переработки сырья, получение которых не являлось целью производственного процесса и которые в дальнейшем могут быть использованы в народном хозяйстве как готовая продукция после соответствующей обработки или в качестве сырья для переработки.

**Отходами потребления** считаются различного рода изделия, комплектующие детали и материалы, которые по каким-либо причинам не пригодны для дальнейшего использования. Эти отходы можно разделить на отходы **промышленного** и **бытового потребления**. К первым относятся, например, металлолом, вышедшее из строя оборудование, изделия технического назначения из резины, пластмасс, стекла и др. **Бытовыми отходами** (БО) являются пищевые отходы, изношенные изделия бытового назначения (одежда, обувь и пр.), различного рода использованные изделия (упаковки, стеклянная и другие виды тары), пастообразные отходы бытовых сточных вод и др.

Все виды отходов производства и потребления по возможности использования можно разделить, с одной стороны, на **вторичные материальные ресурсы** (ВМР), которые уже перерабатываются или переработка которых планируется, и, с другой стороны, на отходы, которые на данном этапе развития экономики перерабатывать нецелесообразно и которые неизбежно образуют безвозвратные потери.

Утилизируемые отходы перерабатываются на месте их образования или на других предприятиях, имеющих соответствующую технологию. Некоторые не утилизируемые отходы в силу потери потребительских свойств в настоящее время не могут найти применение в современном производстве. Эти отходы захоранивают, если они не представляют опасности для окружающей среды.

В случае опасности с санитарно-гигиенической точки зрения отходы можно захоранивать только после предварительного обезвреживания.

ВМР удобно классифицировать по двум признакам: источнику образования и направлению использования. В качестве примера на рис. 2 приведена классификация ВМР по источнику образования (без отходов сельскохозяйственного производства). Для наиболее полной характеристики рассматриваемых ВМР, необходимой для организации учета их образования, хранения, распределения и использования, целесообразно также группировать отходы по признакам. Примерный перечень признаков применительно к химической промышленности может быть **следующим**:

- подотрасль химической промышленности, в которой образуются или могут потребляться отходы;
- процессы, при проведении которых образуются ВМР (добыча, обогащение, переработка и др.);
- физико-химические свойства отходов;
- объем образующихся отходов (малотоннажные и крупнотоннажные);
- содержание ценных компонентов в отходах;
- стоимостные показатели;
- возможности использования отходов (наличие надежных способов переработки, а также соответствующего оборудования);
- транспортабельность отходов;
- воздействие отходов на окружающую среду.

Классификация отходов должна обеспечить получение данных, необходимых для разработки организационно-технических мероприятий по уменьшению количества отходов и их утилизации в рамках существующей технологии.



Рис. 2. Классификация вторичных материальных ресурсов по источнику образования

С практической точки зрения следует отметить, что если известна конечная ступень технологии переработки и утилизации ПО, то их следует классифицировать, основываясь в первую очередь на этой технологии. Конечным этапом обезвреживания большинства не утилизируемых городских ПО (исключая особо токсичные, а также инертный строительный мусор и т. п.) в настоящее время является сжигание.

При такой технологии важно сгруппировать все отходы так, чтобы они органически вливались в ту или иную технологическую цепочку, ведущую к конечной цели - термическому обезвреживанию отходов с утилизацией тепловой энергии и других полезных продуктов. Исходя из этого, нужно выделить горючие и негорючие отходы, внутри которых, в свою очередь, также есть различия в свойствах, фазовом состоянии, способах обработки и т. п. Отдельно следует выделить такие отходы, которые могут взаимно нейтрализовать друг друга или служить, например, реагентами для обработки образующихся сточных вод. Отходы, содержащие в себе особо полезные компоненты, например, цветные металлы, должны выделяться и обрабатываться отдельно, чтобы конечный продукт не смешивался с менее ценными шламами.

### 1.3. Нормирование сбора промышленных отходов

Для всех видов продукции, получение которой из ВМР или отходов экономически целесообразно, необходимо правильно рассчитать *нормы сбора* вторичных отходов. При оценке норм следует определить источники образования ВМР, проанализировать влияние технологических, организационных, экономических факторов на объем отходов, степень их использования и, кроме того, рассчитать годовые и перспективные планы для различных источников образования и сфер применения вторичных ресурсов.

Количество отходов производства, которые можно использовать для изготовления продукции, в общем случае определяют по формуле

$$H = C \cdot P, \quad (1)$$

где  $H$  - норма образующихся отходов,  $\text{кг/кг}$ ,  $\text{м}^2/\text{м}^2$ ,  $\text{м}^3/\text{м}^3$ ;  $C$  - объем продукции или сырья, при производстве или переработке которых образуются отходы,  $\text{кг}$ ,  $\text{м}^2$ ,  $\text{м}^3$ ;  $P$  - безразмерный коэффициент, учитывающий долю отходов, пригодных для использования (в каждом конкретном случае этот коэффициент определяется в зависимости от пригодности отходов для переработки по направлениям использования).

Методические основы определения объемов образования отходов разработаны сейчас практически во всех ведущих отраслях промышленности страны. При разработке норм образования и расхода ВМР и побочных продуктов в нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности, например, пользуются следующими **методами**:

- для отходов, образующихся в процессе физико-химической переработки сырья, применяют *расчетный метод*. При этом составляют материальные балансы технологических процессов, представляющие собой математические выражения зависимости нормируемых видов отходов от определяющих факторов;

- для отходов, образующихся при механической и механохимической переработке (обработке) сырья, материалов, полуфабрикатов, наряду с расчетным, можно пользоваться опытным или *статистическим методом* при условии хорошей организации учета расходов материалов и полуфабрикатов на предприятии.

*Норму образования отходов*  $N_{об}$  физико-химической переработки (обработки) сырья и материалов рассчитывают как разность между нормой расхода сырья и материалов на единицу продукции и их чистым (полезным) расходом, с учетом неизбежных потерь, обусловленных технологическим режимом данного производства, а также уровнем организации производственного процесса:

$$N_{об} = N - Q - qa, \quad (2)$$

где  $N$  - норма расхода сырья, материалов, кг/т, т/т, т/м<sup>2</sup> и т. д.;  $Q$  - чистый (полезный) расход сырья, материалов на единицу готовой продукции, т/м<sup>2</sup>;  $q$  - неизбежные потери при выпуске готовой продукции, м<sup>2</sup>, м, шт., и т. д.;  $a$  - вид неизбежных потерь,  $a = 1...m$ .

Количество отходов производства, которое может быть использовано для получения новых видов продукции, равно

$$N_{отх} = N_{об} \cdot V \cdot p, \quad (3)$$

где  $V$  - объем продукции или сырья, при переработке которого образуются отходы, т;  $p$  - коэффициент, учитывающий долю отходов, пригодных для использования.

### **Контрольные вопросы**

1. Дайте общую характеристику видов отходов и источников их образования.
2. Классификация ПО по видам и группам.
3. Классификация ВМР по источникам их образования.
4. Характеристика производственных отходов по их происхождению и возможности утилизации.
5. Методические основы нормирования сбора ПО.
6. Нормы образования ПО.

## Лекция 2. Методы утилизации и обезвреживания промышленных отходов и загрязнений

### 2.1. Общая характеристика методов утилизации и обезвреживания промышленных отходов

Все процессы переработки и обезвреживания отходов, в соответствии с принятой классификацией технологических процессов, можно разделить на физические, химические, физико-химические, биохимические и комбинированные.

В *физических процессах* изменяются лишь форма, размеры, агрегатное состояние и некоторые другие свойства отходов при сохранении их качественного химического состава. Эти процессы доминируют, например, при дроблении и измельчении вскрышных пород, хвостов обогащения, шлаков и зол, при окомковании тонкодисперсных материалов, брикетировании рудной мелочи, строительных отходов, в магнитных и электрических методах сепарации смешанных отходов, в процессах сушки и испарения.

*Химические процессы* изменяют физические свойства исходного сырья и его качественный химический состав. Взаимодействие веществ в них осуществляется в стехиометрических соотношениях, определяемых уравнениями протекающих реакций.

Важное место среди химических процессов занимают термические способы. Для ускорения обезвреживания загрязнителей или их извлечения во всех типах термических превращений могут быть использованы катализаторы.

*Термические способы* предусматривают тепловое воздействие на отходы, которое приводит к изменению их первоначального состава. Виды термического воздействия: сжигание, газификация, пиролиз, нагревание на воздухе, в вакууме и т. д. Их используют для удаления и обезвреживания органических веществ и некоторых цветных металлов, термической стабилизации грунтов, сжигания строительных отходов и т. п.

*Сжигание* - весьма распространенный метод термической переработки отходов. Он реализуется при температурах не ниже 600 °С и относится к окислительным термическим процессам автогенного характера. *Автогенность* означает, что теплоты, выделяемой при окислении, достаточно для поддержания горения и что дополнительного топлива для этого не требуется.

При сгорании органической части отходов образуются диоксид и оксид углерода, пары воды, оксиды азота и серы, аэрозоли. Методы сжигания не нуждаются в организации шламового хозяйства, имеют компактное, простое в обслуживании оборудование, низкую стоимость очистки отходящих газов. Однако область их применения ограничивается свойствами продуктов реакции. Их нельзя использовать для переработки отходов, если последние содержат фосфор, галогены, серу. В этом случае могут образовываться продукты реакции, например, диоксины и фураны, по токсичности во много раз превосходящие исходные газовые выбросы.

Твердые продукты сгорания отходов, как правило, в виде золы накапливаются в нижней части печи и периодически вывозятся на захоронение или используются в производстве вяжущих веществ.

Основным полезным продуктом сжигания отходов является обычно тепло отходящих газов, используемое для выработки пара, электроэнергии, горячей воды для производственных и бытовых нужд.

**Газификация** как индустриальная технология применяется для переработки твердых, жидких и пастообразных отходов. В частности, она широко используется в металлургии для получения горючих газов из бурого высокозольного угля.

Сущность газификации заключается в обработке углеродсодержащего вещества (угля) при **600–1100 °С** водяным паром, кислородом (воздухом) или диоксидом углерода. В результате соответственно паровой, кислородной, углекислотной или комбинированной конверсии угля образуется равновесная смесь вновь образованных (водород, оксид углерода) и исходных газов. Эта смесь (генераторный газ, синтез-газ), включающая продукт неполного окисления угля (оксид углерода), а также водород, используется как газообразное топливо. Синтез-газ может содержать туман жидких смолистых веществ.

**Пиролиз**, как способ нагревания органических веществ до относительно высоких температур без доступа воздуха, сопровождается разложением высокомолекулярных соединений на низкомолекулярные, жидкую и газообразную фракции, коксованием и смолообразованием. В индустриальных технологиях его используют при сухой перегонке дерева, коксовании угля, крекинге нефти и в других случаях.

В зависимости от температуры реализации различают три вида пиролиза: низкотемпературный, или полукоксование (не более 450-550 °С); среднетемпературное коксование (до 800 °С). С повышением температуры снижается выход жидких продуктов и увеличивается - газообразных продуктов. Поэтому низкотемпературный пиролиз обычно проводят для получения первичной смолы - наиболее ценного источника жидкого топлива и различных химических продуктов. Основная задача высокотемпературного пиролиза - получение высококачественного горючего газа. Твердый остаток (пиролизный кокс) используют в качестве заменителя природных и синтетических углеродсодержащих материалов, сорбента при очистке питьевых и сточных вод и т. д.

**Методы осаждения** основаны на обменных ионных реакциях с образованием малорастворимых в воде веществ, выпадающих в виде осадка. Они особенно эффективны при нейтрализации нерадиоактивных тяжелых металлов (Cr, Pb, Hg, Cd) и радионуклидов в грунте. В почве после ее обработки фиксируется более 90 % указанных элементов. Осаждение также применяют для очистки грунта от полихлорированных бифенилов, хлорированных и нитрированных углеводов.

**Технологии комплексообразования** используют для связывания (иммобилизации) тяжелых металлов, полициклических и ароматических углеводов, хлорорганики, нефте- и радиоактивных отходов. Комплексообразователями

служат неорганические вяжущие типа: портландцемент, зола, силикаты калия и натрия (жидкое стекло), известь, бентонин и др.

Недостаток метода - невысокая стойкость некоторых комплексообразователей к воздействию атмосферной и грунтовой влаги, изменению температурного режима, приводящая к разрушению композиционного материала.

**Физико-химические процессы** переработки отходов широко применяются в промышленных технологиях металлургии, основных химических производств, органического синтеза, энергетики и особенно в природоохранных технологиях т. п.). В утилизационных способах они образуют наиболее представительную группу методов, используемых в основном не столько для переработки и утилизации, сколько для обезвреживания промышленных и бытовых отходов. В этом плане можно назвать методы коагуляции и флокуляции, экстракции, сорбции, ионного обмена, флотации, ультрафиолетового облучения, радиационного воздействия и др.

**Биохимические процессы** представляют собой химические превращения, протекающие с участием субъектов живой природы, выполняющих роль биологического катализатора. Они основаны на способности различных штаммов микроорганизмов разлагать или усваивать многие органические соединения. Биохимические превращения составляют основу жизнедеятельности живых организмов растительного и животного мира. Продуктом этих превращений являются вещества неживой природы. На использовании биохимических превращений построены многие технологии, например методы переработки сельскохозяйственной продукции, а также отходов с получением биогаза, очистки сточных вод и др.

## 2.2. Первичная обработка твердых отходов

Основными направлениями ликвидации и переработки твердых промышленных отходов (кроме металлоотходов) являются вывоз и захоронение на полигонах, сжигание, складирование и хранение на территории предприятия до появления новой технологии переработки их в полезные материалы. Первичную обработку отходов целесообразно проводить в местах образования отходов, что сокращает затраты на погрузочно-разгрузочные работы, снижает безвозвратные потери при их перевалке и транспортировке и высвобождает транспортные средства.

Основные операции первичной обработки металлоотходов - сортировка, разделка и механическая обработка. **Сортировка** заключается в разделении лома и отходов по видам металлов. **Разделка** лома состоит в удалении неметаллических включений. **Механическая обработка** включает рубку, резку, пакетирование и брикетирование на прессах.

**Пакетирование** отходов организуется на предприятиях, на которых образуется 50 т и более высечки и обрезов в месяц. Каждая партия должна сопровождаться удостоверением о взрывобезопасности и безвредности. Стружку обрабатывают на пакетирующих и брикетировочных прессах, стружкодробилках.

**Брикетированию** (окускованию путем механического уплотнения на прессах, под молотком и на других механизмах) подвергается сухая и неокисленная стружка одного вида, не содержащая посторонних примесей с длиной элемента до 40 мм для стальной и 20 мм для чугуновой стружки. Прессование вьюнообразной стружки целесообразно производить в оттоженном состоянии, так как при этом отпадает необходимость выполнения таких подготовительных операций, как дробление, обезжиривание, отбор обтирочных материалов и мелких кусков металла.

На предприятиях, где образуется большое количество металлоотходов, организуются специальные цехи (участки) для утилизации вторичных металлов. Чистые однородные отходы с паспортом, удостоверяющим их химический состав, используют без предварительного металлургического передела.

Отходы древесины широко используются для изготовления товаров культурно-бытового назначения и хозяйственного обихода, изготавливаемых главным образом методом прессования. Кроме того, переработанные древесные отходы применяются в производстве древесно-стружечных плит, корпусов различных приборов и т. п.

При термической обработке отходов пластмасс расходуется большое количество кислорода и выделяется много высокотоксичных продуктов (углеводороды, хлористый водород и др.). Наиболее рациональным методом ликвидации пластмассовых отходов служит высокотемпературный нагрев без доступа воздуха (**пиролиз**) в результате которого из отходов пластмасс в смеси с другими отходами (дерево, резина и др.) получают ценные продукты: пирокарбонат, горючий газ и жидкая смола. Пирокарбонат применяется для производства разнообразных полимерных и строительных материалов. Высокая температура в зоне пиролиза обеспечивает разрушение практически всех сложных ядовитых соединений и превращает их в простые горючие или инертные соединения. Пиролиз широко применяется и для переработки производственного мусора органического происхождения (древесины, резины, бумаги, ветоши и т. д.).

Содержание отходов древесины и пластмасс в чистом виде характерно только для специфических предприятий и цехов: заводы пластмассовых изделий, модельные участки литейных цехов т. п. На большинстве промышленных предприятий пластмассы и древесные отходы входят в состав промышленного мусора предприятий, при этом разделение мусора на отдельные его компоненты оказывается экономически нецелесообразным. В настоящее время разработаны и внедрены в промышленном масштабе технологии обработки, утилизации и ликвидации промышленного мусора. Качественный и количественный состав промышленного мусора любого предприятия примерно стабилен в течение года, поэтому технология переработки мусора разрабатывается применительно к конкретному предприятию и определяется составом и количеством промышленного мусора, образующегося на территории.

Захоронение отходов должно проводиться в специально отведенных местах по согласованию с органами государственного санитарного надзора. Пункт

захоронения отходов необходимо располагать на незатопляемой территории с низким уровнем грунтовых вод, с наличием водоупорного глинистого слоя. Расстояние от места захоронения отходов до населенных мест и открытых водоемов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования, а также водоемов рыбохозяйственного назначения устанавливается в каждом конкретном случае по согласованию с органами государственного санитарного надзора.

### 2.3. Сжигание твердых отходов

*Сжигание* - наиболее распространенный способ термического обезвреживания ПО. Сжигание осуществляется в печах и топках различных конструкций.

*Промышленные печи* — это технологические или энерготехнологические агрегаты, в которых тепло сожженного твердого, жидкого или газообразного топлива или нагрев, производимый электрическим током, используются для технологических либо отопительных целей. *Топка* представляет собой устройство для сжигания топлива в печах и паровых котлах и является одним из элементов печи. Поскольку сжигание отходов не всегда сопровождается утилизацией тепла, следует различать термины «печь» и «топка».

В основу классификации топочных устройств для сжигания отходов, положены признаки аэродинамического характера как наиболее важные, так как ими определяются подвод окислителя к реагирующей поверхности, что в наибольшей мере влияет на удельную теплопроизводительность и экономичность топочного процесса. В этой связи различают *топки слоевые* - для сжигания кускового топлива, например неизмельченных твердых бытовых отходов (ТБО), и *камерные* - для сжигания газообразных и жидких отходов, а также твердых отходов в пылевидном (или мелкодробленом) состоянии. Комбинированный способ сжигания реализуется в *факельно-слоевых топках*.

Сжигание твердых и пастообразных отходов может осуществляться во всех перечисленных выше типах печей, за исключением барботажных и турбобарботажных, которые используют для сжигания жидких отходов. Наиболее широкое применение получили факельно-слоевые топки. Топки для слоевого сжигания, которые более других используются для сжигания твердых отходов (прежде всего ТБО и их смеси с производственным мусором), классифицированы по ряду других признаков: способам подачи и воспламенения отходов, удаления шлака и т. д.

Схема мусоросжигательного завода со ступенчатой колосниковой решеткой показана на рис. 3.

Подлежащие сжиганию отходы специализированным автотранспортом привозят на завод и разгружают в приемный бункер **1**, откуда грейфером **2** подают в загрузочный бункер **3** камерной печи **6**. Печь оборудована ступенчато расположенными подвижными колосниками **4**, под которые воздуходувкой **5** подается воздух, необходимый для процесса горения. Жидкие горючие отходы могут впрыскиваться в печь форсункой **7**. Дымовые газы отдают тепло в котле

8, очищаются в электрофилтре 10 и при помощи дымососа 11 выбрасываются в атмосферу через трубу 12.

Шлак, поступающий с колосниковой решетки, охлаждается водой и направляется на складирование транспортирующим устройством 9. Тепло, вырабатанное в котле, может использоваться непосредственно в виде пара или расходоваться на производство электроэнергии.

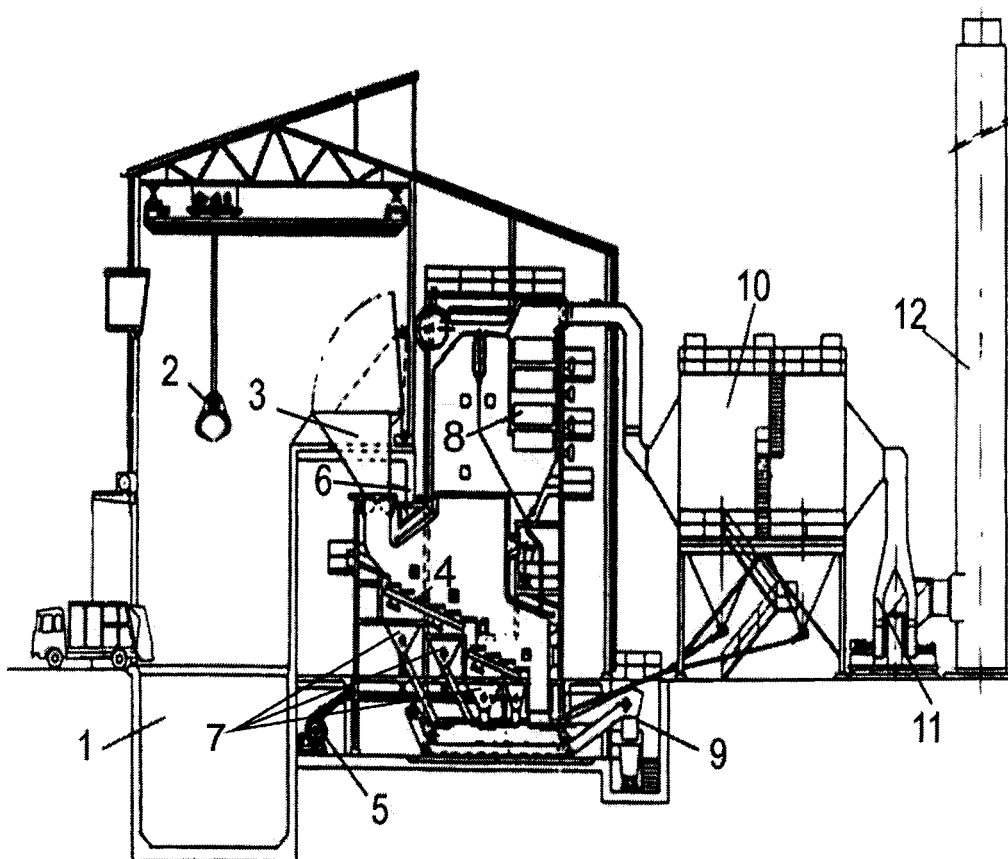


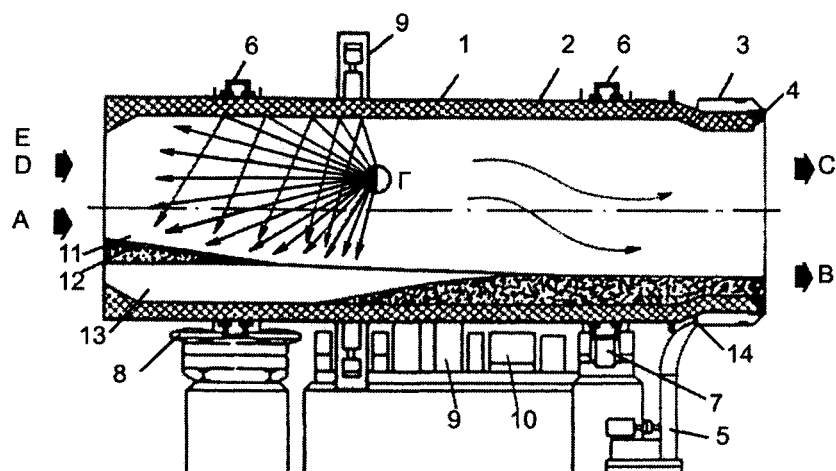
Рис. 3. Схема мусоросжигательного завода:

1 - приемный бункер; 2 - грейфер; 3 - загрузочный бункер; 4 - колосники; 5 - воздухоудка; 6 - камерная печь; 7 - форсунка; 8 - паровой котел; 9 - транспортирующее устройство; 10 - электрофилтр; 11 - дымосос; 12 - труба

Используют *барабанные печи* (рис. 4), которые являются одним из основных видов теплоэнергетического оборудования для сжигания твердых и пастообразных горючих промышленных отходов. Они представляют собой цилиндрическую вращающуюся конструкцию, монтируемую под небольшим ( $1-2^\circ$ ) углом к горизонту. Обычно отношение длины барабана ( $10-25$  м) к его диаметру равно  $2:1-10:1$ , частота вращения  $1-5 \text{ мин}^{-1}$ . Температура горения составляет  $850-1650^\circ\text{C}$ , продолжительность пребывания материала в печи, в зависимости от характера сжигаемых отходов, - от нескольких секунд до нескольких часов. Температуру при необходимости поддерживают за счет дополнительного топлива, в том числе горючих жидких отходов (отработанных масел, растворителей и др.). В ряде случаев агрегаты укомплектованы регенераторами тепла отходящих газов для подогрева воздушного дутья, поступающего в печь. Выходящие из печи газы обычно содержат несгоревшие примеси, поэтому в

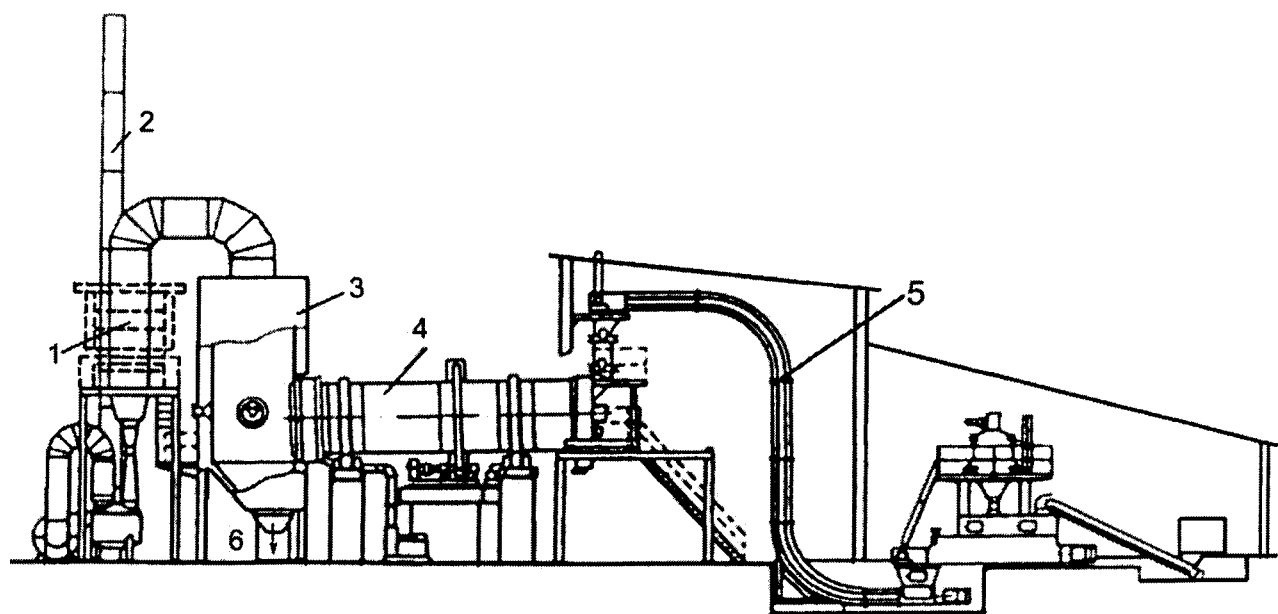
установках с барабанными печами (рис. 5) устанавливают камеру дожигания. Для очистки отходящих газов используют скрубберы или электрофилтры.

Недостатки барабанных печей: низкие удельные тепловые и массовые нагрузки реакционного объема, обуславливающие высокие капитальные и эксплуатационные расходы.



**Рис. 4. Схема барабанной печи:**

А - загрузка отходов; С - дымовые газы; В - выгрузка золы (шлака); D - дополнительное топливо; Е - воздух;  
Г - тепловое излучение; 1 - корпус барабанной печи; 2 - футеровка; 3 - разгрузочный торец;  
4 - присоединительные сегменты; 5 - вентилятор; 6 - бандаж; 7 - ролики опорные; 8 - ролики боковые;  
9 - зубчатый венец; 10 - привод; 11 - зона испарения воды; 12 - отходы; 13 - зона горения; 14 - зола (шлак)



**Рис. 5. Установка с барабанной печью:**

1 - очистка газов; 2 - труба; 3 - камера дожигания; 4 - барабан; 5 - подача отходов; 6 - шлак

*Печи кипящего слоя* (КС) относятся к числу наиболее эффективных агрегатов для сжигания отходов (рис. 6).

Принцип работы реакторов КС состоит в подаче газового потока под слой дисперсного или мелкодробленого материала, обычно с размером частиц 1-5 мм. В таком случае при определенной скорости газов слой переходит в ре-

жим витания (взвешенности), образуя псевдоожиженное состояние. Это обеспечивает контакт газов со значительно большей поверхностью частиц, что существенно ускоряет сгорание отходов. Печи КС имеют диаметр 2,7-9 м при высоте в несколько метров. Сжигаемые отходы подают либо в слой инертного материала (песка), либо над ним. Инертный материал служит тепловым аккумулятором, позволяющим сгладить колебания температуры в слое. Он же способствует более равномерному распределению отходов по сечению печи. Обычно температура слоя составляет  $760-810^{\circ}\text{C}$ . Для элиминирования запахов необходимо избегать работы на нижнем уровне температур. Верхний их предел ограничивается опасностью расплавления или спекания перерабатываемого материала, приводящей к расстройству процесса. Для связывания некоторых загрязнителей, например оксидов серы, в псевдоожиженный слой добавляют известняк или доломит, переводящие их в нейтральный продукт (сульфат кальция). Отходящие газы печи очищают в циклонах и электрофильтрах.

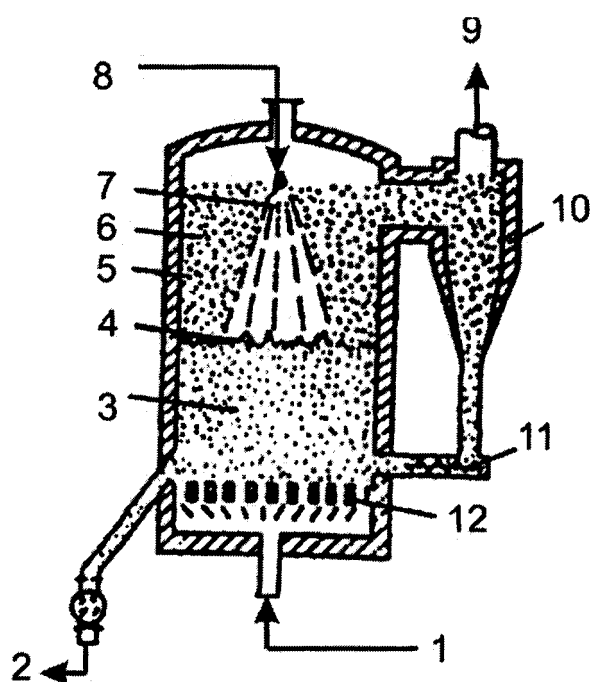


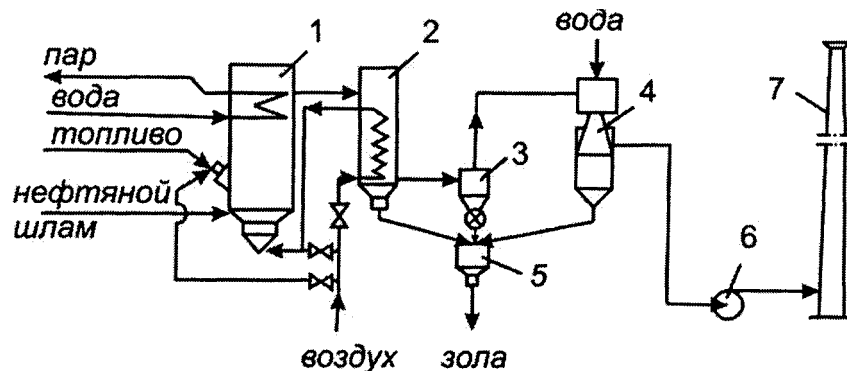
Рис. 6. Схема реактора с псевдоожиженным слоем:

1 - воздух для псевдоожижения; 2 - твердый продукт; 3 - слой инертного носителя; 4 - граница псевдоожиженного слоя; 5 - корпус; 6 - унос золы; 7 - поток загруженных отходов; 8 - загрузка отходов; 9 - отходящие газы; 10 - сепаратор; 11 - возврат пыли; 12 - решетка

Как пример, на рис. 7 показана схема установки с использованием печи кипящего слоя для сжигания нефтешламов. Это самый распространенный способ утилизации и обезвреживания нефтяных шламов. Шлам из узла подготовки поступает в печь, где сжигается в присутствии нагретого воздуха. Для увеличения эффективности сжигания в качестве теплоносителя в печи используется кварцевый песок фракции 2-3 мм. При использовании шлама с теплотворной способностью до  $500 \text{ ккал/кг}$  в печь дополнительно подают топливный газ и нагретый воздух. При сжигании высококалорийного шлама необходимо охлаждение кипящего слоя.

Достоинства **печей КС**: уже отмеченные оптимальные условия для интенсивного перемешивания и взаимодействия воздуха и отходов с участием всей внешней поверхности последних; надежная работа агрегата, в рабочей зоне которого отсутствуют движущиеся механизмы; высокая удельная производительность единицы объема и площади печи.

Недостатки печей КС: капитальные затраты в 2-3 раза больше, чем для вращающихся печей; большой **пылевынос**. Поэтому в Европе устройства КС там, где это технологически приемлемо, постепенно замещаются печами газификации.



**Рис. 7. Схема установки с печью кипящего слоя для сжигания нефтешламов:**  
 1 - печь кипящего слоя; 2 - воздухоподогреватель; 3 - циклон; 4 - труба Вентури;  
 5 - сборник золы; 6 - дымосос; 7 - дымовая труба

## 2.4. Пиролиз и газификация отходов

**Пиролиз** (сухая перегонка) - процесс разложения отходов органических материалов, древесины и другого растительного сырья при их нагревании без доступа воздуха до 450-550 °С, приводящий к образованию ряда газообразных и жидких продуктов, а также твердого углеродного остатка (например древесного угля при переработке древесного сырья).

Следует отличать пиролиз от близкого к нему процесса газификации. **Газификация** является термохимическим высокотемпературным процессом взаимодействия органической массы или продуктов ее термической переработки с газифицирующими агентами, в результате чего органическая часть или продукты ее термической переработки обращаются в горючие газы. В качестве газифицирующих агентов применяют воздух, кислород, водяной пар, диоксид углерода, а также их смеси.

Процессы пиролиза отходов получили большее распространение, чем газификация. Пиролизу подвергаются твердые бытовые и близкие к ним по составу ПО, отходы пластмасс, резины (в том числе, автомобильные покрышки), другие органические отходы.

С точки зрения санитарии процесс пиролиза обладает лучшими показателями по сравнению со сжиганием. Количество отходящих газов, подвергаемых очистке, намного меньше, чем при сжигании отходов. Объем твердого остатка, получаемого по схеме высокотемпературного пиролиза, может быть значительно уменьшен. Твердый остаток можно использовать в промышленности

(сажа, активированный уголь и др.). Таким образом, некоторые схемы пиролиза отходов могут быть безотходными.

Процесс пиролиза древесных отходов, схематично представленный на рис. 8, осуществляют в печах периодического и непрерывного действия различных конструкций (камерных, ретортных, туннельных, шахтных, многополочных, вращающихся, с движущимися слоями и др.) с наружным и внутренним обогревом. При подъеме температуры в печи вначале осуществляются эндотермические процессы. Примерно до  $150\text{ }^{\circ}\text{C}$  происходит удаление влаги (сушка) перерабатываемого древесного сырья. При дальнейшем повышении температуры в интервале около  $170\text{--}270\text{ }^{\circ}\text{C}$  начинается образование газов ( $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ) и небольших количеств метилового спирта и уксусной кислоты. Область температур около  $270\text{--}280\text{ }^{\circ}\text{C}$  инициирует начало экзотермических превращений, прогрессирующих с дальнейшим увеличением температуры. При этом падает выход таких неконденсирующихся газов, как  $\text{CO}$  и  $\text{CO}_2$ , с одновременным увеличением образования других газообразных ( $\text{CH}_4$ ,  $\text{C}_2\text{H}_4$ ,  $\text{H}_2$ ) и парообразных веществ, в том числе метилового спирта и уксусной кислоты. Размер кусков, влажность перерабатываемого материала, температура и скорость процесса существенно влияют на выход продуктов пиролиза.

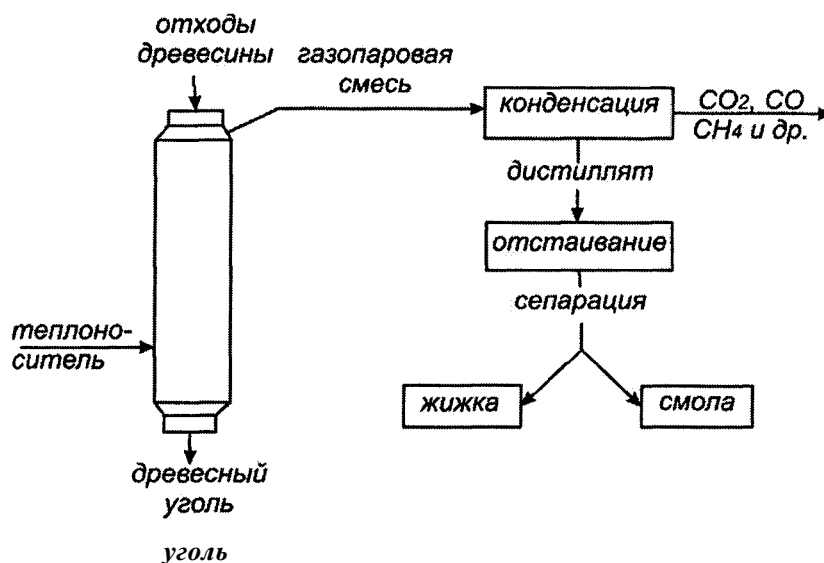


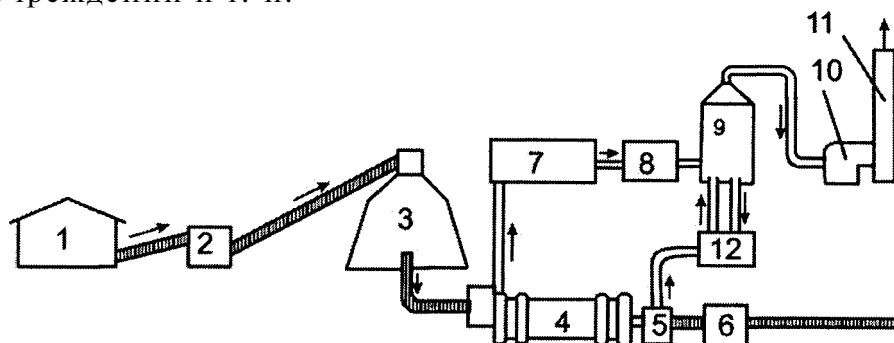
Рис. 8. Принципиальная схема пиролиза древесных отходов и получения первичных продуктов процесса

Примером низкотемпературного пиролиза может служить технологическая схема Ландгард (рис. 9), в которой процесс осуществляется во вращающейся печи при недостаточном доступе кислорода. Отходы, подлежащие пиролизу, движутся противотоком по отношению к обогревающим газам. Процесс эндотермичен, и для его осуществления требуется дополнительное тепло.

В США разработан метод высокотемпературного пиролиза Торакс (рис. 10). Метод характеризуется процессами распада и частичного окисления горючих компонентов, а также плавлением инертных материалов при температуре до  $1650\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Отходы периодически загружаются в верхнюю часть реактора. Опускаясь вниз, они последовательно проходят зоны сушки, пиролиза, первичного сгорания и плавления. Горючий газ вместе с паром отсасывается вентиля-

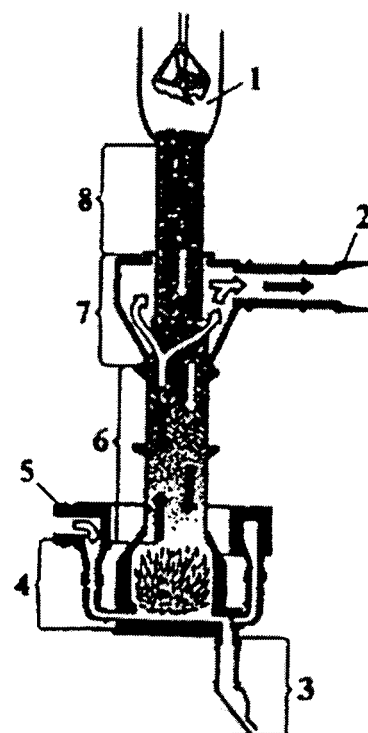
тором. Основными компонентами газа являются водород, оксид углерода, метан и азот.

Этим методом можно обрабатывать бытовые и производственные отходы, а также старые автопокрышки, обезвоженный осадок сточных вод, отходы медицинских учреждений и т. п.



**Рис. 9. Технологическая схема Ландгард:**

1 - приемный бункер; 2 - дробилка грубого дробления; 3 - бункер для дробления отходов; 4 - вращающаяся печь; 5 - шлаковая ванна; 6 - магнитный сепаратор; 7 - камера сжигания газа; 8 - парогенератор; 9 - скруббер; 10 - дымосос; 11 - дымовая труба; 12 - очистка воды



**Рис. 10. Реактор высокотемпературного пиролиза Торакс:**

1 - загрузка отходов; 2 - выход горючего газа; 3 - удаление и охлаждение шлама; 4 - зона сжигания и плавления; 5 - подача горячего воздуха в зону горения; 6 - зона пиролиза; 7 - зона сушки; 8 - загруженные отходы

## Контрольные вопросы

1. Дайте общую характеристику методов утилизации и обезвреживания промышленных отходов.
2. Назначение первичной обработки твердых отходов.
3. Обезвреживание промышленных отходов методом сжигания.
4. Назначение и сущность пиролиза и газификации твердых отходов.
5. Дайте характеристику метода высокотемпературного пиролиза.

## Лекция 3. Складирование и захоронение промышленных отходов на свалках, полигонах и поверхностных хранилищах

### 3.1. Складирование и захоронение промышленных отходов на свалках и полигонах твердых бытовых отходов

В Федеральном законе «Об отходах производства и потребления» используются следующие основные понятия.

**Отходы производства и потребления** - остатки сырья, материалов, полуфабрикатов, иных изделий или продуктов, которые образовались в процессе производства или потребления, а также товары (продукция), утратившие свои потребительские свойства.

**Опасные отходы** - отходы, которые содержат вредные вещества, обладающие опасными свойствами (токсичностью, взрывоопасностью, пожароопасностью, высокой реакционной способностью) или содержащие возбудителей инфекционных болезней, либо которые могут представлять непосредственную или потенциальную опасность для окружающей среды и здоровья человека самостоятельно или при вступлении в контакт с другими веществами.

**Обращение с отходами** - деятельность, в процессе которой образуются отходы, а также деятельность по сбору, использованию, обезвреживанию, транспортированию, размещению отходов.

**Размещение отходов** - хранение и захоронение отходов.

**Хранение отходов** - содержание отходов в объектах размещения отходов в целях их последующего захоронения, обезвреживания или использования.

**Захоронение отходов** - изоляция отходов, не подлежащих дальнейшему использованию, в специальных хранилищах в целях предотвращения попадания вредных веществ в окружающую природную среду.

**Использование отходов** - применение отходов для производства товаров (продукции), выполнения работ, оказания услуг или для получения энергии;

**Обезвреживание отходов** - обработка отходов, в том числе сжигание и обеззараживание отходов на специализированных установках, в целях предотвращения вредного воздействия отходов на здоровье человека и окружающую природную среду.

**Объект размещения отходов** - специально оборудованное сооружение, предназначенное для размещения отходов (полигон, шламохранилище, хвостохранилище, отвал горных пород и другое).

**Трансграничное перемещение отходов** - перемещение отходов с территории, находящейся под юрисдикцией одного государства, на территорию (через территорию) другого государства или в район, не находящийся под юрисдикцией какого-либо государства, при условии, что такое перемещение отходов затрагивает интересы не менее чем двух государств.

**Лимит на размещение отходов** - предельно допустимое количество отходов конкретного вида, которые разрешается размещать определенным способом на установленный срок в объектах размещения отходов с учетом экологической обстановки на данной территории.

**Норматив образования отходов** - установленное количество отходов конкретного вида при производстве единицы продукции.

**Паспорт опасных отходов** - документ, удостоверяющий принадлежность отходов к отходам соответствующего вида и класса опасности, содержащий сведения об их составе.

**Вид отходов** - совокупность отходов, которые имеют общие признаки в соответствии с системой классификации отходов.

**Лом и отходы цветных и/или черных металлов** - пришедшие в негодность, утратившие свои потребительские свойства изделия из цветных и/или черных металлов и их сплавов; отходы, образовавшиеся в процессе производства изделий из цветных и/или черных металлов и их сплавов, а также неисправимый брак, возникший в процессе производства указанных изделий.

**Полигон** - природоохранное сооружение для централизованного сбора, обезвреживания, захоронения (хранения) токсичных и нетоксичных отходов промышленных предприятий, научно-исследовательских организаций и учреждений, захоронения ТБО, обеспечивающее защиту от загрязнения атмосферы, почв, поверхностных и грунтовых вод, препятствующее распространению болезнетворных микроорганизмов и др.

**Санкционированная свалка** - разрешенная органами исполнительной власти на местах территория (существующая площадка) для размещения промышленных и бытовых отходов, но не обустроенная в соответствии со СНиП 2.01.28-85 и эксплуатируемая с отклонениями от требований санитарно-эпидемиологического надзора, является временной, подлежит обустройству в соответствии с указанными требованиями или закрытию в сроки, необходимые для проектирования и строительства полигона, отвечающего требованиям СНиП.

Промышленные отходы с соблюдением определенных условий можно складировать и захоранивать на свалках и полигонах твердых бытовых отходов (ТБО). Их складировать на грунт с соблюдением условий, обеспечивающих защиту от загрязнения атмосферы, почвы, поверхностных вод, препятствующих распространению болезнетворных микроорганизмов.

На полигонах производится уплотнение ТБО, позволяющее увеличить нагрузку отходов на единицу площади, обеспечивая тем самым экономное использование земельных участков. После закрытия полигонов поверхность земли рекультивируется для последующего использования земельного участка. Все работы на полигонах по складированию, уплотнению, изоляции ТБО и последующей рекультивации участка полностью механизированы. Предельное количество токсичных ПО, допускаемое для складирования на полигонах ТБО,

нормируется **документом**, утвержденным Главным государственным санитарным врачом. Основное условие приема ПО на полигоны ТБО - соблюдение санитарно-гигиенических требований по охране атмосферного воздуха, почвы, грунтовых и поверхностных вод. Главными критериями приема токсичных ПО на полигоны ТБО являются состав фильтрата при  $pH = 5-10$  и температуре  $10-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ , способность к самовозгоранию, выделению ядовитых газов, интенсивному пылению. Промышленные отходы, допускаемые для совместного складирования с ТБО, должны отвечать технологическим условиям: иметь влажность не более 85 %, не быть взрывоопасными, самовоспламеняющимися, самовозгорающимися. Не допускаются для совместного складирования ПО, температура самовоспламенения которых менее  $120\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а также все отходы, способные к самовозгоранию за счет химических реакций в толще складированной массы. ПО, допускаемые на полигон, не должны выделять пары и газы, дающие взрывоопасные или ядовитые смеси с воздухом и газами полигонов.

Производственные отходы IV класса принимаются на полигоны ТБО без ограничений в количественном и качественном отношении. Куски крупнее 250 мм укладывают в толщу рабочего слоя ТБО, а отходы, имеющие фракционный состав  $0,15-250$  мм, содержащие вредные вещества в допустимых пределах, используются в качестве изолирующего слоя. Эти отходы характеризуются содержанием токсичных веществ в водной вытяжке (1 л воды на 1 кг отходов) на уровне фильтрата из ТБО, а интегрирующие показатели БПК<sub>20</sub> и ХПК составляют не более 300 мг/л O<sub>2</sub>.

Промышленные отходы IV–III классов опасности, принимаемые в ограниченном количестве (не более 30 % массы ТБО) и складированные совместно с бытовыми, характеризуются содержанием в водной вытяжке токсичных веществ на уровне фильтрата из ТБО и значениями БПК<sub>20</sub> и ХПК - 4000-5000 мг/л O<sub>2</sub> (близко по показателям к фильтрату из ТБО).

Слой захораниваемых на свалках ТБО и ПО достигает обычно большой толщины. После исчерпания возможности складирования свалку засыпают землей, но в толще отходов в течение десятков лет идут биологические процессы анаэробного сбраживания органической части отходов с выделением биогаза. На местах бывших крупных свалок в ряде случаев считается экономичным наладить промышленную добычу биогаза. Так, в окрестностях Лос-Анджелеса расположен рекреационный комплекс площадью 243 га. Около 62 га этой территории с 1951 г. по 1969 г. использовалось в качестве санитарной засыпной свалки ТБО и ПО. В настоящее время на этом месте размещены спортивные сооружения, выставочный центр и конференц-зал, ипподром, гостиница и другие коммерческие и бытовые постройки. В генеральный план включен пункт утилизации биогаза, генерируемого на месте размещения бывшей свалки. С 1981 г. на этом месте эксплуатируются 30 газодобывающих скважин, обеспечивающих подачу газа в бойлерные установки систем отопления и горячего водоснабжения зданий и спортивных сооружений комплекса.

### 3.2. Складирование промышленных отходов в поверхностных хранилищах (шламонакопителях)

*Шламонакопители* основной тип промышленных хранилищ, которые строят по одно- и многокаскадному принципу с созданием плотины, берегов и чаши шламохранилища. Для того чтобы сливаемые промышленные стоки не фильтровались через стенки и дно прудов-отстойников, применяются экраны из различных материалов. Экраны из суглинка являются наиболее распространенными. Однако этот способ защиты имеет ряд существенных недостатков - при экранировании больших площадей он трудоемок: послойная укладка, смачивание, укатка дорог требует сотен тысяч кубических метров грунта. Кроме того, он недостаточно эффективен, так как не исключает полностью фильтрацию и с течением времени подвергается разуплотнению.

Экраны из полиэтиленовой пленки являются более эффективными, так как практически полностью исключают фильтрацию, при этом способе не требуется разработки карьеров качественного грунта, он дешевле, чем суглинистый экран. Однако этот способ имеет и недостатки: необходимы тщательная планировка поверхности, удаление из грунта растительных остатков и крупных включений. Кроме того, соединение швов пленки является трудоемким процессом; для стоков химической промышленности требуется предварительное изучение влияния химических компонентов на пленку; после пуска в эксплуатацию пруда-накопителя экран из пленки практически недоступен ремонту и трудно восстановим.

Экран из **битумно-латексных** покрытий делают следующим образом: по выровненному и уплотненному гладкими катками основанию укладывают слой крупнозернистого асфальтобетона толщиной 5 см, который покрывают битумно-латексной эмульсией в 3 слоя по 2 мм. Поверх битумно-латексной эмульсии укладывают рулонную металлическую сетку из проволоки диаметром 3 мм с ячейками 100×100 мм, которую покрывают слоем мелкозернистого асфальта толщиной 3 см. Перед укладкой первого слоя асфальтобетона всю поверхность обрабатывают гербицидами для предупреждения прорастания семян растений, способных нарушить целостность экрана.

Для экранирования применяют противофильтрационные стенки из высокодисперсных глин. Недостатком этого способа является сезонность работ при возведении стенки. При существующей технологии создание стенки в зимнее время затруднено в связи с нарушением процессов глинизации и диспергирования частиц в растворах и невозможностью их отложения на грунтах, подлежащих экранированию.

### **3.3. Обработка и утилизация промышленных отходов и загрязнений на специализированных полигонах**

Полигоны для обезвреживания и захоронения токсичных ПО являются природоохранными сооружениями, предназначенными для регулярного централизованного сбора, удаления, обезвреживания и захоронения не утилизируемых токсичных отходов, загрязнений и некондиционных продуктов (веществ) промышленных предприятий, научно-исследовательских организаций и учреждений, расположенных в одной или нескольких промышленных зонах. Количество и мощность полигонов для каждого промышленного района обосновывается технико-экономическими расчетами.

В соответствии со СНиП 2.01.28-85, в составе полигонов предусматривается строительство трех основных объектов, которые могут быть расположены на одной или нескольких отдельно расположенных **площадках**:

- цеха для обезвреживания токсичных ПО и некондиционных продуктов (веществ), предназначенного для сжигания и физико-химической переработки этих отходов и продуктов с целью их полного обезвреживания или понижения токсичности (класса опасности), перевода их в нерастворимые формы, обезвреживания и сокращения объема отходов, подлежащих захоронению;
- участка захоронения отходов, представляющего собой территорию, на которой располагаются специально оборудованные карты или котлованы, куда складировать различные группы токсичных твердых отходов;
- гаража специализированного парка автомашин, предназначенных для транспортирования токсичных ПО.

Обработка ПО на полигонах является более прогрессивным способом, чем сброс на свалки ТБО, поскольку наряду с захоронением и примитивным сжиганием, здесь предусматриваются установки для промышленной обработки некоторых видов ПО.

Приему на полигоны не подлежат:

- радиоактивные отходы;
- нефтепродукты, подлежащие регенерации;
- древесные отходы (опилки, тара и т. д.);
- строительные отходы.

Полигоны следует располагать в свободных от застройки, открытых, хорошо проветриваемых незатопляемых местах, на которых возможно осуществление мероприятий и инженерных решений, исключающих загрязнение населенных пунктов, зон массового отдыха и источников питьевого водоснабжения (открытых водохранилищ и подземных вод). Размер санитарно-защитной зоны от полигона до населенных пунктов и открытых водоемов устанавливается с учетом местных условий (климат, рельеф, тип почв, направление ветров и т. д.), но не менее 3000 м. Полигоны должны располагаться на расстоянии не менее 200 м от сельскохозяйственных угодий и транзитных магистральных дорог и не менее 50 м от лесных массивов и лесных посадок (рис. 11). Полигоны следует размещать, как правило, на участках со слабо фильтрующими грунтами (глина,

суглинки, сланцы и т. д.), характеризующимися коэффициентом фильтрации не более  $10^{-5}$  см/с. Уровень грунтовых вод при их наибольшем подъеме с учетом подъема воды при эксплуатации полигона должен составлять не менее 2 м от нижнего уровня захороненных отходов (углубление 7–15 м).

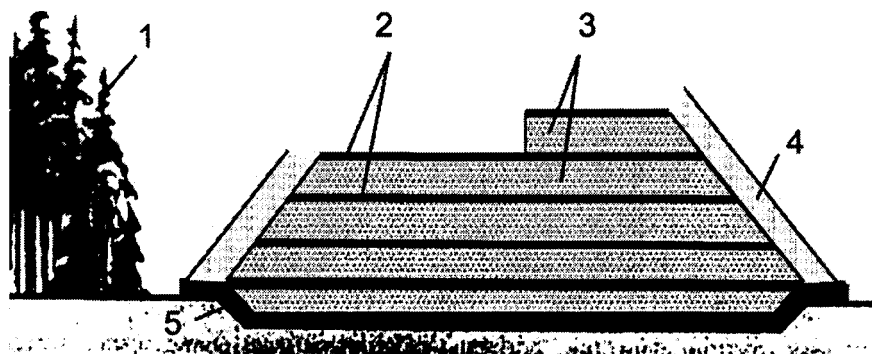


Рис. 11. Разрез полигона для твердых отходов:

1 - лесозащитная полоса; 2 - промежуточный изолирующий слой; 3 - твердые отходы;  
4 - укрывающий наружный слой; 5 - естественное или искусственное водоупорное основание

В соответствии с указанными выше Правилами и СНиПом на все отходы, вывозимые на полигоны, должен составляться паспорт с технической характеристикой состава отходов и кратким описанием мер безопасности обращения с ними на полигоне при их захоронении или сжигании. Паспорт представляется с каждым рейсом автомобиля на каждый вид отходов за подписью ответственных лиц предприятия.

Горючие отходы подлежат сжиганию. В отличие от свалок, для этого на специально выделенном участке полигона следует построить печь, режим которой должен обеспечивать сжигание при температуре 1000-1200 °С, исключая загрязнение окружающего воздуха. Печь должна быть оснащена газоочистными и пылеулавливающими устройствами.

В процессе эксплуатации полигона необходимо проводить систематический текущий контроль службой полигона и выборочный контроль СЭН за уровнем содержания токсичных ингредиентов в грунтовых водах, в почве территории, прилегающей к полигону, в растениях вокруг полигона, а также в атмосферном воздухе в радиусе 3000 м.

### Контрольные вопросы

1. Назовите основные требования по безопасному приему, складированию и захоронению промышленных отходов на свалках и полигонах ТБО.

2. Устройство шламонакопителей для складирования и хранения промышленных **ОТХОДОВ**.

3. Устройство специализированных полигонов для хранения промышленных **ОТХОДОВ**.

4. Основные требования по приему, обработке и складированию промышленных отходов на специализированных полигонах.

## Лекция 4. Некоторые наиболее распространенные промышленные отходы добычи и обогащения полезных ископаемых и типичные методы их переработки

### 4.1. Общая характеристика отвальных пород и хвостов обогащения

По *генезису* (происхождению) отходы добычи полезных ископаемых подразделяют на вскрышные и вмещающие породы. И в тех, и в других содержание полезного ископаемого значительно меньше, чем в среднем по месторождению (пустая порода). *Пустую породу* приходится отделять от добываемого полезного ископаемого, складирова значительную ее часть в отвалах (*отвальная порода*).

*Вскрышные породы* покрывают полезные ископаемые сверху. При толщине слоя не более нескольких десятков метров они удаляются с поверхности, открывая непосредственный доступ к месторождению (*открытая добыча*). При больших глубинах залегания разработка месторождения ведется подземным способом, без удаления вскрышных материалов.

*Вмещающие породы* разделяют отдельные пласты полезных ископаемых в горизонтальных, вертикальных и наклонных плоскостях внутри месторождения.

*Отходы обогащения* образуются в одноименных процессах, которые обычно являются промежуточными между технологиями добычи полезных ископаемых и их глубокой химической, физико-химической или биохимической переработкой. *Обогащение* позволяет отделить значительную часть пустой породы и примесей, повысив в исходном сырье концентрацию ценных компонентов. Оно обычно применяется к рудному сырью.

При обогащении получают концентраты, «хвосты» и, иногда, промежуточные продукты. В концентратах содержание полезных компонентов выше, а вредных примесей ниже, чем в исходном сырье. В хвосты переходит пустая порода, вредные примеси и часть полезных ископаемых. Промежуточные продукты (промпродукты) содержат ценных компонентов меньше, чем в концентрате, но больше, чем в руде. В зависимости от экономической целесообразности в некоторых случаях их объединяют с концентратами или хвостами, а иногда дополнительно обогащают, получая кондиционные концентраты и вторичные **ХВОСТЫ**.

Отходы добычи и обогащения весьма крупнотоннажны. Значительная их доля, порядка 80 %, направляется для закладки выработанного пространства шахт и карьеров в рамках исполнения промышленных технологий добычи полезных ископаемых. Остальная их часть, также значительная, накапливается в отвалах пустых пород горных предприятий и хвостохранилищах обогатительных фабрик.

## 4.2. Производство вяжущих и строительных материалов

Важнейшим источником сырья для этих целей являются отвалы горнодобывающих предприятий. Значительная их часть представлена высокоосновными (маломергелистыми) с большим содержанием извести и кремнийсодержащими (кислыми) породами. Эти свойства отходов определяют основные направления их переработки.

Пески в составе вскрышных пород в большей части подходят для приготовления строительных растворов и бетонов, закладки горных выработок, получения силикатного кирпича. Глинистая фракция может быть применена для выпуска минеральной ваты и керамзита.

Весьма разнообразны содержащиеся во вскрышных породах каменные материалы, которые можно использовать в качестве нерудных заполнителей в бетонах и огнеупорах, добавок в асфальт, для получения строительного щебня, дорожных оснований, бутового камня и т. п. Кристаллические сланцы пригодны для производства облицовочных **плит**.

Классифицированные по крупности отходы обогащения железосодержащих руд (щебень и пески) используют в основном в строительстве.

Щебень применяют для производства тяжелых бетонов, при строительстве автомобильных дорог, устройстве балластного слоя внутризаводских железнодорожных путей, создании искусственных оснований под фундаменты зданий, при обратных засыпках, производстве холодного асфальта.

Пески крупностью  $+0,14$  мм, т. е. большей, чем нежелательной илистой части компонентов при получении строительных материалов, используют: как мелкий заполнитель бетонов; для производства силикатного и шлакового кирпича и в качестве добавки для изготовления глиняного кирпича; как балластный материал; при выпуске деталей и конструкций широкой номенклатуры для жилищногражданских, промышленных зданий и сооружений (стеновые блоки, облицовочные керамические плитки и т. п.).

Пески крупностью  $-0,14$  мм применяют как сырье для автоклавных и безавтоклавных изделий и конструкций из тяжелого и ячеистого силикобетонов, в качестве порошка в асфальтобетонных смесях, безобжиговых заполнителей, при выпуске шлаковых цементов.

Карбонатно-бариевые и кварцсодержащие хвосты обогащения железных руд используют в производстве цементов. При их получении применяют также некондиционные железные руды.

Следует, прежде всего, отметить технологии, направленные на извлечение из отвальных пород дополнительного количества черных металлов.

Для доизвлечения железа применяются различные способы обогащения (обратная флотация, флотация хвостов, прямая флотация руды, сухая магнитная сепарация, магнитно-флотационный способ и др.). Вместе с тем они не всегда эффективны для обогащения окисленных немагнитных руд.

Современная техника и технология извлечения цветных металлов из отвальных пород рудных месторождений и хвостов обычно основана на выделении при обогащении сопутствующих компонентов в отдельный концентрат.

### 4.3. Горнохимические отходы

*Горнохимические отходы* образуются при добыче и обогащении химических и агрохимических руд. Эти руды характеризуются сложным минеральным составом, комплексностью и низким содержанием основного компонента. Обычно они используются как сырье для производства минеральных удобрений с извлечением из него основных минералов - апатита, фосфата и т. д. Комплексной переработке в настоящее время подвергают лишь наиболее изученные руды, в частности хибинские апатито-нефелиновые, ковдорские апатитсодержащие, кингисеппские, егорьевские и вятско-камские фосфориты. Основные минералы в них - апатит  $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{FeOH})_2$ , нефелин  $\text{Na}\{\text{AlSiO}_4\}$ , сфен  $\text{CaTiO}_3$ , титано-магнетит  $\text{FeFe}_2\text{O}_4\text{FeTiO}_3$ .

Технологическая схема переработки хвостов предусматривает их двухстадийную классификацию в гидроциклонах. Пески последних (кл. +0,2 мм) направляют в отвал, а слив (кл. -0,2 мм) обесшламливается по кл. 0,02 мм, сгущается до 35 % и поступает на обратную флотацию нефелина.

При обратной флотации в пенный продукт извлекаются остатки апатита, титано-магнетит, сфен и темноцветные минералы. В каменном продукте концентрируется нефелин, полевые шпаты и другие алюмосиликаты. Поскольку концентрация  $\text{Al}_2\text{O}_3$  в продукте находится на уровне 28 %, то его подвергают доводке методами пенной и магнитной сепарации с получением нефелинового концентрата, содержащего не менее 28,5 %  $\text{Al}_2\text{O}_3$  и на 76-80 % состоящего из нефелина. В виде порошка с влажностью 1-1,5 % его отправляют потребителю для дальнейшей переработки на алюминий, цемент, кальцинированную соду, стройматериалы и т. д.

Из хвостов производства нефелинового концентрата флотацией выделяют сфеновый концентрат. Его перерабатывают в пигментный диоксид титана и наполнители. Применяемая для этого схема включает следующие операции: доизмельчение концентрата до крупности - 74 мкм, его химическую очистку от примесей апатита и нефелина разбавленным раствором серной кислоты; сульфатизацию, выщелачивание, фильтрацию титанового раствора; гидролиз, прокаливание титанового пигмента (содержит 50 %  $\text{TiO}_2$ ).

Хвосты фабрики флотации, содержащие в основном кварцевый песок и глауконит, можно использовать для производства облицовочной керамической плитки. Схема ее получения, прошедшая опытно-промышленную проверку, включает подготовку шихты, состоящей из 80 % хвостов флотации, 5 % соды и 15 % доломита, варку ее в стекловаренной печи при 1500 °С, формирование жидкой стекломассы на прокатных машинах и отжиг изделия для снятия остаточных напряжений. Испытания показали хорошие эксплуатационные свойства материала: адгезию к бетону, механическую прочность, химическую и термическую стойкость, пригодность для гражданского, промышленного и сельскохозяйственного строительства.

#### 4.4. Нерудные материалы

К распространенным нерудным материалам относятся: известняк, магнезит, доломит, мрамор, граниты, вермикулит, асбест, каолин, графит и т. п.

**Известняк** - один из известных представителей осадочных карбонатных пород химического происхождения. Его ведущий компонент - минерал **кальцит** ( $\text{CaCO}_3$ ).

Выветренный известняк вскрыши используется в сельском хозяйстве для раскисления почв. Отходы известняка применяются при изготовлении различных строительных материалов. Так, при производстве асфальтобетона успешно утилизируют отсеvy дробления известняка крупностью менее 5 мм, получаемые при фракционировании известнякового щебня. При этом они могут полностью заменить песчаный заменитель асфальтобетона.

**Магнезит** - кристаллическая горная порода на основе углекислого магния ( $\text{MgCO}_3$ ). При его обогащении образуются доломитсодержащие отходы с примесью карбонатных и глинистых компонентов, кварцитов и т. п. Большая их часть используется при изготовлении огнеупорных и строительных материалов, получении хлоридов магния.

**Доломит** - осадочная горная порода, представленная одноименным минералом  $\text{CaMg}[\text{CO}_3]_2$  и 5-10 % примесей. При обогащении доломита основную массу хвостов составляет силикат: диоксид  $\text{CaMg}[\text{Si}_2\text{O}_5]$ . Как и отходы обогащения магнезита, они применяются при изготовлении огнеупорных и строительных изделий, получении хлоридов кальция и магния, а также как известняковый компонент при производстве портландцемента.

**Мрамор** - кристаллическая горная порода, состоящая из зерен кальцита и образовавшаяся вследствие метаморфизма (превращения) осадочных известняков и доломитов под воздействием высокой температуры и значительного давления.

**Граниты** — глубинные магматические силикатные породы, состоящие из полевых шпатов, слюд, кварца и отличающиеся высокими механическими свойствами. Практически используют лишь отсеvy дробления гранитов при получении щебня и заполнителей бетона.

**Вермикулит** - гидроалюмосиликат магния и железа из группы гидрослюд с переменным содержанием воды. При нагревании он способен вспучиваться, увеличиваясь в объеме в 20 раз. Минерал обладает высокими теплоизоляционными и звукоизоляционными свойствами, огнестойкостью. Его состав, %: 37-42  $\text{SiO}_2$ ; 10-13  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ; 3,5-4,5  $\text{TiO}_2$ ; 6-20 оксидов железа; 14-23  $\text{MgO}$ ; 8-18  $\text{H}_2\text{O}$ .

**Асбест** - волокнистый минерал, представленный гидросиликатами магния. Основными отходами его добычи и обогащения являются отвалы пустой породы и хвостов. Частично их вовлекают в хозяйственный оборот. Так, на комбинате «Ураласбест» в 1990 г. внедрена новая линия обогащения отвальной массы с доизвлечением асбеста и получением из хвостов щебня различных фракций для строительства.

**Каолин** - белая или светлоокрашенная глина. Его отходами являются вскрышные породы добычи, хвосты сухого и мокрого способов обогащения. В настоящее время используют в основном отходы сухого обогащения каолина (для рекультивации нарушенных земель).

**Графит** - наиболее устойчивая в земной коре разновидность чистого углерода. Большинство отходов, получаемых при добыче и обогащении графит-содержащих пород, пока не находит промышленного применения. Только частично они привлекаются для заполнения горных выработок и подсыпки дорог.

### **Контрольные вопросы**

1. Дайте общую характеристику отходов отвальных пород и хвостов обогащения.

2. Назовите основные методы переработки и получения полезного продукта из промышленных отходов в виде отвалов горнодобывающих предприятий.

3. Назовите основные методы переработки горнохимических отходов в полезные продукты.

4. Какие основные материалы вскрышных пород добычи и отвалов пустой породы и хвостов находят применение в промышленности и вовлекаются в хозяйственный оборот.

## Лекция 5. Топливные отходы угледобычи, нефтеотходы и методы их переработки

### 5.1. Вскрышные породы угледобычи

Топливные отходы включают твердые отходы добычи угля и его обогащения, а также жидкие шламы нефтедобычи.

Доминирующими по массе являются твердые отходы. Их выход составляет 3-5 т/т угля при открытой добыче; 0,2-0,3 - при шахтной, **0,15–0,35** - при обогащении.

Основная доля (~ 90 %) отходов образуется при открытой добыче угля (вскрышные породы), остальная их масса примерно в равных количествах возникает при подземной добыче и обогащении углей. Все эти материалы состоят из неорганической части и органического вещества (остаточного углерода).

**Вскрышные породы** угольных разрезов обычно представляют осадочные материалы:

- **конгломераты** (сцементированная обломочная горная порода, преимущественно галька различного состава, величины и формы);

- **алевролиты** или **сцементированные алевриты** (рыхлые породы, промежуточные между песчаными и глинистыми, с размером зерен от 0,01 до **0,1** мм. К ним относят: лесс, лессовидные породы, ил);

- **аргиллиты** - породы, образовавшиеся вследствие уплотнения, обезвоживания и цементации глины. При одинаковых с глинами минералогическом и химическом составе они отличаются значительно большей твердостью и не размокают в воде.

Помимо названных, вскрышные породы включают песчаники, а также: пески, суглинки, супеси (рыхлые почвы, содержащие песок и глину с преобладанием первого), гравийно-песчаные и глинистые породы, иногда карбонаты.

Вскрышные породы угледобычи по методу Haldex (Венгрия) проходят грохочение и дробление, а затем размываются гидромониторами. Взвесь воды и породы подвергается контрольному рассеву, обычно по кл. 60 мм. Надрешетный продукт после дополнительного дробления возвращается на повторное размывание. **Подрешетный** продукт разделяется на несколько фракций (+20; 20-0,5; -0,5 мм). Наиболее крупную из них дробят. Среднюю фракцию (кл. 20- 0,5 мм) отправляют в гидроциклоны на обогащение тяжелой суспензией (с разделением по плотности **1,6-1,7 г/см<sup>3</sup>**). В качестве утяжелителя суспензии используется подрешетный продукт (кл. -0 % мм). Сливы гидроциклонов (в них переходит уголь) обесшламливается, их хвосты перочищаются в классификаторах. Затем один из продуктов классификации (уголь) соединяют с углем сливов. Выход концентратов составляет около 20 % при его зольности **8–13 %**. Безугольная часть переработанной породы, состоящая из песчаников, глин, аргиллита, пирита, известняка и т. п., может быть использована для производства строительных материалов и изделий.

Известна также более простая технология обогащения угольных отходов в гидроциклонах, применяемая в Польше. Дробленную породу обрабатывают в тяжелой суспензии с плотностью  $1,8 \text{ г/см}^3$ , затем ее обезвоживают и гидрокласифицируют по классам 30-6 и 6-0 мм. Углистые сланцы (30-6 мм) направляют для гидрозакладки и частично для производства клинкера, а выделенный уголь - для энергетических целей.

Определенное распространение за рубежом и в России получили и другие методы обогащения вскрышных пород угледобычи с выдачей кондиционного энергетического топлива (крутонаклонные сепараторы, флотация, воздушная классификация, гравитационные методы и т. д.).

Одним из новых направлений утилизации угольсодержащих отходов является их переработка с получением наполнителей-пигментов. Технология предусматривает окисление породы при  $350-750 \text{ }^\circ\text{C}$  в течение 4-6 ч с последующим ее измельчением. Эти наполнители применяют в производстве лакокрасочных материалов, пластмасс, резин, чистящих бытовых средств, различных керамических и строительных материалов, органоминеральных удобрений.

## **5.2. Отходы углеобогащения**

Данные отходы образуются при подготовке рядовых углей к обогащению и непосредственно в этом процессе. В последнем случае отделяется практически вся масса пустой породы, выделяемая обогатительной фабрикой.

Опыт утилизации рассматриваемых материалов достаточно разнообразен. Так, отходы углеобогащения, содержащие значительное количество горючей массы могут дополнительно обогащаться с получением кондиционного по зольности топлива, использоваться для сжигания или газификации.

Одним из направлений утилизации породы обогащения в России и за рубежом является производство строительных материалов: глиняного кирпича обыкновенного и пустотелого, искусственных керамических пористых наполнителей (аглопорита, керамзита и др.) для легких бетонов, стеновых керамических изделий, строительных камней, дренажных труб. В большинстве из перечисленных случаев, отходы углеобогащения частично замещают традиционные компоненты шихтовых смесей для получения этих материалов.

## **5.3. Отходы нефтедобычи и нефтепереработки**

Добыча нефти сопряжена с существенным загрязнением окружающей среды. Ведущими загрязнителями атмосферы в районах нефтедобычи являются углеводороды, сероводород и оксид углерода. Кроме того, в СНГ ежегодно происходит до 700 крупных разрывов нефтепроводов, потери достигают, по различным данным, 7-20 % добываемого сырья. Выброшенная нефть перемешивается с грунтом, образуя *нефтешламы*. При этом, помимо почвы, загряз-

няются также поверхностные хозяйственные и подземные водоносные горизонты, в них увеличиваются жесткость воды, содержание сульфатов, хлоридов, нитратов.

Отходы нефтегазовых комплексов сосредотачиваются обычно в **шламовых амбарах**. Последние представляют собой копаные ямы в теле буровых площадок или примыкающие к ним, заполненные отходами бурения (буровыми растворами, горными породами, глиной, цементом, водой и др.). Отходы относятся к четвертому классу токсичности и подлежат захоронению - засыпке привозными грунтами. Через год, из-за выдавливания жидкой массы, их приходится засыпать вторично. Эта технология считается экономически не выгодной.

Вместо этой технологии предложена технология под названием **«лесная рекультивация»**. Она предусматривает использование травянистых и древесных растений, из которых формируется местный ландшафт. В этом случае после проведения технической рекультивации - удаления пленки с поверхности водоема, уборки мусора и укрепления обваловок амбаров - на последних и в водоемах амбаров высаживают различные виды растений. Достоинство нового метода заключается в ускорении процесса зарастания территории по сравнению с естественным формированием растительного покрова.

Промышленная переработка нефтеотходов с получением нефти требуемого качества возможна при достаточно высоком ее содержании в отходах (Татарстан).

Крупным источником образования нефтешламов являются нефтеперерабатывающие и другие промышленные предприятия, ливневые поверхностные стоки, буровые воды нефте- и газодобывающих управлений и т. п.

Нефтяные шламы предприятий представляют собой донные осадки всех сооружений механической очистки сточных вод, продукты зачистки резервуаров, флотоконцентрат установок каскадно-адгезионной сепарации слива флотомашин. В целом это густая вязкая пастообразная масса, достаточно сильно обводненная (содержание воды 20-70 %), она также содержит в среднем 20-25 % нефтепродуктов и 5-10 % механических примесей в виде абразивной или металлической пыли, песка, земли и т. п., имеет теплоту сгорания порядка 3000-5000 ккал/кг.

Методы обработки шламов нефтеперерабатывающих заводов достаточно разнообразны. На ряде предприятий жидкие нефтепродукты, задержанные в нефтеловушках, песколовках, отстойниках или собранные с поверхности шламонакопителей, обезвоживают нагреванием, отстаиванием или центрифугированием.

На отечественных предприятиях нефтеотходы проходят теплообменники, где нагреваются до 60-70 °С, затем они поступают в резервуары для отстаивания. Верхний слой отстоя - нефть, содержащую до 2-5 % воды и до 1 % механических примесей, - откачивают для переработки совместно с сырой нефтью.

Основным методом утилизации нефтешламов является термический (сжигание, пиролиз, газификация).

Для **сжигания** используют камерные, **барботажные**, с кипящим слоем, многоподовые и вращающиеся печи (рис. 12). Последние остаются основным агрегатом для сжигания нефтесодержащих осадков из очистных сооружений. Поскольку при этом более 60 % тепла теряется с уходящими газами, целесообразно его использование для термического обезвреживания негорючих обезвоженных осадков, т. е. совмещение переработки жидких горючих (сжигание) с сушкой негорючих отходов и загрязнений. Многоподовые печи применяют за рубежом, особенно в Западной Европе и США, для сжигания осадков канализационных сооружений.

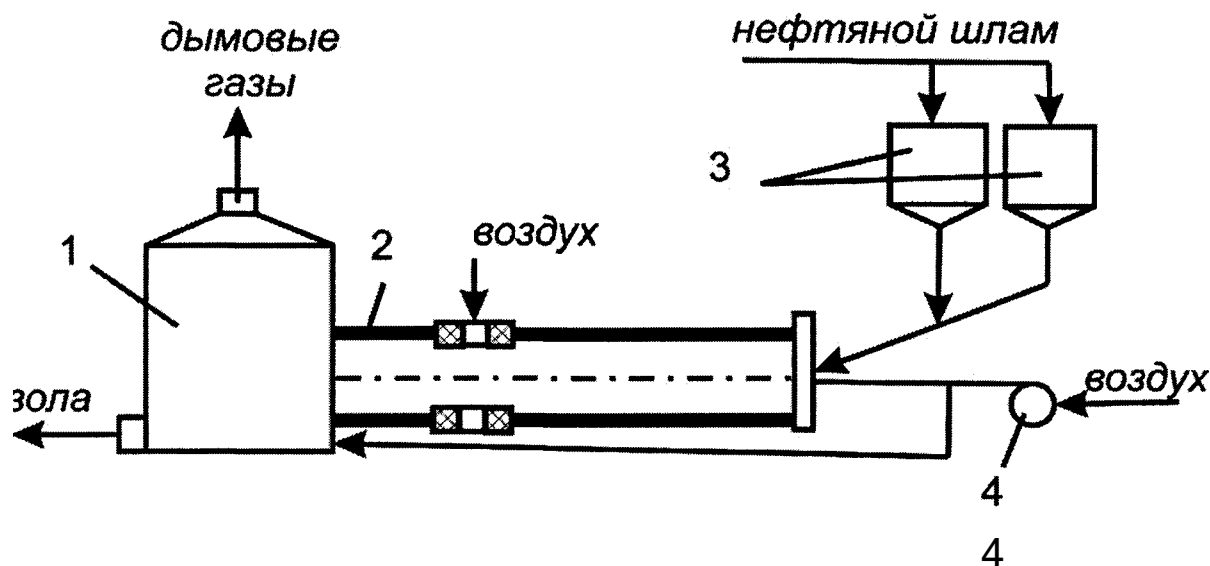


Рис. 12. Схема установки для сжигания нефтяных шламов в печи барабанного типа:

1 - камера дожигания; 2 - барабанная печь; 3 - емкости для шлама; 4 - вентилятор

Продуктом **пиролиза** нефтешламов являются газообразная, жидкая и твердая фазы. Выход газообразных продуктов достигает 10 % от исходной массы. Около 80 % из них имеют теплоту сгорания 5000-6000 ккал/кг и используются как топливо. Жидкая фаза, или нефтяной конденсат, выход которого составляет  $\approx 20$  %, имеет теплотворную способность порядка 9000 ккал/кг. Его можно сдавать на повторную переработку или применять в качестве топлива на самом предприятии. Порядка 50 % от массы исходного шлама приходится на долю порошкообразной фракции, практически не содержащей нефтепродуктов и представленной в основном углеродосодержащим материалом.

**Газификацию** нефтешламов, в том числе в смеси с другими органическими отходами, применяют за рубежом.

В Германии утилизацию вторичных ресурсов путем газификации углеводородов, находящихся в твердом, жидком или пастообразном состоянии, проводят в слоевых и камерных установках. Синтез-газ используют для производства метанола и/или получения энергии. Газификации подвергают также осадки очистных сооружений, отработанные нефтепродукты, древесные отходы, пластиковую тару. Такая установка для производства метанола с 1997 г. работает в окрестностях Берлина. Режим газификации: температура 800-1600 °С, давление до 25 бар. Мощность установки достигает 120 тыс. т/год по перерабатываемому сырью.

Помимо утилизации шламов в собственном **производстве нефтеперерабатывающих заводов** **ИЗВЕСТНО** их **использование** при **производстве** строительных материалов (обожженный кирпич, асфальтобетонные смеси и др.).

### **Контрольные вопросы**

1. Характеристика и методы переработки отходов вскрышных пород угледобычи.
2. Назовите основные методы утилизации отходов углеобогащения.
3. Источники образования и характеристика нефтеотходов.
4. Основные методы переработки и обезвреживания отходов нефтедобычи.
5. Методы переработки нефтешламов.

## Лекция 6. Отходы черной металлургии и обработки металлов, методы их переработки

### 6.1. Железосодержащие пыли и шламы

Предприятия черной металлургии относятся к числу наиболее крупных народнохозяйственных объектов, в значительной степени определяющих уровень экономического развития России. Одновременно они являются одним из основных источников загрязнения окружающей среды. На их долю приходится **15–20 %** промышленных выбросов России в атмосферу (1,6 млн т/год твердых дисперсных материалов; 7,3 млн т/год газообразных веществ, в том числе оксидов азота, серы, углерода) и в водоемы (около 4 млрд т/год).

Используемые в настоящее время способы утилизации железосодержащих отходов в основном рассчитаны на вовлечение больших объемов пылей и шламов как содержащих цветные металлы, так и при их низкой концентрации (пыли образуются при применении сухих, а шламы - мокрых способов очистки газов).

Для отходов с малым содержанием цветных металлов наиболее разработаны способы их *утилизации в аглошихте*. При соответствующей подготовке отходов (оптимальная влажность, предварительное окомкование) их введение в агломерационный процесс приводит к экономии значительного количества первичных шихтовых материалов, равных по массе пылям и шламам мартеновского и электросталеплавильного переделов, колошниковой пыли доменного производства.

При ощутимом содержании вредных примесей (цинка, свинца, калия, натрия и др.) в пылях и шламах требуются дополнительные мероприятия по их переработке перед утилизацией. Выбор необходимого для этого способа зависит от содержания вредных примесей, дисперсного состава отходов и целей, поставленных перед производством.

В настоящее время предложен, опробован и внедрен в промышленных масштабах ряд технологических процессов переработки пылей и шламов в кондиционные материалы черной металлургии с одновременным выделением примесей цветных металлов в продукт, пригодный для дальнейшего использования на предприятиях цветной металлургии (вельцевание, плавка в жидкой ванне, шахтных печах, плазменные технологии, гидрометаллургия и др.).

Для шламов, содержащих цветные металлы, перспективной может оказаться также их попутная (совместная) переработка в крупномасштабных процессах цветной металлургии, при производстве цемента и в экологически безопасные продукты (отвальные шлаки, цементный клинкер, керамика и др.). Подходящим металлургическим процессом является, например, плавка на медеплавильных заводах, не требующая **окускования** сырья.

## 6.2. Вельц-процесс

*Вельцевание* является процессом восстановительной возгонки цинка, свинца и кадмия во вращающейся трубчатой печи. Его уже более 60 лет применяют для обогащения бедных цинковых и свинцовых руд, а также для переработки цинкосодержащих отходов предприятий цветной металлургии. Способ отличается универсальностью, простотой обслуживания. При вельцевании цинкосодержащих отходов их в неокомкованном виде загружают с твердым восстановителем (коквик) в наклонную вращающуюся печь. Шихта проходит через нее в противотоке с дымовыми газами. Пары цинка и оксид углерода выделяются из шихты и дожигаются в свободном пространстве печи.

Перевод цинка в летучее состояние можно интенсивно осуществлять только в интервале температур его кипения (906 °С) и плавления шихты в печи. Возгонка наиболее интенсивно идет при 980-1000 °С. По мере размягчения шихты и предотвращения образования настывлей, вельцевание проводят с избытком твердого восстановителя, значительная часть которого отделяется и возвращается в процесс. Продукты окисления возгонов (оксиды цинка и свинца) удаляются из печи с отходящими газами и осаждаются в фильтрах.

Недостатки вельцевания: большой расход топлива; трудности регулирования температуры и состава шихты с целью предотвращения образования настывлей; перерабатываемые пыли и шламы должны содержать не менее 4 % цинка.

## 6.3. Отходы прокатного производства

Выход отходов прокатного производства в виде окалина и шлама значителен (до 43 кг/т проката), а крупность различна. Окалина, образующаяся при термообработке, представлена в основном фракцией порядка 0,2 мм. При дробеструйной зачистке металла возникает мельчайшая пыль, 10-20 % которой имеет размер свыше 1 мкм.

При гидравлическом удалении загрязнений с поверхности металла часть окалина, представленная наиболее крупной фракцией, оседает в первичных, а более мелкие фракции в виде шламов - во вторичных отстойниках. Химический состав осадков отстойников характеризуется в основном оксидными соединениями железа. Шламы вторичных отстойников обычно загрязнены маслами (содержание 10 % и более) от протечек из систем смазки оборудования прокатных цехов, а они часто содержат вредные для окружающей среды фенол, толуол, бензол и прочее. В шламах первичных отстойников содержание органических примесей незначительно.

Шлам (окалина) первичных отстойников утилизируют полностью, используя его как железосодержащий компонент металлургических шихт. Утилизация замасленных шламов вторичных отстойников вызывает существенные трудности. Для удаления масел из шламов применяют термические методы. Например, термообработку шлама осуществляют в сушильном барабане с удалением масла и последующим его сжиганием. Сухой продукт термообработки используют в аглопроизводстве.

## **6.4. Осадки стоков гальванических производств**

Гальваническое производство в настоящее время - наиболее распространенный метод получения защитных покрытий, создаваемых на поверхности металла для снижения ее коррозии, повышения износостойчивости и декоративных свойств. Покрываемые поверхности после их подготовки, например шлифовки и полировки, удаления с них различных загрязнений, на специальных подвесках погружают в ванны с электролитом, содержащим ионы защищающих металлов, и электролизом наносят необходимый слой. При этом изделия служат катодом, а пластины из осаждаемых металлов - анодом. В зависимости от вида покрытия различают защиту поверхности цинкованием, меднением, никелированием, хромированием, кадмированием и др. Защитный слой наносят как на поверхность готовых изделий, так и полуфабрикатов (листов, труб, проволоки и т. п.). Электролитами являются самые разнообразные растворы: кислые, щелочные и пр.

Далее рассмотрены основные проверенные направления утилизации гальванических осадков.

### **6.4.1. Цементы и безобжиговые строительные материалы**

Цветные и черные металлы в гальваношламах находятся в незначительных количествах. В большей степени шламы представлены оксидами кальция и кремния, и поэтому могут быть интересны для производства вяжущих веществ (строительных материалов). Этому способствует высокая дисперсность осадков, исключающая необходимость их дробления и измельчения. Использование шламов в качестве составных частей вяжущих и безобжиговых строительных материалов является в настоящее время сложившимся набором предложений по их утилизации.

Вопросом первостепенной важности при использовании гальванического шлама в цементах, бетонах и других безобжиговых изделиях является его влияние на окружающую среду, экологическая опасность материалов. Исходя из результатов биотестирования, можно заключить, что утилизация шламов в строительные материалы, в частности в кладочные растворы, несмотря на положительные результаты технологических испытаний, экологически нецелесообразна, так как происходит выщелачивание металлов и возможно загрязнение окружающей среды.

Анализируя большинство способов обезвреживания гальваношламов с точки зрения экологических последствий, следует отдавать предпочтение тем, где обязательным элементом является термическая их обработка.

Шламы гальванических производств рекомендуются к использованию в ландшафтном строительстве. В этом качестве их предлагается смешивать с летучей золой котельных установок ТЭЦ или мусоросжигательных заводов, образуя самотвердеющую композицию. Таким же образом можно готовить гальванические шламы к захоронению.

Достаточно перспективным представляется использование гальванических осадков в асфальтобетонных дорожных смесях.

Результаты многих испытаний смесей (состав, %: щебенка - 25; шлам - 5-10; песок - 55-80; битум - 6-9), проведенных в реальных условиях, показали, что концентрации ионов тяжелых металлов в грунте на придорожных участках лишь незначительно превышают таковые по сравнению с участками вдали от дороги и не приводят к изменению химсостава дренажных вод. Токсичность воды не выявлена ни по одному из биотестов. Сравнение опытного и контрольного участков длиной 500 м автомобильных дорог с неинтенсивным движением по содержанию в воздухе оксидов углерода, серы и азота, формальдегида, пыли, свинца, оксида цинка не выявило различий.

Шламы гальванических производств имеют и другое, помимо цемента, бетона и асфальтобетона, применение в строительстве: получение отвержденных блоков.

Отвержденный цементом шлам, выпускаемый в виде блоков различной конфигурации, находит применение там, где не требуются ответственные конструкции. Это направление нашло широкое применение в Великобритании, Японии, США и других странах. Одним из основных связующих веществ является портландцемент или другие виды цементов, в зависимости от химического состава шлама. Обязательным условием отверждения является отсутствие органических веществ в шламе, т. е. он должен быть прокаленным.

#### 6.4.2. Обожженные строительные материалы

Использование гальванических осадков в обожженных строительных материалах является более перспективным в сравнении с необожженными с экологической точки зрения. Известен ряд работ, охватывающих несколько возможных вариантов утилизации осадков в этом направлении: производство кирпича и других стеновых керамических изделий, черепицы, керамзита, пигментов, красителей строительных материалов и т. д.

В отечественной практике используют шламы гальваносток в количестве 3-10 % в керамической массе при производстве красного глинистого кирпича. Эта добавка не влияет на технологические и эксплуатационные свойства керамических изделий.

Надежность захоронения тяжелых металлов в керамику оценивалась по химическому анализу вытяжек из керамического материала водой, а также растворами уксусной и серной кислот ( $\text{pH} = 5,5$ ). В вытяжках концентрации ионов кадмия, никеля, меди, цинка, хрома трехвалентного (шестивалентный не обнаружен) были ниже предельно допустимых.

Эти и другие исследования показали, что при вводе в керамическую массу тяжелых металлов происходит не только их надежное обезвреживание и захоронение, но улучшаются и некоторые свойства черепицы. Осадки, содержащие тяжелые металлы, способствуют уменьшению пластичности формируемой смеси, и позволяют вести ее сушку более интенсивно. Пористость и водопоглощение обожженных изделий незначительно увеличиваются, а механическая прочность на 5-10 % выше контрольной. Уменьшается брак черепицы по внешнему виду.

Керамзит, изготовленный с 20-40 % осадка сточных вод гальванических производств, может применяться в качестве теплоизолирующего и конструкционного материала.

Для производства стекломозаики, стекломрамора, стеклоблоков в качестве красителя могут использоваться хромсодержащие отходы, в том числе и гальванических производств, которые включают в свой состав соли и гидроксиды. При этом получены прозрачные опаловые или глушеные ударопрочные стекла, термо- и морозостойкие.

#### 6.4.3. Металлургическая переработка гальваношламов

Значительное число исследований посвящено разработке процессов плавки гальваношламов (преимущественно в электропечах) с целью извлечения из них цветных металлов. Некоторые из них доведены до опытно-промышленных и промышленных стадий реализации. Как правило, предлагаемые технологии предусматривают:

1) подготовку шламов (введение флюсов, усреднение шихты, окомкование и т. п.);

2) плавление шихты с выделением в донную фазу металлического продукта (сплава), включающего железо и цветные металлы (его состав определяется исходным сырьем);

3) перевод в газовую фазу легко возгоняемых элементов (Zn, Cd, Pb), их улавливание с последующим извлечением в целевой продукт;

4) использование шлаков в стандартных технологиях их утилизации.

Техническая возможность этого направления неоспорима, однако в данном случае экономически нецелесообразна. В частности, расчеты по результатам промышленных испытаний показали, что затраты на переработку гальванических шламов превышают стоимость полученных продуктов в несколько раз.

### Контрольные вопросы

1. Характеристика и общие методы утилизации железосодержащих отходов в виде пыли и шламов.

2. Характеристика метода вельцевания при переработке отходов черной металлургии.

3. Характеристика отходов прокатного производства и методы их переработки.

4. Источники образования и характеристика методов утилизации гальваношламов.

5. Переработка гальваношламов в цементы и безобжиговые строительные материалы.

6. Дайте характеристику метода термической переработки гальваношламов в обожженные строительные материалы.

7. Метод металлургической переработки гальваношламов.

## Лекция 7. Переработка отходов высокомолекулярных соединений

### 7.1. Отходы лакокрасочных материалов

Основу этих материалов составляют лаки - растворы смол или синтетических веществ в органических растворителях, применяемые для получения блестящих прозрачных (декоративных или защитных) покрытий, приготовления эмалевых красок, грунтовок.

Наиболее распространенным способом нанесения покрытий остается ручной, реализуемый в окрасочных камерах. Обезжиренные изделия, подвешенные к конвейеру, медленно движутся через одну или несколько камер, где на их поверхность напыляют краску или эмаль. При этом из камер непрерывно отсасывается воздух, содержащий пары растворителей. Во избежание уноса частиц краски предусматриваются гидрофилтры или завесы из струй воды, орошающие стенки камер и предохраняющие их от застывания краской. От 20 до 50 % краски вместе с водой стекает в ванну камеры, откуда периодически вручную собирается в контейнер.

Наиболее перспективным направлением утилизации отходов этих материалов является их **регенерация**. Отходы в контейнерах доставляют к участку переработки и, при необходимости хранения, заливают водой. Они, как правило, находятся в пастообразном или даже твердом состоянии и нуждаются в растворении или разбавлении. Поэтому их в соответствии с технологической схемой (рис. 13) совместно с растворителем загружают в смеситель, где перемешивают в течение 4-5 ч. Затвердевшая краска набухает и частично растворяется. Полученная смесь пропускается через сетчатый фильтр с размером ячеек  $10 \times 10$  мм и, очищенная от крупных включений, поступает в диссольвер (высокоскоростной смеситель), где в течение 2-3 ч происходит ее диспергирование. Образовавшуюся суспензию фильтруют через сетку с отверстиями 1 мм. Из диссольвера масса перекачивается в шаровую мельницу, где в течение 4-8 ч проходит дальнейшее диспергирование краски. Если после этого ее частицы имеют необходимую дисперсность (не более 90 мкм), то краска из мельницы поступает в лопастной смеситель, где разбавляется до нужной вязкости растворителем, и затем сливается в приемную емкость для последующей расфасовки и упаковки. Если частицы смеси, вышедшей из шаровой мельницы, имеют размер выше допустимого, диспергирование продолжается в бисерной мельнице, где происходит перетирание суспензии в течение 3-4 ч до получения заданной крупности. Затем производится разбавление, розлив и упаковка краски.

Регенерированные лакокрасочные материалы используются для окраски менее ответственных с точки зрения внешнего вида деталей, а также для нанесения промежуточных слоев многослойной краски. Регенерированные грунтовка и шпатлевка применяются по своему прямому назначению.

Не подлежат регенерации краски с примесью масел (получающийся продукт не обладает необходимыми для красок свойствами), равно как и смесь красок различных марок и химического состава. Такие отходы подлежат сжиганию или захоронению.

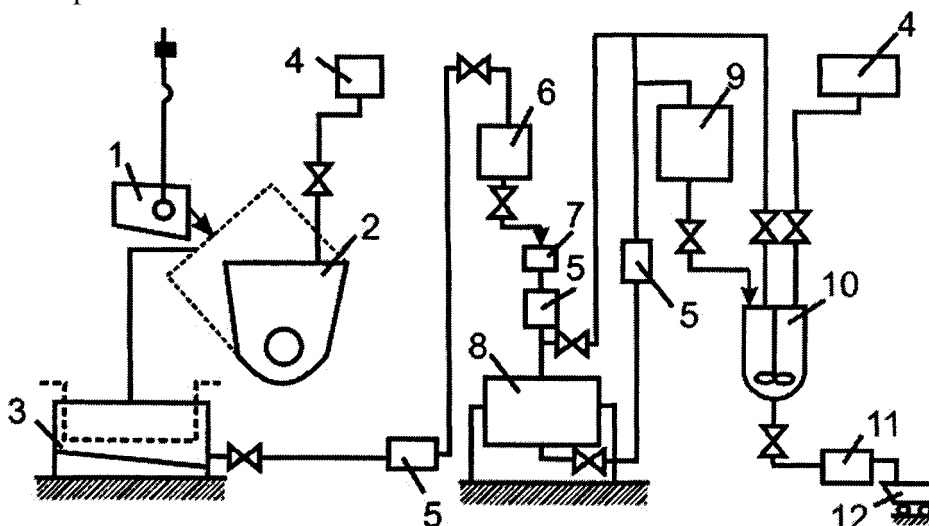


Рис. 13. Схема технологического процесса переработки отходов лакокрасочных материалов:

- 1 - контейнер; 2 - смеситель; 3 - фильтр грубой очистки; 4 - дозатор; 5 - насосы; 6 - диссольвер;  
7 - сетчатый фильтр; 8 - шаровая мельница; 9 - бисерная мельница; 10 - мешалка лопастная;  
11 - фильтр тонкой очистки; 12 - емкость

**Сжигание** необходимо производить в установках с обезвреживанием дымовых газов и не допустимо на открытом воздухе. Наиболее подходящим являются мобильные установки «Вихрь» небольшой мощности (см. ч. II).

Более эффективной представляется технология **пиролиза** лакокрасочных отходов. По этой технологии шлам, содержащий краску, например автомобильную, сушат при температуре не более 200 °С с целью удаления воды и органических растворителей, сухой шлам подвергают пиролизу в инертной (N<sub>2</sub>, Ar) атмосфере при 600 °С с образованием газообразных и жидких продуктов, а также сухого остатка.

## 7.2. Отходы пластмасс

Наиболее перспективными способами утилизации пластмассовых отходов в настоящее время **считаются**:

- рециклинг в рамках отрасли производства синтетических материалов;
- переработка в установках термического фракционирования;
- использование в металлургическом производстве в качестве источника энергии и восстановителей, прежде всего в доменных печах.

**Пластмассы** - это твердые природные или синтетические высокомолекулярные соединения или их смеси с различными наполнителями, способные при повышенных температуре и давлении размягчаться и формироваться, а после затвердевания устойчиво сохранять приданную им форму.



Стабильность качества материалов из отходов позволяет также систематически использовать их для получения определенных пластмассовых изделий. Так, из отходов полиэтилена высокого давления изготавливают мешки для мусора, трубы для защиты кабеля, хозяйственные ведра, прокладки и угольники, уплотнительные профили, пленки, применяемые в сельском хозяйстве и строительстве. Отходы литьевого полиэтилена низкого давления перерабатывают в элементы строительных опалубочных конструкций, прокладки, ведра, каркасы светильников.

Одной из острых проблем в нашей стране является проблема вторичного использования бывшей в употреблении полиэтиленовой пленки. Эти отходы ежегодно оцениваются десятками тысяч тонн. Сейчас уже разработаны технологические приемы переработки пленки в трубы для сельского хозяйства и изделия менее ответственного назначения, а также во вторичную полиэтиленовую пленку (рис. 15). Стоимость получаемой таким способом вторичной пленки ниже стоимости пленки, получаемой из первичного сырья.

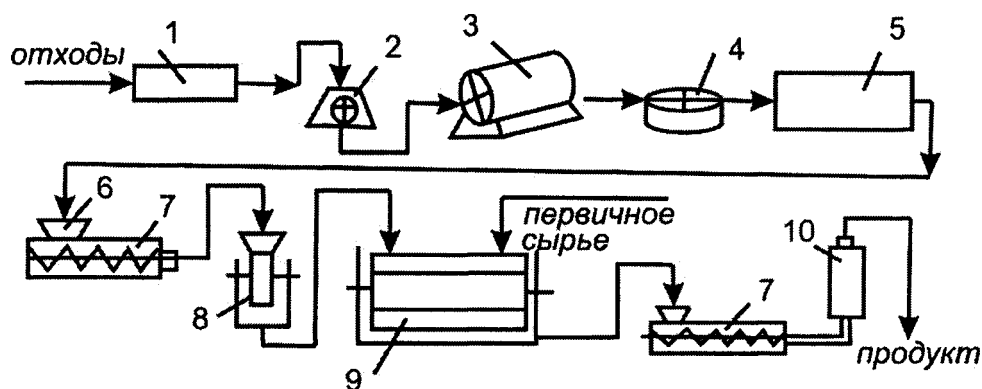


Рис. 15. Схема производства вторичной полиэтиленовой пленки:

1 - узел сортировки отходов; 2 - дробилка; 3 - моечная машина; 4 - центрифуга; 5 - сушилка; 6 - питатель; 7 - экструзионные прессы; 8 - гранулятор; 9 - смеситель; 10 - пленочный агрегат

Помимо полиэтиленовых, к числу важнейших относятся отходы поливинилхлорида, полистирола, пропилена, полиэтиленталата. Отметим некоторые особенности их **использования**.

В применении отходов полихлорвинила (ПХВ) можно выделить три основных **направления**:

- переработка в линолеум, искусственные кожи и пленочные материалы;
- химическое восстановление с регенерированием, как правило, пластификатов и поливинилхлоридного порошка;
- использование в различных полимерных композициях.

Из отходов полистирола отмечают обычно следующие: технологические, амортизационные и бракованные изделия, отходы пенополистирола и смешанные.

*Термические методы* находят применение в случаях, когда отходы не могут быть переработаны в изделия, различные композиции или утилизированы в других технологических процессах. В настоящее время основными термическими методами являются сжигание, газификация и пиролиз.

*Пластмассовые отходы сжигают* в печах различных конструкций (баранных, **МНОГОПОДОВЫХ**, кипящего слоя и др.), однако не используют стандартные колосниковые печи. Последнее обусловлено тем, что при нагревании, еще до сжигания, термопласты расплавляются. Это может привести к попаданию расплава в подколосниковое пространство и его затвердеванию, что затруднит эксплуатацию агрегата.

При *газификации отходов пластмасс*, как и при сжигании, применяется различное оборудование: вращающиеся печи, реакторы шахтного типа, устройства с кипящим слоем и др. Наряду с традиционными (синтез-газ), некоторые технологии предусматривают получение и других продуктов газификации. Так, по одной из современных схем, используемой в Японии, получают аммиак.

В Европе, Японии и США все большее распространение получает *пиролиз пластмассовых отходов*. В его низкотемпературном варианте (при 400-450 °С) получают топливо, на 95 % состоящее из жидких углеводородов и на 5 % - из горючего газа. Применение таких технологий экономически выгодно.

Жидкая фаза низкотемпературного пиролиза обычно представлена классическими нефтепродуктами (бензин, лигроин, керосин, газойль, тяжелые масла). Их выход достигает 65 % массы исходного сырья. Остаток пиролиза представлен гудроном.

Пиролизу могут быть подвергнуты и хлорсодержащие материалы типа ПВХ, как на заводе фирмы BASF (Германия) производительностью 15 тыс. т/год смеси отходов пластмасс, введенным в эксплуатацию в 1994 г. В этом случае отходы вначале расплавляют и дегалонируют. Выделенный из поливинилхлорида HCl направляют на другой завод BASF, где его перерабатывают. На второй стадии пиролиза получают жидкие продукты (керосин, лигроин, олефины, ароматические соединения) - сырье для иных предприятий BASF.

Иногда часть полимерных отходов применяют как вяжущее для остальной их массы. Ее вводят расплавленной до начала прессования отходов. Образующееся камневидное изделие можно использовать как теплоизоляционный или несущий конструкционный материал.

Некондиционные пластмассовые материалы утилизируют также в композициях с традиционными строительными материалами при производстве звукоизоляционных плит и панелей, герметиков.

При использовании пластмассовых отходов в доменных печах в качестве источника энергии и восстановителей полностью исключаются выбросы суперэкоотоксикантов и обеспечивается полная утилизация отходов крупных промышленных районов. Комплексная система рециклинга, в которой обеспечиваются все операции от сбора пластмассовых отходов, дробления и спекания до *вдувания их в доменную печь, показана на рис. 16. В Японии предполагается* утилизировать таким образом более 1 млн т пластмасс.

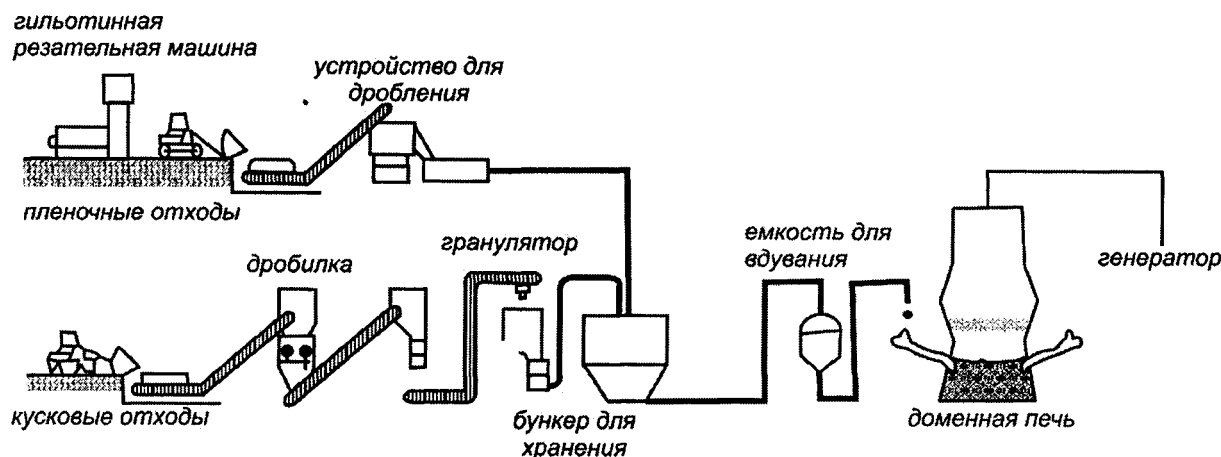


Рис. 16. Система рециклинга пластмассовых отходов, соединенная с доменной печью

### 7.3. Отходы производства резины и резинотехнических изделий

#### 7.3.1. Резиновые и резино-тканевые отходы

*Резина* - один из наиболее распространенных материалов на основе высокомолекулярных соединений, используемых в народном хозяйстве. Ее получают вулканизацией резиновой смеси или каучука горячим или холодным способом.

*Резиновые отходы* образуются в сферах производства и потребления. В первом случае это процессы изготовления резинотехнических изделий (РТИ), товаров народного потребления (обувь, перчатки, плащи), шинная промышленность. Сфера потребления - это изношенные покрышки, другие отслужившие срок изделия.

*Резиновые невулканизированные отходы* (РНВО) включают остатки резиновых смесей, а также смеси, непригодные для использования по прямому назначению. Наиболее ценным их компонентом является каучук, содержание которого достигает 90 % и более. По качеству эти отходы приближаются к исходным резиновым смесям. Они могут возвращаться в производство и перерабатываться непосредственно на предприятиях, где образуются. Их применяют для получения резиновых коврик и плит, кровельных материалов, шлангов для полива, рукавиц и других неотчетственных изделий технического назначения. Содержание отходов в используемых смесях может достигать 95 %.

Технология переработки РНВО включает их подготовку к утилизации, состоящую из сортировки и очистки отходов от включений на стрейнерах или рифайнервальцах, и обработки очищенных отходов на смесительных вальцах. Разогретая смесь срезается с вальцов калиброванными листами и поступает на заготовительный участок для производства готовой продукции.

*Резиновые вулканизационные отходы* (РВО) составляют отходы производства резиновых смесей на стадиях вулканизации и отделки готовой продукции, а также бракованные изделия. Содержание каучука, химически связанного с другими ингредиентами, в этих отходах достигает 50 %.

Переработка вулканизированных резин более сложна, поскольку они обладают значительной эластичностью, т. е. способностью к обратимым высоким деформациям. Это затрудняет их измельчение, которое является первой стадией утилизации практически любых твердых отходов. РВО используют при изготовлении резиновой крошки, применяемой на предприятиях в качестве добавки к первичному сырью.

*Резино-тканевые невулканизированные отходы (РТНВО)* - это остатки прорезиненных тканей, образующихся при изготовлении заготовок резинотехнических изделий, а также бракованные изделия. В них наряду с каучуками большую ценность представляют ткани (капрон, терплен, хлопчатобумажные, шелк и др.), сохраняющие свои свойства. РТНВО по качеству можно сопоставить с первичным сырьем.

Переработке РТНВО предшествует их сортировка и размельчение на дробильных вальцах. Подготовленные отходы используют в качестве добавки к первичному сырью или непосредственно для производства изделий (шифера, амортизационных досок, передников, рукавиц, бирок и т. п.)

*Резино-тканевые вулканизированные отходы (РТВО)* - остатки от штамповки и отделки готовых изделий, а также бракованная продукция. Ценность РТВО меньше, чем РТНВО, поскольку при вулканизации ухудшаются физико-механические свойства тканей. Усложняется и переработка таких отходов. Измельченные РТВО используются в качестве добавок при производстве шифера, а также бытовых товаров (фартуков, надувных лодок и т. п.)

Доля этих материалов в резиносодержащих отходах достигает 90 %.

### 7.3.2. Отходы шинной промышленности

*Шина* достаточно сложна по устройству и изготавливается из различных материалов. Ее каркас обычно состоит из нескольких слоев специальной прорезиненной ткани (корда). Беговая часть покрышки, или протектор, образуется из толстого слоя рифленой резины, борта служат для крепления покрышки на ободе колеса и имеют сцепление из стальной проволоки.

Направлениями комплексной переработки и утилизации изношенных шин являются: изготовление резиновой крошки; производство регенерата; термические способы; наложение нового протектора; использование в качестве восстановителя и науглероживателя в установках по рафинированию меди и алюминия, в чугуноплавильных печах; укрепление откосов морей и рек, создание искусственных рифов в морях, плавающих волнорезов, противоударных барьеров на дорогах и т. д. Из этих направлений наиболее целесообразны первые три, представленные физическими (изготовление резиновой крошки) и химическими (производство регенерата, термическая переработка) способами.

Применение измельченной резины в виде крошки и тонкодисперсной резиновой муки в качестве эластичных заполнителей - один из наиболее перспективных методов утилизации шин. Оно позволяет в максимальной степени сохранить и использовать эластические и прочностные свойства вулканизированной резины.

В настоящее время наиболее распространена технология изготовления крошки измельчением шин в высокоэластичном состоянии при умеренных скоростях. Она включает следующие операции: мойку, вырезку бортовых колец, предварительное, грубое и мелкое дробление, сепарацию и помол.

На стадии предварительного дробления применяются: борторезка, механические ножницы и шинорез, на последующих стадиях - дробильные и размольные вальцы, сепаратор для извлечения металлических частиц и вибросито. За рубежом часто также используют дисковые и роторные измельчители.

В последнее время получает распространение измельчение резиносодержащих отходов, прежде всего шин, в криогенных условиях, т. е. при температурах ниже 120 К. В этом случае резина переходит в стеклообразное (хрупкое) состояние и ее разрушение выполняется с минимальными затратами энергии. При *криогенном измельчении* энергозатраты меньше, исключены пожаро- и взрывоопасность, возможно получение порошка резины с размером частиц до 0,15 мм, уменьшается загрязнение окружающей среды. Вместе с тем велика стоимость хладагента (жидкого азота), достигающая 2/3 эксплуатационных затрат установки.

При криогенном измельчении шины охлаждаются в течение 25 мин в устройствах барабанного типа, расход жидкого азота составляет 0,25-1,2 кг на 1 кг измельченного материала. Охлажденная покрышка дезинтегрируется в различного типа дробилках. Первичное, криогенное, дробление осуществляется молотом. После него дезинтегрированная покрышка транспортером подается на вращающийся барабан, где происходит разделение резины, текстиля и металла. Резиновая крошка поступает на сепарацию, фракционирование и доизмельчение на стандартных дробильных и размольных вальцах. Металлокорд подается в обжиговую печь для выжигания остатков резины на проволоке и далее - на пакетировочный пресс, текстильный корд - на доизмельчение в роторный аппарат и затем на пакетировочный пресс.

Перспективным направлением утилизации являются технологии, не предусматривающие стадий дробления-измельчения отработанных покрышек. Реализация таких способов позволяет экономить до 40 % средств, связанных с выполнением этих стадий.

В зарубежном варианте новой технологии (фирма **SCMR**) первая операция состоит в выдергивании из шин стальной арматуры. Затем их разрезают на крупные куски, прессуют под давлением 22 т и подвергают протяжке. На выходе из последней получают гранулированную резину, железный лом и остатки ткани. Протяжка осуществляется за 1,5 с, 70 % резинового материала поступает на дальнейшую переработку, остаток повторно гранулируют. За 1 час утилизируют до 200 шин легковых автомобилей или 25 шин грузового транспорта.

Области применения измельченной резины в виде муки и **крошки**:

- добавление к свежим резиновым смесям до **30–40 %** от массы каучука с получением резины более высокого качества, чем при таком же содержании в ней активных минеральных наполнителей;

- асфальтобетонные дорожные покрытия с использованием резиновой крошки размером до 25 мм без удаления частиц металлокорда и волокна. Прочность материала при изгибе повышается на 20-25 %, а усталостная долговечность - примерно в 2 раза. Обладая высокими эластическими и фрикционными свойствами, такие покрытия весьма перспективны на горных дорогах, площадях и улицах с интенсивным транспортным движением, взлетно-посадочных полосах аэродромов, мостах, в туннелях, на трамвайных путях, беговых дорожках стадионов и т. д.;

- антикоррозионные битумные покрытия для защиты днища автомобилей, гидроизоляции пластов земли при добыче нефти, поверхностная очистка воды от разлитых нефтепродуктов и др.

Полученные наряду с резиновой крошкой металлическая и текстильная фракции аналогичны образующимся при производстве РТИ и перерабатываются по таким же технологиям с использованием сходного оборудования. Металлический корд служит исходным сырьем для получения рядовых сортов стали, применяется в качестве армирующего наполнителя при изготовлении строительных и дорожных конструкций. Из резинокорда выпускают плиты для покрытия полов животноводческих помещений и теплозвукоизоляции, рулонную кровлю, технические пластины, скребки для транспортных лент, резиновые прокладки под рельсы и т. д.

Получение *регенерата*, т. е. пластичного материала, способного вулканизироваться и частично заменять каучук в составе резиновых смесей, наряду с изготовлением резиновой крошки является одним из перспективных направлений утилизации изношенных шин. Основная масса резиносодержащих отходов до сих пор перерабатывается в регенерат.

При регенерации резины происходят: деструкция углеводородных цепей; изменение углеродных цепей, образованных сажой, содержащейся в резине; уменьшение содержания свободной серы, использованной для вулканизации резины, деструкция серных, полисульфидных связей; структурирование вновь образовавшихся молекулярных цепей.

При получении регенерата, как и первичной резины, применяются различные химические вещества: мягчители, активаторы, модификаторы, эмульгаторы и др.

Различные способы производства регенерата отличаются характером и интенсивностью воздействия на резину, а также природой и количеством участвующих веществ. Однако в любом случае этот процесс делится на три стадии: подготовка резинового сырья, девулканизация резины и механическая обработка девулканизата.

*Стадия подготовки* состоит в том, что от покрышек отрезаются борта, а оставшиеся части делятся на куски размером 100-250 мм. После грубого измельчения они поступают на двух- или трехкратное мелкое измельчение в вальцах. Полученные фракции подаются на участок классификации, где выделяются волокнистый тканевый корд фракции более 3-5 мм и резиновая крошка с размером частиц менее 1 мм. Если в последней имеются кусочки проволоки

(случай покрышки с металлическим кордом), то крошка направляется на магнитную сепарацию для извлечения металла.

*Девулканизация* резины является основной стадией регенерации. Здесь под действием механической, тепловой, а также химической энергии окисления полимерного вещества вулканизатора происходит превращение резины в пластичный продукт.

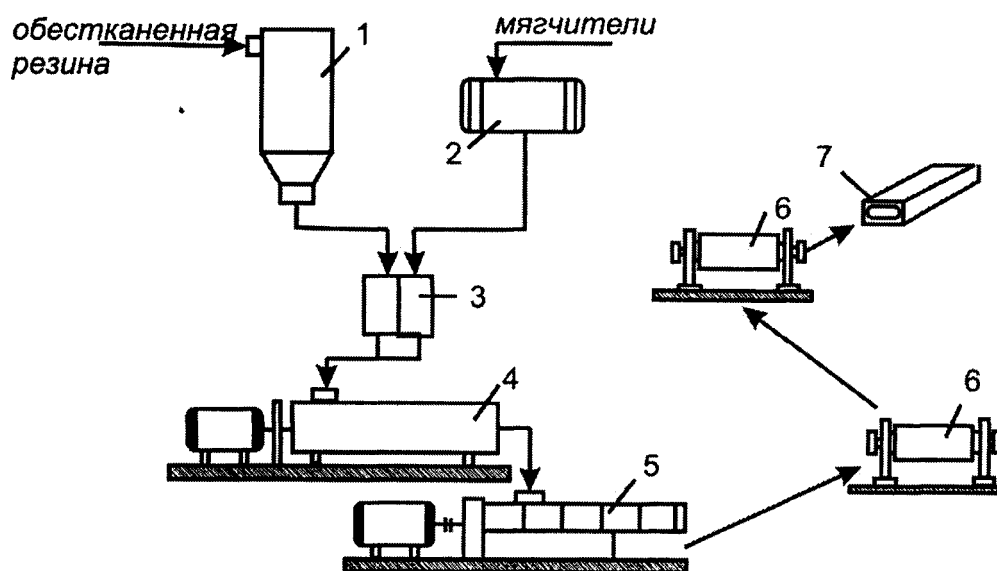
В отечественной промышленности применяются два основных метода девулканизации: **водонейтральный** и термомеханический.

При *водонейтральном методе* девулканизация резиновой крошки размером 2,5-3,5 мм ведется в вертикальных автоклавах при избытке жидкой фазы. В них резиновая пульпа с добавлением 25-30 % мягчителя непрерывно перемешивается мешалкой. Процесс проводится в две стадии: на первой резина набухает в мягчителях 1,0-1,5 ч при 80-150 °С, на второй температура поднимается до  $180\pm 5$  °С, создается давление порядка 1,1 МПа и девулканизация продолжается еще 4-5 ч для резиновых отходов, не содержащих текстиль, и 5-8 ч для отходов с кордным волокном. По окончании процесса девулканизат направляется на обезвоживание.

Водонейтральный метод периодичен, многоступенчат, образует большое количество загрязненных стоков, подлежащих очистке.

*Термомеханический метод* предпочтительнее вследствие своей непрерывности, полной механизации и автоматизации, непродолжительности. При этом не образуются сточные воды, что также снижает стоимость регенерации. Однако в данном способе необходимо четкое соблюдение технологических параметров.

При термомеханическом методе (рис. 17) используется крошка размером не более 0,8 мм при содержании текстильных волокон не менее 5 %. Она непрерывно подается в двухчервячный смеситель, где смешивается с мягчителем и активатором. В тонком зазоре между шнеком и корпусом за счет тепла, выделяющегося при деформации резины, воздействия кислорода и мягчителя она частично девулканизируется. Средняя длительность пребывания резины в смесителе не более 7 мин. Температура выходящего продукта не должна превышать 190 °С, для чего корпус смесителя охлаждается водой. При последующем прохождении через червячный девулканизатор продукт охлаждается до температуры 70-80 °С и в таком виде поступает на два рафинировочных вальца, где ему придается товарный вид: пленка, свернутая в рулон массой до 75 кг с толщиной полотна не более 25 мм. При этом происходит гомогенизация регенерата, окончательное его обезвоживание, очищение от посторонних включений и недостаточно деструктурированных частиц резины.



**Рис. 17. Схема производства регенерата термомеханическим методом:**  
 1 - бункер для резины; 2 - емкость для мягчителя; 3 - дозаторы; 4 - смесители;  
 5 - червячный девулканизатор; 6 - рафинировочные вальцы; 7 - продукт

*Термическая утилизация* покрышек включает все три основных способа: сжигание, газификацию, пиролиз. Они в достаточной степени распространены, чему способствует элементный состав шин. Без учета металлической части они содержат: 88 % углерода, около 8 % водорода и порядка 1,5 % серы. Теплота сгорания шин достигает 30-35 кДж/кг, т. е. не уступает условному топливу.

Процесс сжигания реализуют как в утилизационных, так и в промышленных технологиях, получивших распространение в течение последнего времени, особенно за рубежом.

Дымовые газы утилизационных установок содержат такие загрязнители, как диоксид серы, оксиды азота, диоксины и др. Поэтому установки должны быть оборудованы современными системами газоочистки.

В последнее десятилетие широкое распространение за рубежом получило сжигание изношенных шин в печах для обжига цементного клинкера.

Изношенные шины используются в печах мокрого и сухого способов производства цемента. Утилизируются как целые, так и измельченные покрышки. Последние в отрезках не более 50 мм можно вдувать с разгрузочного конца печи. Для этого применяют специальные пушки с производительностью до 5 т/ч. Сочетание высокой температуры (1450 °С и более), окислительной атмосферы и довольно длительного пребывания газов (4–12 с) в печи гарантирует полное сжигание покрышек, предотвращает выделение через дымовую трубу продуктов неполного сгорания и даже следов токсичных соединений.

Предложена «дуплекс-технология», включающая установку частичного сжигания покрышек и печь для обжига портландцементного клинкера. Изношенные покрышки без предварительного измельчения загружаются в вертикальную печь ( $h = 12$  м) производительностью 3 т/ч. В нее же подается третичный воздух из охладителя клинкера. В камере установки при 1000 °С резина разрушается, образующийся горючий газ с теплотворной способностью

5 МДж/м и температурой 850 °С, а также **тонко** дисперсный углерод выходят из установки при 500 °С и направляются в декарбонизатор печи обжига клинкера, где сгорают в среде третичного воздуха. Проволока попадает в эту же печь, расплавляется в ней и усваивается клинкером.

Помимо очевидной экономии топлива при обжиге клинкера, применение шинных отходов имеет и другие преимущества. Срок окупаемости капитальных вложений, связанных со строительством склада покрышек и трактов их подачи в печь, обычно составляет менее 18 месяцев. Эксплуатационные затраты на производство цемента почти не изменяются. Его качество остается прежним или улучшается за счет снижения содержания свободной извести в нем. Кроме того, требуется введение меньшего количества железосодержащих добавок в цементную сырьевую смесь, так как их роль выполняет металлопродукт **шин**.

В результате *парофазной переработки* автомобильных шин (*газификации*) получают следующие продукты, %: жидкое топливо, соответствующее техническим характеристикам топочного мазута М40 - 40-50; пирокарбон - 35-45; газообразные углеводороды - 5-6; металл - 9-10.

Газообразные углеводороды имеют теплоту сгорания 32-38 МДж/м<sup>3</sup> и могут быть использованы в качестве топлива.

Жидкое топливо практически беззольно, содержит менее 0,85 % серы, характеризуется температурами вспышки в закрытом и открытом тиглях соответственно 51 и 96 °С. Его низшая теплота сгорания равна 41,3 МДж/кг, плотность при 20 °С составляет 920 кг/м .

Твердый остаток содержит органические и минеральные компоненты, концентрация которых зависит от температуры переработки. Он может быть подвергнут термической активации при 800-1000 °С с целью получения дополнительного выхода газообразных и жидких фаз. Активированный твердый материал используется как адсорбент, в том числе при очистке выбросов процесса газификации.

В зависимости от конструкции технологического оборудования *пиролизу* подвергают как измельченные, так и целые автопокрышки.

Газообразные продукты пиролиза содержат 48-52 % водорода, 25-27 % метана, имеют высокую теплоту сгорания. Их используют как топливо. Твердые продукты, так называемый *шинный кокс*, применяют при очистке сточных вод от тяжелых металлов, фенола, нефтепродуктов, в качестве активного наполнителя в производстве резиновых смесей, пластмасс и в лакокрасочной промышленности. Жидкая фракция также является высококачественным топливом, но продукт ее переработки может использоваться и в составе резиновых смесей.

Схема установки для пиролиза покрышек с металлокордом, применяемая на заводе в г. Эбенхаузен (Германия), выглядит следующим образом (рис. 18).

Дисперсные и газообразные продукты пиролиза выносятся из реактора в циклон, в котором выделяются частицы сажи. Газ поступает далее в холодиль-

ник, охлаждаемый проточной водой. Здесь происходит конденсация смолы; газоконденсатная смесь стекает для разделения в **дистилляционную** колонну. Из нее фракции с различной температурой кипения попадают в конденсатосборник. Нижняя часть дистилляционной колонны обогревается горячей водой, поступающей из холодильника в теплообменник. Из дистилляционной колонны одна часть пиролизного газа направляется на сжигание в реактор, а другая подается внешним потребителям для получения, например, горячей воды и пара.

Твердая фаза (смесь кокса и металлокорда) после валковой дробилки разделяется магнитным сепаратором. Металлокорд поставляется другим предприятиям для последующего переплава. Измельченный и прошедший грохочение дисперсный кокс гранулируется с целью получения активного угля.

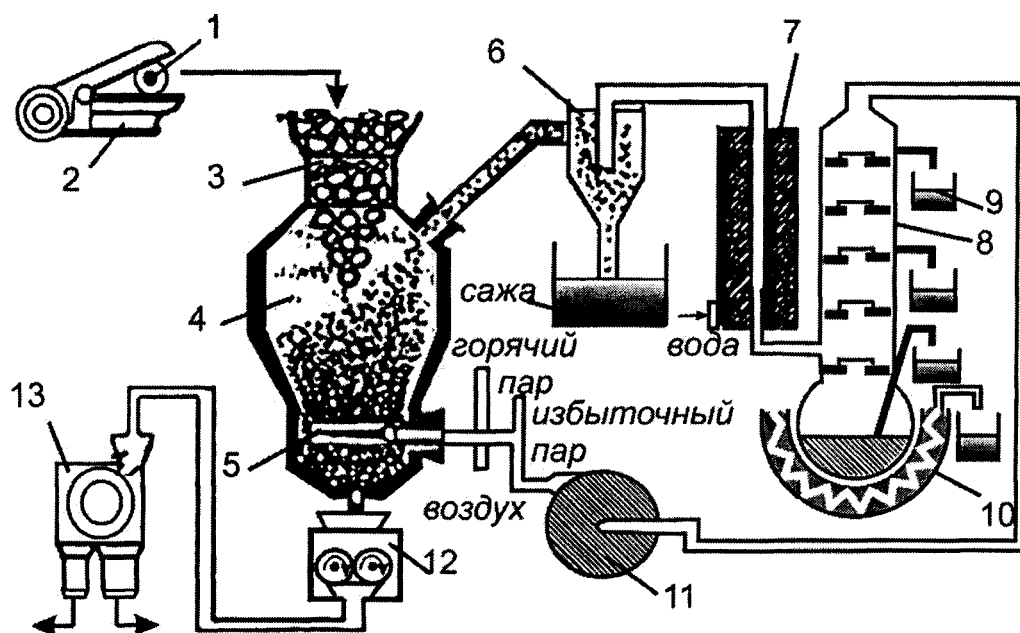


Рис. 18. Схема установки утилизации автопокрышек методом пиролиза:

1 - автопокрышка; 2 - гильотина; 3 - загрузочное устройство; 4 - реактор; 5 - топка; 6 - циклон; 7 - холодильник; 8 - дистилляционная колонна; 9 - конденсатосборник; 10 - теплообменник; 11 - компрессор; 12 - дробилка кокса; 13 - магнитный сепаратор

## 7.4. Отходы химической переработки древесины

Отходы химической переработки древесины образуются в двух основных производствах: гидролизном и целлюлозно-бумажном.

### 7.4.1. Отходы гидролизного производства

На гидролизных заводах при химической каталитической переработке отходов древесины (щепы, опилок) и сельскохозяйственного сырья (кукурузной кочерыжки, лузги подсолнечника и риса, хлопковой шелухи и т. п.) получают белковые дрожжи, этиловый спирт, фурфурол и его производные (сырье для выпуска фунгицидов), ксилит, многоатомные спирты и карбонаты.

Отходы гидролизного производства крупнотоннажны и включают: технологический гидролизный лигнин (ТГЛ), шламы, осадки сточных вод в первичных отстойниках, избыточный активный ил после биологической очистки сточных вод и производственные стоки. Особенно в больших количествах образуется ТГЛ, выход которого составляет 30-40 % массы перерабатываемого сырья, или 3,5 млн. т/год.

Известны два способа производства нитролигнина: мокрый и сухой. В первом случае его получают окислением и нитрированием смесью из 8–10 % азотной и 2-4 % серной кислот. По сухому, более производительному, способу ТГЛ обрабатывают концентрированной азотной кислотой или меланжем (смесь кислот) при перемешивании. Продукт используется в нефтегазовой промышленности в качестве регулятора структурно-механических свойств глинистых растворов при бурении нефтяных скважин.

*Коллаktivит* - активный адсорбент, аналогичный по своим свойствам активному углю марки Б. Его получают, обрабатывая абсолютно сухой лигнин олеумом, а затем 40-45 %-ной серной кислотой. После промывки обессоленной водой до содержания кислоты в смывах 0,2 % коллаktivитная суспензия (20-25 % взвешенных) направляется в шаровую мельницу на измельчение до крупности 100-10 мкм.

Коллаktivит выпускают в виде суспензии или массы с содержанием 15–40 % сухих веществ при его выходе 70 % от массы ТГЛ. Основной потребитель коллаktivита - гидролизная промышленность, где он используется для очистки ксилозных сиропов и в производствах, где требуется осветление продуктов.

На основе модифицированного гидролизного лигнина производятся два типа преобразователей ржавчины. Преобразование последней в стабильные водонерастворимые продукты происходит примерно через 24 ч.

#### 7.4.2. Отходы целлюлозно-бумажных комбинатов

Наиболее распространены сульфитный (кислотный) и сульфатный (щелочной) способы производства целлюлозы. Комбинированные технологии практикуют сравнительно редко. Сульфитную целлюлозу производят главным образом из древесины малосмолистых пород (ель, пихта, бук и др.), а сульфатную - из смолистых (сосна).

В *сульфитном методе* применяют так называемую *варочную кислоту*, которую получают при поглощении сернистого ангидрида в башнях с насадкой из известняка, орошаемых водой. Вследствие этого варочная кислота содержит не только биосульфит кальция, но и сернистую кислоту. Варку выполняют в футерованных кислотоупорным бетоном стальных котлах (автоклавах) с крышкой. На 1 т 92-97 %-ной целлюлозы расходуется примерно 5 М<sup>3</sup> еловой древесины. В отходы поступает прежде всего сульфитный щелок, который содержит около 90 % органических соединений (свыше половины органического вещества древесины) и до 10 % золы.

При **сульфатном** (щелочном) способе варки древесины ее в течение 3,5-8,0 ч обрабатывают смесью каустической соды и сульфида натрия в котлах-автоклавах. Основным отход сульфатной варки - черный щелок, массовая доля сухих веществ в котором составляет **10–15 %**. Образующийся щелок упаривают на многокорпусных выпарных установках до концентрации примерно 60 % и затем сжигают в содорегенерационном котлоагрегате.

Кроме рассмотренных выше отходов варки древесины, целлюлозно-бумажные предприятия (ЦБП) являются источником и других некондиционных материалов, в частности крупноволокнистой древесной массы и древесных спутанных и слипшихся волокон. Их используют при изготовлении древесноволокнистых плит (ДВП).

К отходам относятся также короткие волокна целлюлозы, не задерживаемые на сетках бумагоделательных машин и уходящие со сточными водами (скоп). Выход скопа значителен (~ 90 т/сут). До недавних пор его направляли в шламонакопители. Однако в последние годы внедрены промышленные методы переработки этого материала.

Другие отходы ЦБП (кора, осадки первичных отстойников, осадки обесцвечивания макулатурной массы, избыточный активный ил биоочистных сооружений и т. д.) рекомендуется компостировать, обеззараживать по методу **Biomix** и применять в качестве удобрений и для отсыпки площадок.

Осадки сточных вод можно использовать и как топливо, сжигая их в печи КС. Процесс автогенен, его температура составляет 870-950 °С. Дымовые газы направляют в теплообменники для подогрева воздуха, поступающего на горение. Зольный остаток пригоден для производства портландцемента.

#### 7.4.3. Древесные отходы

Под древесными в данном разделе понимаются отходы, образующиеся в лесном хозяйстве при уходе за деревьями, лесозаготовках и первичной обработке древесины, а также отходы деревоперерабатывающей промышленности, за исключением целлюлозно-бумажной.

При уходе за деревьями производится рубка и осветление в молодняках, прочистка насаждений, прореживание древесной формы ствола, проходные рубки для увеличения лучших деревьев. Образующиеся отходы: пни, корни, ветки, сучья, вершины, хвоя, листья.

При лесозаготовках осуществляются вырубка древесины на делянках, разделках хлыстов на складах, первичная заготовка пиломатериалов и готовой продукции. Отходами являются пни, корни, ветки сучья, хвоя, листья, щепы и опилки при вырубке древесины, горбыли, рейки, срезки торцов, опилки, кора, стружка, щепы при разделке хлыстов на складах, первичной заготовке пиломатериалов и готовой продукции.

Отходами лесопильного производства, в частности при выработке длиномерных обрезных досок, являются, %: горбыли - 6–10, рейки - 10–13, обрезки досок - 2–4, кора - 10-12, опилки - 11–12, вырезки дефектных участков, а

также стружка - **2–3**. Кроме того, при сушке теряется 5-7 и распыляется 1-2 % массы материалов.

В деревопереработке при раскрое необрезных досок на заготовки образуется 7-10 % опилок и 10-15 % обрезков. В строгальных цехах стружка составляет 12-20 % объема поступающих материалов.

В целом объем использования древесины при лесопилении и деревопереработке находится на уровне 40 %.

Отметим основные направления переработки древесных отходов в народном хозяйстве России.

Одно из них — **утилизационные технологии**, рассматриваемые далее.

Древесная зелень (ветки, хвоя, листья) отделяется еще на лесосеке и не поступает на лесопиление и деревопереработку. Ее используют как сырье для производства хвойно-соляного лечебного экстракта, хвойного натурального экстракта, хвойных эфирных масел, хвойной хлорофилло-каротиновой пасты, витаминной муки, натурального клеточного сока, веточного корма, древесного силоса и других лекарственных препаратов и кормов. Часть древесных отходов отправляют на производство топливных брикетов.

Кора является ценным сырьем для производства дубильных веществ, широко применяемых при выделке кож. Высушенная и измельченная до частиц размером 2-3 мм, она подается в специальные аппараты - диффузоры, в которых дубильные вещества экстрагируются водой. Полученный раствор этих веществ фильтруется и в специальных аппаратах упаривается до необходимой концентрации, включая пастообразное и даже твердое состояние.

Кору используют и для изготовления удобрений. Технология их получения включает измельчение коры до размера порядка **10** мм, смешивание с минеральными добавками, вызревание в компостной яме. Для повышения активности удобрений в смесь добавляют аммиачную селитру, фосфатную муку и хлористый кальций в количестве 5, 10 и 2 кг на **1000** кг коры соответственно.

К химическим способам переработки древесных отходов относятся технологии сухой перегонки (пиролиз), углежжения и гидролиза.

**Пиролиз** древесины проводят в замкнутых сосудах (ретортах) различной конструкции при нагревании, по определению, без доступа воздуха. При 120-150 °С удаляется вода, при 250-270 °С частично разлагается целлюлоза, при повышении температуры до 450 °С наблюдается распад других веществ древесины с бурным выделением тепла. При 450-550 °С происходит прокаливание образующегося угля и удаление остатка летучих веществ. При разложении сосновой, еловой, березовой и буковой древесины в продолжении 8 ч и при конечной температуре 400 °С получают около 32-38 % угля, 15-20 % газов и 45- 50 % жижки. Последняя представляет собой раствор продуктов разложения древесины, содержащий, %: 6-12 кислот, 3-5 спиртов и 5-7 смол. Ее используют для получения метилового спирта и уксусной кислоты. Смолы применяют для консервирования древесины, изготовления кровельного толя и других материалов. Газы направляют для обогрева реторт сухой перегонки.

В сухой перегонке древесины обычно реализуют технологии смолоскипидарного и дегтекуренного производств.

Цель другого способа химической переработки древесины, *углежжения*, – получение древесного угля. Наиболее широко распространено углежжение в печах стационарного и передвижного типов. Одной из наиболее известных является печь системы проф. В. Н. Козлова непрерывно действующая, двухканальная, вагонеточная, противоточная. Она состоит из камеры сушки, приемного тамбура (шлюза), камеры обугливания, камеры пиролиза, среднего тамбура, камеры охлаждения угля и выводного тамбура.

Печь имеет рекуперационную установку с двумя топками, в которых сжигаются дрова, древесные отходы и некондиционные газы. Нагретые в ней и далее в калорифере до **400–425 °С** циркуляционные газы направляются навстречу вагонеткам, частично охлаждаются, обогащаются продуктами пиролиза древесины и выходят в конденсационную систему. Тушение и охлаждение угля длится **16–20 ч.** при общей продолжительности цикла 40–50 ч.

Выход древесного угля из березовых дров составляет **37 %** при содержании углерода **70–76 %**. Кроме угля, из 1 м древесины получают **36 кг** черного уксусно-кальциевого порошка и около **23 кг** смолы.

*Гидролиз* представляет собой взаимодействие полисахаридной части (сложных углеводов) с водой или водными 0,5–0,6 %-ми растворами кислот. Исходным сырьем обычно служат отходы лесопиления и деревообработки.

Гидролиз с участием растворов кислот сопровождается образованием моносахаридов (простых углеводов типа глюкозы, фруктозы и т. п.), неспособных к дальнейшей гидролизации. Отходы в виде опилок и стружек загружают в гидролизатор (автоклав). Крупную их фракцию предварительно измельчают в щепу толщиной до 5 и длиной 5–35 мм. В автоклав подают водный раствор серной кислоты и пар. При **140–160 °С** происходит гидролиз гемицеллюлозы, при **180–190 °С** и более – гидролиз целлюлозы. Одновременно с подачей раствора серной кислоты производят отбор гидролизата – водных растворов простых **Сахаров**. В конце варки вместо раствора кислоты подают горячую воду для отделения гидролизного лигнина.

Заметное место в ряду гидролизных технологий утилизации древесных отходов занимает *производство кормовых продуктов* для животноводства. Источником получения этих продуктов, смесей и добавок пищевого назначения часто служит кора некоторых древесных пород, прежде всего осины. Она содержит ряд ценных биологических и питательных веществ: аскорбиновую кислоту, легкорастворимые углеводы, сырой протеин, каротин, сырой жир, водорастворимые и зольные вещества, сырую клетчатку и лигнин.

Одним из способов повышения питательной ценности коры является ее осахаривание гидролизом гемицеллюлозы до моносахаридов в водной среде.

Налажено также производство кормовых дрожжей из технологической щепы и опилок. Питательной средой для их выращивания служат: нейтрализованные гидролизат или барда. Полученную дрожжевую суспензию сгущают, обезвоживают и высушивают.

Находит применение кормовая осахаренная древесноволокнистая масса. Ее получают размолот технологической щепы в дефибраторах на волокно, с добавлением **15–30 %** кормового гидролизного сахара.

В индустриальных технологиях одним из основных методов является *получение строительных материалов: древесно-цементных* масс, древесно-стружечных, древесно-волокнистых и древесно-корьевых плит, древесно-слоистых пластиков, теплоизоляционных изделий.

Технологическую щепу, помимо изготовления строительных материалов и изделий, используют в качестве сырья при производстве сульфитной и сульфатной целлюлозы, полуфабриката тарного картона, гидролизного спирта и т. п.

Применяют также технологии сжигания и газификации древесных отходов в кипящем слое.

Отходы древесины могут утилизироваться и непосредственно, без переработки. Так, сосновая стружка применяется для доочистки промышленных нефтесодержащих сточных вод в кассетных фильтрах отстойников. Их загрузка может быть целиком из стружки или комбинированной: стружка-сипрон, стружка-керамзит и т. п.

#### 7.4.4. Макулатура

*Макулатура* - один из распространенных видов отходов, производственных и бытовых. Она включает различные типы упаковки: бумагу, картон, типографскую продукцию (газеты, журналы, плакаты, книги), чертежи, писчую бумагу и т. п. Макулатура состоит, главным образом, из целлюлозы, вырабатываемой из древесины, и является вторичным сырьем для ряда отраслей промышленности, прежде всего целлюлозно-бумажной.

Основными потребителями макулатуры являются предприятия целлюлозно-бумажной промышленности, перерабатывающие более 50 % ее массы, промышленность стройматериалов и др. Она входит в состав многих сортов картона (многослойный, переплетный, серый упаковочный, гофрированный), обоев и бумаги (газетная, офсетная, копировальная, туалетная, упаковочная и т. д.).

Технология утилизации отходов бумаги включает несколько основных стадий их подготовки к переработке: измельчение до необходимых размеров; прессование измельченной бумажной массы в прямоугольные кипы; увязку кип с созданием поверх них проволочного каркаса.

На первой операции применяют специальные измельчители бумаги, наиболее мощные из которых - машины типа Рино (Нидерланды). Они универсальны и пригодны для любых видов бумажных **ОТХОДОВ**.

Основные технологические операции переработки макулатуры в бумагу и картон включают:

- дезагрегацию исходного сырья на отдельные кусочки и пучки волокон;
- очистку целлюлозно-бумажной массы от посторонних примесей;
- роспуск агрегированных кусочков и пучков на отдельные волокна;
- сортировку и сгущение волокнистой массы;
- облагораживание целлюлозной массы.

*Дезагрегация* макулатуры производится с помощью роторных гидроразбивателей вертикального и горизонтального типов. Ее измельчают до состояния,

обработки и удалять крупные механические включения. Гидроразбавители при диаметре ротора до 3500 мм и частоте его вращения 400  $\text{мин}^{-1}$  имеют производительность до 240 т/сут. Диаметр ванны аппарата достигает 6,5 м.

*Облагораживание* целлюлозной массы при переработке газетной, книжной, журнальной и другой типографской макулатуры предполагает удаление из нее печатных красок и повышение белизны масс после диспергирования.

Процесс удаления краски начинается с отделения ее частиц от волокна при воздействии на них химических веществ (сода, пероксид натрия или водорода). В качестве отбеливающих химикатов используют гипохлорит натрия  $\text{NaClO}$  и гидросульфит натрия  $\text{NaHSO}_3$ , пероксид водорода, кислород. Разрушение связи между краской и волокном ускоряется при повышении температуры во время роспуска массы в гидроразбавителе.

Удаление отделившейся от волокон краски осуществляют обычно двумя способами: промывкой и флотацией. Последняя более распространена, так как характеризуется меньшим (на 20-25 %) расходом электроэнергии и, особенно, **ВОДЫ** (5  $\text{м}^3/\text{т}$  вместо 90). К недостаткам флотации относится необходимость применения загрязняющих окружающую среду флотореагентов.

Распущенная, очищенная и отбеленная волокнистая масса является сырьем для производства разнообразной бумажной продукции и картона.

Еще одна область применения макулатуры - ее использование при *производстве строительных материалов*. В частности, налажено промышленное получение «эковаты», экологически чистого теплоизоляционного материала, состоящего из 80 % бумажной макулатуры и 20 % нелетучих антипиренов, например борной кислоты и буры. Она может выпускаться в насыпном виде (объемная плотность 35-70  $\text{кг}/\text{м}^3$ ), в виде матов, жидких составов с клеем КМЦ.

Технология получения теплоизоляционных плит включает измельчение сырья (макулатура, опилки, стружка, кора деревьев) и перемешивание с вяжущими (магнезиальным, пеногипсом, вспененным стеклом и др.).

### **Контрольные вопросы**

1. Назовите наиболее распространенные способы утилизации лакокрасочных **ОТХОДОВ**.
2. Пластмассы и методы их переработки.
3. Переработка резиновых и резино-тканевых отходов.
4. Основные методы переработки и утилизации изношенных шин.
5. Переработка отходов гидролизного производства.
6. Переработка отходов целлюлозно-бумажных комбинатов.
7. Методы утилизации древесных отходов.
8. Переработка макулатуры.

## Лекция 8. Технология сбора, удаления и складирования твердых бытовых отходов

### 8.1. Характеристика твердых бытовых отходов

По морфологическому признаку (табл. 1) ТБО подразделяются на компоненты: бумагу (картон), пищевые отходы, дерево, металл (черный и цветной), текстиль, кость, стекло, кожа, резина, кадмий, полимерные материалы, прочие (неклассифицируемые части), отсев (менее 15 мм). При проектировании предприятий по переработке ТБО необходимы сведения о морфологическом составе ТБО различных климатических зон.

Таблица 1

Морфологический состав ТБО для средней климатической зоны

| Компонент ТБО       | % массы |
|---------------------|---------|
| Бумага, картон      | 25-30   |
| Пищевые отходы      | 30-38   |
| Дерево              | 1,5-3,0 |
| Металл черный       | 2,0-3,5 |
| Металл цветной      | 0,2-0,3 |
| Текстиль            | 4-7     |
| Кости               | 0,5-2,0 |
| Стекло              | 5-8     |
| Кожа, резина        | 2-4     |
| Кадмий              | 1-3     |
| Пластмасса          | 2-5     |
| Прочее              | 1-2     |
| Отсев (менее 15 мм) | 7-13    |

Сезонные изменения состава ТБО характеризуются увеличением содержания пищевых отходов с 20-25 % весной и до 40-55 % осенью, что связано с большим потреблением овощей и фруктов в рационе (особенно в городах южной зоны). Зимой и осенью сокращается содержание мелкого отсева (уличного смета) с 20 до 7 % в городах южной зоны и с 11 до 5 % – в средней зоне.

*Нормы накопления ТБО* - это количество отходов, образующихся на расчетную единицу: человек - для жилищного фонда; одно место в гостинице; 1 м<sup>2</sup> торговой площади - для магазинов и складов; в единицу времени - день, год. Нормы накопления определяют в единицах массы (кг) или объема (л, м<sup>3</sup>).

На нормы накопления и состав ТБО влияют следующие факторы:

- степень благоустройства жилищного фонда (наличие мусоропроводов, газа, водопровода, канализации, системы отопления);
- этажность, вид топлива при местном отоплении;
- развитие общественного питания, культура торговли, степень благосостояния населения и т. д.;
- климатические условия (различная продолжительность отопительного периода - от 150 дней в южной зоне, до 300 дней в северной);
- специфика питания и др.

Для крупных городов нормы накопления ТБО несколько выше, чем для средних и малых. В табл. 2 приведены ориентировочные нормы накопления ТБО, которые используют для укрупненных расчетов и планирования.

Таблица 2

Ориентировочные нормативы накопления ТБО

| Классификация<br>жилищного фонда                                                                                                    | Нормативы накопления отходов на 1 чел. |                     |                                      |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|---------------------|--------------------------------------|
|                                                                                                                                     | кг/год                                 | м <sup>3</sup> /год | средняя плотность, кг/м <sup>3</sup> |
| Жилые дома:<br>благоустроенные:                                                                                                     |                                        |                     |                                      |
| – при отборе пищевых отходов                                                                                                        | 180–200                                | 0,9–1               | 190–200                              |
| – без отбора пищевых отходов                                                                                                        | 210–225                                | 1–1,1               | 210                                  |
| неблагоустроенные:                                                                                                                  |                                        |                     |                                      |
| – без отбора пищевых отходов                                                                                                        | 360–450                                | 1,2–1,5             | 300                                  |
| – жидкие отходы из непроницаемых<br>выгребов неканализованных домов                                                                 | –                                      | 2–3,25              | 1000                                 |
| Общая норма накопления ТБО по<br>благоустроенным жилым и общественным<br>зданиям для городов с населением<br>более 100 тыс. человек | 260–2800                               | 1,4–1,5             | 190                                  |
| То же, с учетом всех арендаторов                                                                                                    | 280–300                                | 1,4–1,55            | 200                                  |

**Примечание:** под благоустроенными жилыми домами подразумеваются дома с газом, центральным отоплением, водопроводом, канализацией; под неблагоустроенными - дома с местным отоплением на твердом топливе, без канализации; под общественными зданиями - детские сады, ясли, школы, вузы, техникумы, столовые, магазины, зрелищные и спортивные сооружения и др.

Важным показателем физических свойств ТБО является *плотность*. Плотность ТБО благоустроенного жилищного фонда в весенне-летний сезон (в контейнерах) составляет 0,18–0,22 т/м<sup>3</sup>. Для различных городов среднегодовое значение 0,19–0,23 т/м<sup>3</sup>.

ТБО обладают *механической (структурной) связностью* благодаря волокнистым фракциям (текстиль и др.) и сцеплениям, обусловленным наличием влажных липких компонентов. Вследствие связности ТБО обладают склонностью к свободообразованию и не просыпаются в неподвижную решетку с расстоянием между стержнями 20–30 см (критический размер ячейки). ТБО могут налипать на металлическую стенку с углом наклона к горизонту до 65–70 °.

При проектировании установок для прессования ТБО необходимо знать *компрессионную характеристику* материала, т. е. зависимость степени уплотнения ТБО от давления. В табл. 3 приведены ориентировочные значения давлений, которые необходимы при различных способах прессования ТБО.

В зависимости от нагрузки свойства ТБО меняются следующим образом. При повышении давления до 0,3–0,5 МПа происходит ломка различного рода коробок и емкостей. Объем ТБО (в зависимости от его состава и влажности) уменьшается в 5–8 раз, плотность возрастает до 0,8–1 т/м<sup>3</sup>. В пределах этой стадии работают прессовые устройства, применяемые при сборе и удалении ТБО.

Прессование ТБО при сборе, транспортировании и переработке

| Способы прессования                                                                                                                                                                                                                                                 | Давление, МПа         | Степень уплотнения   |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|----------------------|
| <b>При сборе</b><br><b>Прессование «сухих» отходов в учреждениях и торговых предприятиях:</b><br>- в мешки<br>- в кипы с перевязкой проволокой                                                                                                                      | 0,1–0,16<br>0,16–0,2  | 3–5<br>4–6           |
| <b>Прессование ТБО под каналом мусоропровода жилых домов:</b><br>- в мешки<br>- в сменные контейнеры мусоровозов                                                                                                                                                    | 0,1–0,16<br>0,2–0,35  | 2–3<br>6–10          |
| <b>При транспортировании</b><br><b>Прессование:</b><br>- в мусоровозе<br>- при перегрузке из маневренного мусоровоза в большегрузный                                                                                                                                | 0,02–0,1<br>0,03–0,06 | 1,5–3<br>2           |
| <b>При перегрузке и захоронении</b><br><b>Изготовление из ТБО крупных блоков с последующим использованием их как строительных элементов</b><br>либо затоплением в водоемах<br><b>Послойное уплотнение на полигонах (свалках)</b><br><b>Прессование на полигонах</b> | 5–30<br>0,1<br>5–10   | до 10<br>3–4<br>8–10 |

При повышении давления до 10–20 МПа происходит интенсивное выделение влаги (выделяется до 80–90 % всей содержащейся в ТБО воды). Объем ТБО снижается еще в 2–2,5 раза при увеличении плотности в 1,3–1,7 раза. Спрессованный до такого состояния материал на некоторое время стабилизируется, так как содержащейся в материале влаги недостаточно для активной деятельности микроорганизмов. Доступ кислорода в спрессованную массу затруднен.

## 8.2. Критерии выбора метода и места размещения сооружений обезвреживания и утилизации твердых бытовых отходов

Для организации системы управления отходами города, как показывает опыт, необходимо разрабатывать практическую «Схему санитарной очистки города от твердых бытовых отходов». В этом случае решаются следующие основные задачи:

- проводится анализ реального состояния системы санитарной очистки и уборки города;
- определяются перспективные нормы накопления, объемы, способы сбора, вывоза и обезвреживания ТБО, что предотвращает бесконтрольное образование ТБО и способствует внедрению оптимальных технологий их переработки;

- определяется необходимое количество спецмашин, оборудования и механизмов, число работающих для выполнения работ;
- устанавливается целесообразность строительства, реконструкции или расширения объектов санитарной очистки и уборки, рекультивации загрязненных объектов и свалок;
- обосновываются рекомендации по усовершенствованию технологии обращения отходов и экономическая целесообразность их применения.

Направление мотивированных исследований и выбора оптимального метода обезвреживания, переработки ТБО для конкретного региона (или населенного пункта) определяется необходимостью решения проблемы охраны окружающей среды, здоровья населения, а также экономической эффективности и рационального использования земельных ресурсов. Учет климатических, географических, градостроительных условий и численности обслуживаемого населения играет существенную роль при решении проблемы обезвреживания и утилизации ТБО для конкретных условий.

Известно более 20 методов обезвреживания и утилизации ТБО (классификация методов показана на рис. 19). По каждому методу имеется 5–10 (по отдельным - до 50) разновидностей технологий, технологических схем, типов сооружений.

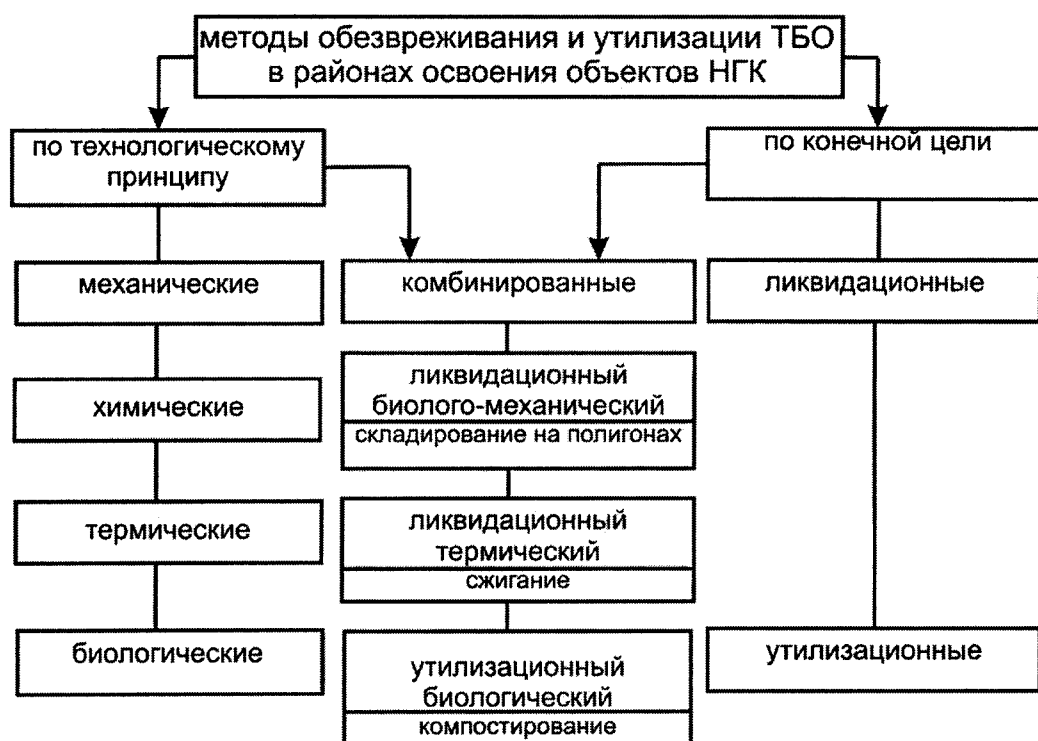


Рис. 19. Классификация методов обезвреживания и утилизации ТБО

Методы обезвреживания и переработки ТБО по конечной цели делятся на следующие:

- ликвидационные (решают в основном санитарно-гигиенические задачи);
- утилизационные (решают, кроме того, задачи экономики - использования вторичных ресурсов).

По технологическому принципу методы бывают биологические, термические, химические, механические, смешанные.

Выбор оптимальной технологии обезвреживания ТБО является наиболее ответственным этапом в разработке схемы санитарной очистки населенного пункта от отходов. Для того чтобы выбрать оптимальную технологию переработки ТБО проводят эколого-экономический анализ возможных технологий; анализируют особенности климата, перспективы застройки, инфраструктуру, изменение численности населения в регионе; оценивают объем и морфологический состав ТБО, их физико-химические характеристики, гидрологические характеристики территорий под объектами переработки ТБО и т. д.

В настоящее время наибольшее развитие получили следующие технологии утилизации ТБО:

- складирование на полигонах;
- сортировка и складирование на полигонах;
- сжигание (без предварительной сортировки) в различного типа топках с очисткой отходящих газов и утилизацией тепла или электроэнергии;
- сортировка и сжигание;
- компостирование (биотермическое обезвреживание с получением компоста и отделением металлической составляющей);
- сортировка и компостирование;
- компостирование и пиролиз (биотермическое обезвреживание с последующей классификацией и отделением металлов, минеральной и органической части и т. д.).

Целесообразность применения любого из этих методов утилизации ТБО зависит от размеров города, состава и свойств ТБО, потребностей в выделенных фракциях ТБО, получаемой тепловой энергии, удобрениях и от многих других параметров. Критерии, определяющие выбор оптимальной технологии, должны учитывать интересы заказчика и базироваться на следующих показателях:

1. Высокая эффективность технологических и конструктивных решений (простота и надежность обслуживания, безопасность, эффективность, КПД оборудования и процессов);
2. Низкие капитальные вложения и малые сроки окупаемости установок, приведенные стоимостные удельные затраты на обезвреживание единицы массы ТБО;
3. Экологическая приемлемость с точки зрения снижения загрязнения атмосферы, гидросферы и литосферы;
4. Санитарная и эпидемиологическая безопасность процессов сбора, транспортирования, сортировки, обезвреживания и утилизации отходов;
5. Степень выполнения природоохранных норм по экологической защищенности объектов окружающей среды, включая газоочистку, удаление получаемых продуктов переработки ТБО и очистку сточных вод.

Эти показатели позволяют определить два важных критерия для выбора оптимальной технологии обезвреживания ТБО конкретного населенного пункта.

Критерий № 1 - определяет совокупность технико-экономических показателей намечаемых к реализации вариантов технологии переработки ТБО. Сюда входят: А - годовые приведенные затраты на обезвреживание и утилизацию отходов; В - затраты на сбор и транспортировку отходов к месту их переработки; С - затраты на захоронение не утилизируемой части отходов; Д - стоимость участка территории под полигон.

Годовые приведенные затраты А на переработку отходов определяют по формуле

$$A = P_3 + E_i \cdot K_{\text{ПВ}}, \quad (4)$$

где  $P_3$  – эксплуатационные расходы с учетом стоимости возвратной продукции;  $E_i$  – нормативный коэффициент эффективности капиталовложений (например, для сооружений ЖКХ  $E_i = 0,12$ );  $K_{\text{ПВ}}$  – капитальные вложения;

$$P_3 = P - B_{\text{ПП}}, \quad (5)$$

где Р - эксплуатационные годовые затраты;  $B_{\text{ПП}}$  – стоимость реализации полезных продуктов, полученных в результате переработки ТБО.

Стоимость транспортировки отходов к месту их переработки

$$B = W \cdot S \cdot P, \quad (6)$$

где W - объем отходов; S - удельная стоимость их перевозки; Р - расстояние транспортировки.

Стоимость обезвреживания и захоронения не утилизируемых фракций отходов

$$C = \sum (W_y \cdot S_i), \quad (7)$$

где  $S_i$  – стоимость обезвреживания и захоронения 1 т отходов, образующихся после применения различных технологий (ТБО, зола, шлак, фильтрат);  $W_y$  – объем отходов для утилизации и обезвреживания.

Стоимость земельного участка под объект утилизации и захоронения отходов (под полигон) определяют по формуле

$$D = \Pi \cdot S_3, \quad (8)$$

где  $\Pi$  - необходимая площадь,  $S_3$  – стоимость 1 га земельного участка.

Критерий № 2 - совокупность экологических показателей, позволяющих определить, что данная технология переработки ТБО экологически чистая, т. е. поступление вредных веществ в окружающую среду минимально. Для определения степени воздействия объекта переработки ТБО (полигона) на окружающую среду используют методики оценки экономического ущерба от загрязнения окружающей среды, основанные на использовании укрупненных оценок результатов воздействия различных загрязняющих веществ на окружающую среду. При этом учитывают загрязнение атмосферы и почвы. Воздействие вредных веществ на водные объекты не учитывают, так как все объекты переработки ТБО должны быть обеспечены системами сбора и очистки водных **СТОКОВ**.

Для выбора оптимальной по всем параметрам технологии переработки и обезвреживания ТБО их экологический показатель определяют суммарным экономическим ущербом от загрязнения различных природных компонентов по следующей формуле:

$$E = \sum Y_i = \sum Y_{\text{атм}} + Y_{\text{отх}}, \quad (9)$$

где  $\sum Y_{\text{атм}}$  – суммарный экономический ущерб от загрязнения атмосферы, состоящий из экономического ущерба от выбросов загрязняющих веществ в атмосферу при перевозке ТБО до места их переработки и обезвреживания;  $Y_{\text{отх}}$  – экономический ущерб от загрязнения и отчуждения земельного участка.

Оптимальную технологию утилизации ТБО из многих рассматриваемых технологий выбирают по формуле

$$A + B + C + D + E = \min. \quad (10)$$

ТБО будут содержать достаточное количество биогенных веществ для того, чтобы из них вырабатывать компост. Прогнозируется рост теплоты сгорания ТБО, что повысит их ценность как топлива. Содержание полимерных материалов не достигнет к 2010 г. уровня, который препятствовал бы компостированию или сжиганию.

В связи с этим для сооружений мощностью менее 30 тыс. т/год ТБО применяют упрощенные схемы. Все рассмотренные направления – складирование на полигонах, сжигание, компостирование, механизированная сортировка – позволяют обезвреживать и утилизировать ТБО, соблюдая нормативы требований охраны окружающей среды.

Размеры удельных капитальных затрат для заводов по однотипной технологической схеме с использованием оборудования, работающего по одному принципу, зависят от мощности (производительности по приему ТБО) сооружений.

Оптимальными условиями строительства завода по механизированной переработке ТБО в компост являются наличие гарантированных потребителей компоста (органического удобрения или топлива) в радиусе до 20 км; размещение завода у границы города на расстоянии до 15 км от центра сбора ТБО; численность обслуживаемого населения более 350 тыс. человек.

Оптимальными условиями строительства завода по сжиганию ТБО с утилизацией тепловой энергии могут быть: обеспечение гарантированными круглосуточными и круглогодичными потребителями тепловой энергии в комплексе с подстраховывающей ТЭЦ или котельной (если потребитель не допускает временных перебоев подачи тепловой энергии); размещение завода в пределах городской застройки (в промзоне) в радиусе до 7 км (при одноэтапном вывозе ТБО без применения перегрузочных станций) от центра сбора ТБО и до 0,5 км от врезки в существующий теплопровод; наличие шлакоотвала или потребителя шлака в качестве вторичного сырья не далее 10 км от завода; численность обслуживаемого населения более 350 тыс. человек.

Оптимальными условиями строительства полигонов складирования ТБО являются: наличие свободного участка с основанием на водоупорных грунтах; расположение **уровня** грунтовых вод ниже 3 м от поверхности площадки (участки с выходами ключей исключаются); обеспечение грунтом или инертными отходами для изоляции ТБО; конфигурация участка, близкая к квадрату; получение разрешения на высоту складирования ТБО свыше 20 м; размещение на расстоянии до 15 км от центра сбора ТБО (при одноэтапном вывозе ТБО без применения перегрузочных станций).

При разработке технико-экономического обоснования выбора метода обезвреживания и утилизации ТБО для каждого варианта подбирают земельный участок, устанавливают расстояние и транспортные затраты по вывозу отходов. При необходимости закладывают двухэтапный вывоз ТБО. Для каждого объекта в качестве обязательного планируют вариант складирования ТБО на полигонах, как наиболее простой.

Если существующий участок полигона не отвечает требованиям охраны окружающей среды, или его размер не обеспечивает прием ТБО на предстоящие 20-25 лет, то в качестве расчетного варианта, рассматривают полигон на новом участке, отвечающем всем санитарно-гигиеническим и технологическим требованиям.

### **8.3. Технология сбора, транспортирования и складирования ТБО на полигонах**

Жилищно-эксплуатационные и другие службы коммунального благоустройства обеспечивают сбор и временное хранение отходов до их отправки на пункты переработки и утилизации. Отходы из малоэтажных домов (до 5 этажа) жильцы сами удаляют в контейнеры или непосредственно в приемные устройства мусоровозных машин (поквартирная система). В домах большой этажности (более 5 этажей) отходы эвакуируются по мусоропроводам в контейнеры или в приемные камеры мусоропроводов, далее в транспортные контейнеры. В современных домах большой этажности иногда используют вакуумные системы мусороудаления от зданий по мусоропроводам с направлением отходов в приемный бункер-циклон. Радиус действия такой системы мусоросбора составляет 1-1,5 км.

Перевозка ТБО осуществляется в основном мусоровозами типа **КО-413** (вместимость до 14 м<sup>3</sup>) и **КО-415** на шасси автомобиля КАМАЗ (до 40 м<sup>3</sup>). Для снижения расходов на транспортирование ТБО в стране часто используется двухэтапная система сбора и вывоза отходов. При этом сбор и вывоз отходов осуществляется через мусороперегрузочную станцию (МПС): сбор на местах и вывоз до МПС с помощью мусоровозов малой вместимости, а после частичной сортировки отходы вывозят на полигон (свалку) большегрузными (40 м<sup>3</sup>) мусоровозами. Система двухэтапного сбора и вывоза отходов обладает технологической гибкостью и простотой, требует малых капитальных затрат на сооружение МПС. Эта система эффективна при дальности перевозки отходов

свыше 20 км. Она позволяет снизить стоимость вывоза 1 м отходов до 25 % по сравнению с одноэтапной перевозкой отходов на полигон.

Простейшими и наиболее распространенными сооружениями по обезвреживанию ТБО являются *полигоны*. На полигоне отходы складировать на грунт с соблюдением санитарно-гигиенических требований, препятствующих распространению болезнетворных микроорганизмов и обеспечивающих защиту от загрязнения атмосферы, почвы, поверхностных и грунтовых вод. Основные технологические операции при эксплуатации полигона показаны на рис. 20. На полигонах производят уплотнение ТБО, позволяющее увеличивать нагрузку отходов на единицу площади сооружений и обеспечивающее экономное использование земельных участков. После закрытия полигонов поверхность земли рекультивируют для последующего использования.

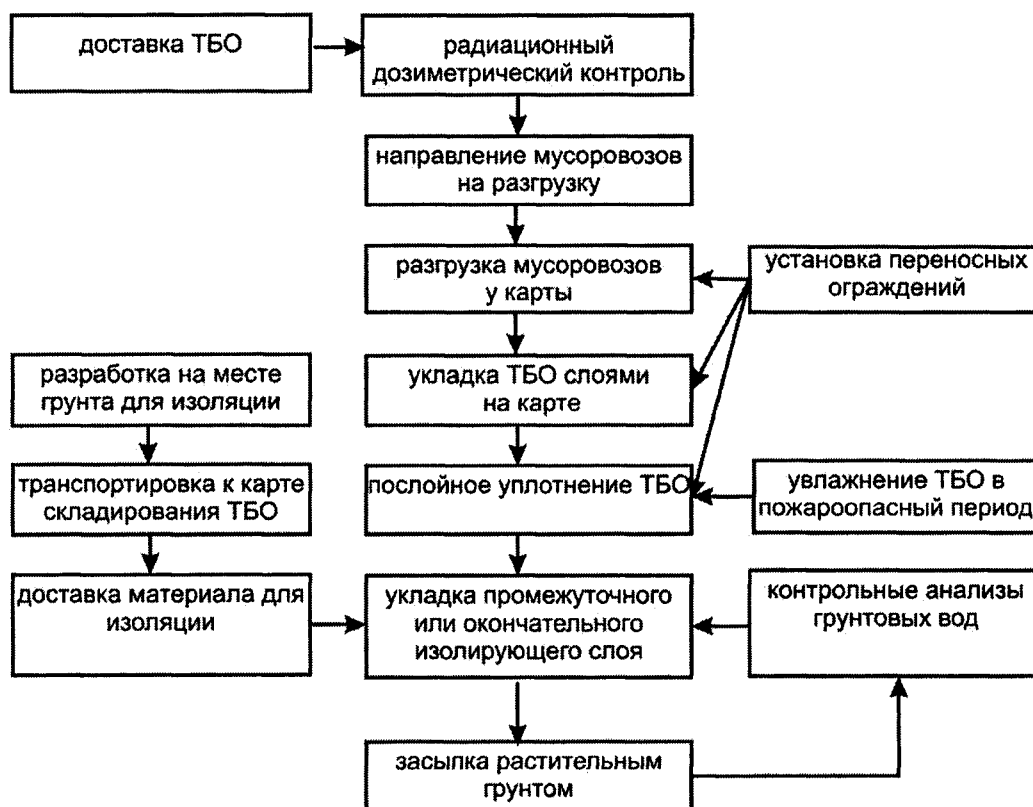


Рис. 20. Основные технологические операции при эксплуатации полигона

Полигоны ТБО должны обеспечивать охрану окружающей среды по шести показателям вредности: органолептическому, общесанитарному, фитоаккумуляционному (транслокационному), миграционно-водному, миграционно-воздушному и санитарно-токсикологическому.

*Органолептический показатель* вредности характеризует изменение запаха, привкуса и пищевой ценности фитотест-растений на прилегающих участках действующего полигона и территорий закрытого полигона, а также запаха атмосферного воздуха, вкуса, цвета и запаха грунтовых и поверхностных вод.

*Общесанитарный показатель* отражает процессы изменения биологической активности и показателей самоочищения почвы прилегающих участков.

**Фитоаккумуляционный** (транслокационный) **показатель** характеризует процесс миграции химических веществ из почвы близлежащих участков и территории рекультивированных полигонов в культурные растения, используемые в качестве продуктов питания и фуража (в товарную массу).

**Миграционно-водный показатель** вредности выявляет процессы миграции химических веществ фильтрата ТБО в поверхностные и подземные воды.

**Миграционно-воздушный показатель** отражает процессы поступления выбросов в атмосферный воздух с пылью, испарениями и газами.

**Санитарно-токсикологический показатель** суммарно характеризует эффект влияния факторов, действующих в комплексе.

По сравнению с обычной свалкой высоконагружаемый полигон бытовых отходов представляет собой современный экологически безопасный объект. Высоконагружаемым полигон считается, когда его проектная высота не менее 20 м, а нагрузка превышает 10 т/м рабочей площади. Размер санитарно-защитной зоны от жилой застройки до границ полигона должен быть не менее 500 м. На участке под полигон грунт должен быть достаточно водоупорным (из глины или тяжелых суглинков). Коэффициент фильтрации не должен превышать  $10^{-5}$  см/с, а грунтовые воды должны находиться на глубине более 2 м. Вся территория полигона ТБО делится на две части: территория под складирование отходов и территория для размещения хозяйственно-бытовых объектов.

По всей площади участка складирования отходов устраивается котлован с целью получения грунта для промежуточной и окончательной изоляции ТБО. Грунт из котлована складывается в отвалах по периметру котлована. Для полигонов, принимающих менее 120 тыс. м<sup>3</sup> отходов в год, рекомендуется траншейная схема складирования ТБО. Траншеи устраиваются перпендикулярно направлению господствующих ветров, что препятствует разносу отходов. Грунт, полученный от рытья траншей, используется для их засыпки после заполнения.

Хозяйственная зона используется для размещения построек для персонала, гаража и навеса для размещения машин и механизмов. Территория хозяйственной зоны бетонируется или асфальтируется, освещается и имеет легкое ограждение.

По периметру всей территории полигона ТБО устраивается легкое ограждение, которое может быть заменено осушительной траншеей глубиной более 2 м или валом высотой не более 2 м.

Технология складирования отходов на полигонах заключается:

- в послойном (через каждые 0,5 м) уплотнении ТБО, размещаемых на ограниченной площади - рабочей карте шириной 5–10 м и длиной 30–150 м;
- в ежесуточной изоляции уплотненной их массы (высотой 2 м) слоем грунта или инертного материала толщиной 0,15 м.

Экономное использование отводимых под полигоны земель обеспечивают за счет послойного уплотнения отходов до плотности 700–900 кг/м специальными дорожными катками или тяжелыми бульдозерами и повышения общей

высоты складирования до 20 м и более. **Высоконагружаемые** полигоны позволяют в 2-3 раза уменьшить потребность в земельных площадях по сравнению со свалками.

В настоящее время все работы на полигоне по складированию, уплотнению, изоляции отходов и последующей рекультивации его полностью механизированы.

#### **8.4. Методы полевого компостирования твердых бытовых отходов**

В городах с населением 50-500 тыс. жителей при наличии свободных территорий вблизи города целесообразно применять *полевое компостирование ТБО* как наиболее простой и дешевый метод обезвреживания и переработки ТБО. Если на заводах механизированной переработки ТБО основной технологический процесс - аэробное компостирование - происходит в сложных металлоемких установках-ферментаторах (биобарабанах, биобашнях), то на площадках полевого компостирования - в открытых штабелях. Правда, при этом увеличивается срок переработки с 2-4 суток до нескольких месяцев, а также площадь сооружений.

Правильно организованное полевое компостирование обеспечивает защиту почвы, атмосферы, грунтовых и поверхностных вод от загрязнений ТБО, позволяет получить в результате переработки ТБО компост. Технология полевого компостирования допускает совместное обезвреживание и переработку осадка сточных вод и ТБО в соотношении **3:7**; используются весь осадок сточных вод и все ТБО, образующиеся в городе. Компост, полученный из такой смеси, содержит больше азота и фосфора.

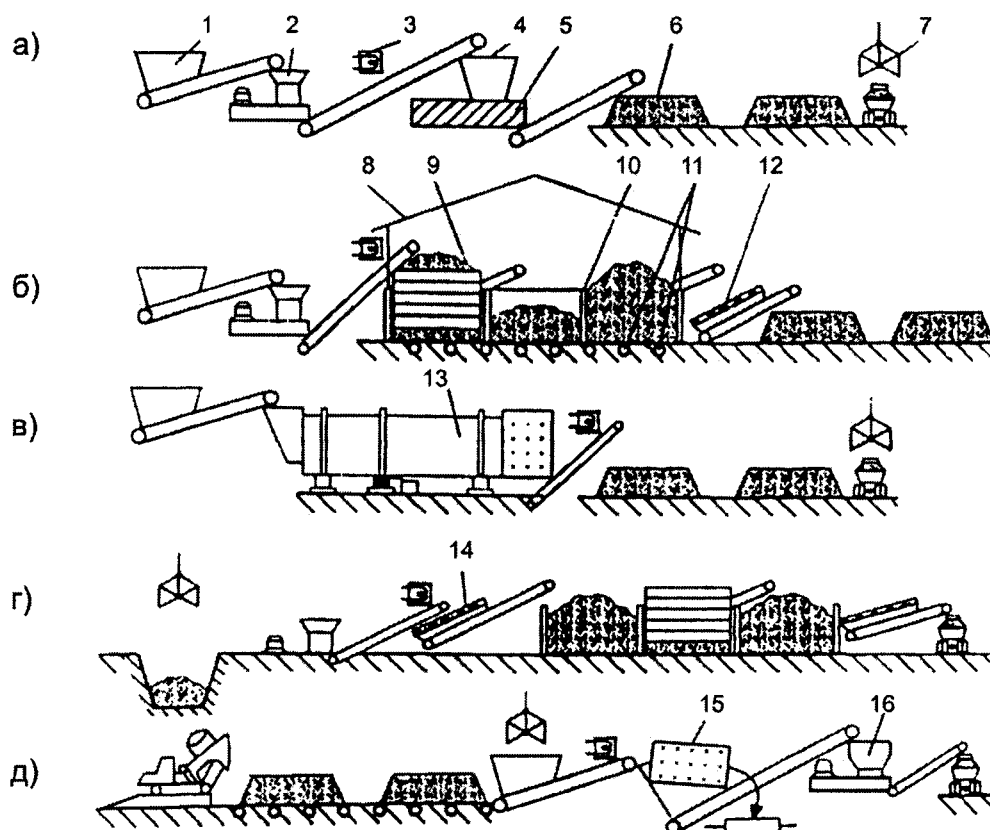
Применяют две *принципиальные схемы полевого компостирования* (рис. 21): с предварительным дроблением ТБО и без предварительного дробления. В первом случае для измельчения ТБО используют специальные дробилки, во втором - измельчение (менее эффективное) происходит за счет многократного перелопачивания компостируемого материала. Установки полевого компостирования, оснащенные дробилками для предварительного измельчения ТБО, обеспечивают больший выход компоста и дают меньше отходов производства.

Высота штабелей зависит от метода аэрации материала и при использовании принудительной аэрации может превышать 2,5 м. Ширина штабеля поверху не менее 2 м. Угол заложения откосов равен 45 ° (соответствует углу естественного откоса для ТБО и компоста). Длина штабеля - 10-50 м, между параллельно и продольно расположенными штабелями оставляют расстояние 3-6 м для проезда.

Для предотвращения развеивания бумаги, разведения мух, устранения запаха поверхность штабеля покрывают изолирующим слоем торфа, зрелого компоста или земли толщиной 20 см. Выделяющееся под влиянием жизнедея-

тельности термофильных микроорганизмов тепло приводит к «саморазогреванию» компостируемого материала. При этом наружные слои материала в штабеле служат **теплоизоляторами** и сами разогреваются меньше, в связи с чем, для надежного обезвреживания всей массы материала штабеля необходимо перелопачивать (наружные слои при перелопачивании оказываются внутри штабеля). Кроме того, перелопачивание способствует лучшей аэрации всей массы компостируемого материала. Продолжительность обезвреживания ТБО на площадках компостирования колеблется в пределах 1-6 месяцев в зависимости от используемого оборудования, принятой технологии и сезона закладки штабелей.

В процессе компостирования интенсивно снижается влажность материала, в связи с чем, для повышения активности биотермического процесса наряду с перелопачиванием и принудительной аэрацией производят увлажнение материала. Зрелый компост перед отправкой потребителю направляют на грохот, где его очищают от крупных балластных фракций. В некоторых схемах ТБО разделяют на фракции до компостирования. Из ТБО и компоста или (там, где нет дробления) только из компоста электромагнитным сепаратором извлекают черный металл.



**Рис. 21. Принципиальная схема сооружений полевого компостирования ТБО:**

а - совместная переработка ТБО и осадка сточных вод; б - двухстадийное компостирование ТБО; в - схема с предварительной обработкой ТБО в биобарабане; г - схема с компостированием в открытых отсеках и предварительным грохочением ТБО; д - компостирование недробленых ТБО; 1 - приемный бункер с пластинчатым питанием; 2 - дробилка для ТБО; 3 - подвесной электромагнитный сепаратор; 4 - подача осадков сточных вод; 5 - смеситель; 6 - штабеля; 7 - грейферный кран; 8 - закрытое помещение для первой стадии компостирования; 9 - подвижная установка для перелопачивания и перегрузки компоста; 10 - продольные подпорные стенки; 11 - аэраторы; 12 - контрольный грохот для компоста; 13 - биобарабан; 14 - первичный грохот для дробленых ТБО; 15 - цилиндрический контрольный грохот; 16 - дробилка для компоста

## 8.5. Технология рекультивации территории закрытых полигонов

После закрытия полигонов их поверхность рекультивируют для обеспечения возможности последующего полезного использования занимаемых полигонами территорий.

Закрытие полигона для приема ТБО осуществляют после отсыпки его на проектную отметку, установленную проектным заданием (на высоконагружаемых полигонах со сроком эксплуатации не менее 5 лет возможно превышение проектной отметки на 10 %). Перед закрытием полигона последний (верхний) слой отходов тщательно уплотняют (до плотности не менее  $750 \text{ кг/м}^3$ ) и засыпают изолирующим слоем грунта с учетом последующей рекультивации. При планировке изолирующего слоя обеспечивают уклон к краям полигона для эвакуации ливневых стоков.

Устройство изолирующего слоя полигона определяется заданием по его рекультивации. Укрепление наружных откосов полигона проводят уже с начала эксплуатации полигона по мере увеличения высоты складирования ТБО. Материалом для засыпки наружных откосов полигона служит предварительно снятый при его сооружении растительный грунт. Для защиты от выветривания и смыва грунта с откосов полигона производят их озеленение непосредственно после укладки изолирующего слоя. С этой целью по склонам высаживают защитные насаждения и устраивают террасы.

Участки закрытых полигонов используют под лесопосадки, сады и огороды, газоны, зоны отдыха, спортивные площадки, строительство неответственных сооружений и с другими подобными целями. Капитальное строительство на участках закрытых полигонов ТБО, а также прокладка на них подземных коммуникаций запрещены из-за разложения органической части отходов и образования биогаза.

*Рекультивация закрытых полигонов* — комплекс работ, направленных на восстановление продуктивности и хозяйственной ценности восстанавливаемых территорий и ориентированных на улучшение окружающей среды.

Рекультивация требует выполнения большого объема подготовительных работ, включающих проведение комплекса экологических исследований (в плане гидрогеологии, геологии, исследования почв и атмосферного воздуха, проверки отходов на радиоактивность и т. п.) и выработку решений по утилизации захороненных отходов, консервации фильтрата, использованию биогаза, устройству экранов и ряду смежных вопросов.

Рекультивацию проводят по окончании *стабилизации закрытых полигонов* - процесса упрочнения свалочного грунта, достижения им постоянного и устойчивого **состояния**.

В конце процесса стабилизации осуществляют завоз автомобильным транспортом грунта и засыпку образовавшихся провалов с последующей планировкой.

Направления рекультивации определяют дальнейшее целевое хозяйственное использование рекультивируемых территорий. Наиболее приемлемы для

закрытых полигонов указанные выше сельскохозяйственные, лесохозяйственные, рекреационные и строительные направления рекультивации.

*Сельскохозяйственные направления* реализуют в случае расположения полигона в зоне землепользования того или иного сельскохозяйственного предприятия. На нарушенных в процессе заполнения полигона землях преследуют цель создания пахотных и сенокосно-пастбищных угодий, площадей для поливного высокопродуктивного овощеводства, коллективного садоводства. Если создание сенокосно-пастбищных угодий допускают через 1–3 года после закрытия полигона, то выращивание овощей и фруктов, а также коллективное садоводство допускают лишь через 10–15 лет.

*Лесохозяйственные направления рекультивации* — создание на нарушенных полигонами ТБО землях предусматривают выращивание лесных культур мелиоративного, противоэрозионного, полезационного и ландшафтно-озеленительного назначения.

*Строительные направления рекультивации* закрытых полигонов сводятся к приведению их территорий в состояние, пригодное для промышленного и гражданского строительства. Эти направления реализуют двумя способами: строительством объектов на территории закрытых полигонов без вывоза их свалочного грунта и с вывозом такового. Вопрос о капитальном строительстве на закрытых полигонах без вывоза свалочного грунта решают после проведения соответствующих исследований. Гражданское строительство зданий с подвальными помещениями (жилые дома, детские и лечебно-профилактические учреждения) на территории закрытых полигонов без вывоза свалочного грунта недопустимо. При вывозе свалочного грунта жилищное строительство может быть разрешено только после проведения соответствующих санитарно-бактериологических исследований.

Рекультивация закрытых полигонов включает два этапа: технический и биологический. *Технический этап рекультивации* состоит в исследованиях состояния свалочного тела и его воздействия на окружающую природную среду, а также в подготовке территории полигона (свалки) к последующему целевому использованию. На этом этапе получают исчерпывающие данные о геологических, гидрогеологических, геофизических, ландшафтно-геохимических, газохимических и других условиях на участке размещения полигона (свалки), обеспечивают создание рекультивационного многофункционального покрытия тела полигона, осуществляют планировку, формирование откосов, разработку, транспортировку и нанесение технологических слоев и потенциально плодородных почв, строительство дорог, гидротехнических и других сооружений. Для выработки решений по исключению влияния газохимического загрязнения атмосферы определяют состав и свойства образующегося биогаза, содержание в теле полигона или свалки органики и влаги, а также ряд других параметров. С учетом полученных данных и анализа климатических и геологических условий расположения полигона составляют прогноз образования биогаза и выбирают метод дегазации и конструкцию рекультивационного покрытия полигона.

*Биологический этап рекультивации* включает мероприятия по восстановлению территории закрытых полигонов для их дальнейшего целевого хозяйственного использования. Он включает комплекс агротехнических и фитомелиоративных мероприятий, направленных на восстановление нарушенных земель. Биологический этап осуществляют вслед за техническим этапом рекультивации.

Рекультивацию территории закрытого полигона проводит организация, эксплуатирующая полигон, с участием предприятия, выполняющего дальнейшее целевое использование земель.

Технологическая схема рекультивации закрытых свалок без переработки свалочного грунта представлена на рис. 22. В соответствии с этой схемой **выполаживание** откосов производят бульдозером, доставку и разгрузку растительного грунта и потенциально плодородных земель осуществляют автотранспортом, а их разравнивание по поверхности полигона выполняют также бульдозером, создавая таким образом рекультивационный слой, чем и заканчивают технический этап рекультивации. В дальнейшем реализуют биологический этап рекультивации и осуществляют одно из выбранных ее направлений.

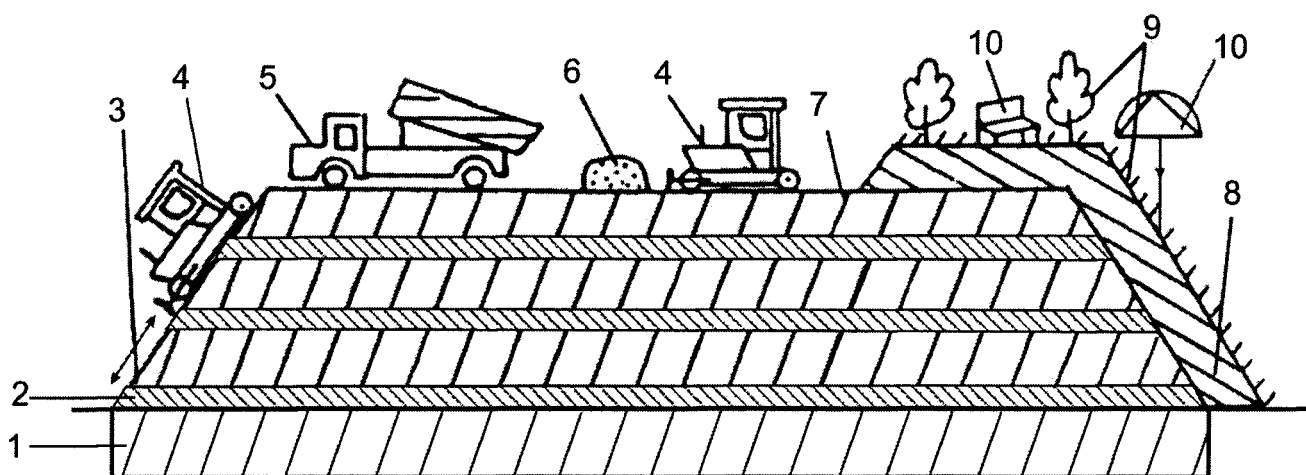


Рис. 22. Технологическая схема рекультивации закрытых свалок без переработки свалочного грунта:

- 1 - котлован; 2 - изоляционный слой; 3 - слой захораниваемого материала; 4 - бульдозер; 5 - автотранспорт; 6 - насыпная почва; 7 - закрытая свалка; 8 - рекультивационный слой; 9 - биологический этап рекультивации; 10 - рекреационное, сельскохозяйственное, лесохозяйственное направление рекультивации

Мероприятия технического этапа рекультивации, помимо охарактеризованных выше, включают сооружение дренажной (газотранспортной) системы дегазации тела полигона (свалки).

Верхний рекультивационный слой закрытых полигонов составляют из слоя подстилающего грунта и насыпного слоя плодородной почвы. Плодородные земли на закрытые полигоны завозят автотранспортом из пунктов временного складирования почвенного грунта или из других мест. В качестве искусственного подстилающего слоя (слабопроницаемое покрытие) применяют слои высотой не менее 200 мм плотных суглинков и глин с коэффициентом филь-

рации не более 10 см/с, слой толщиной не менее 150 мм связанного битумом III–IV категории песка и другие нетоксичные материалы, имеющие коэффициент фильтрации  $10^{-3}$  см/с.

По окончании технического этапа рекультивации закрытых полигонов начинают работы следующего - биологического этапа: производят подготовку почвы, включающую ее разрыхление дискованием на глубину до 10 см, внесение азотного удобрения с последующим боронованием в 2 следа и предпосевное прикатывание. Затем производят отдельно-рядовой посев подготовленной травосмеси, составляемой из двух, трех и более компонентов. Семена трав для травосмеси подбирают так, чтобы обеспечить хорошее задержание территории рекультивируемого полигона, морозо- и засухоустойчивость посадок, а также их долговечность и быстрое отрастание после скашивания.

На протяжении 2–4 лет выращивания многолетних трав производят подкормку азотными удобрениями в весенний период, боронование на глубину 3–5 см, скашивание на высоте 5–6 см, подкормку полным минеральным удобрением из расчета 140–200 кг/га с последующим боронованием на глубину 3–5 см и поливом из расчета 200 м<sup>3</sup>/га при одноразовом поливе. Через четыре года после посева трав территорию рекультивированного полигона передают соответствующему ведомству для последующего целевого использования.

### **Контрольные вопросы**

1. Дайте общую характеристику ТБО. Нормы накопления ТБО.
2. Критерии выбора метода и размещения сооружений обезвреживания и утилизации ТБО.
3. Дайте общую характеристику методов обезвреживания и утилизации ТБО.
4. Охарактеризуйте основные показатели вредности ТБО.
5. Метод полевого компостирования ТБО.
6. Устройство полигона, его закрытие и технология рекультивации полигона ТБО.

## Лекция 9. Термические методы переработки твердых бытовых отходов

### 9.1. Процесс камерного сжигания твердых бытовых отходов

Слоевое или камерное сжигание специально подготовленных отходов осуществляют совместно с природным топливом в топках энергетических **КОТ-лов**. Начиная с середины 70-х годов, за рубежом находит применение метод совместного сжигания ТБО и энергетического топлива. Применение такой технологии обеспечивает эффективное обезвреживание отходов, позволяет экономить до 20 % энергетического топлива и создать условия для стабильной выработки тепла. Кроме того, исключается необходимость создания новых специальных дорогостоящих агрегатов для сжигания отходов. Достаточно произвести реконструкцию уже работающих парогенераторов или внести изменения в конструкцию серийных агрегатов. Предполагают, что слоевое или камерное сжигание специально подготовленных отходов в топках энергетических котлоагрегатов или в цементных печах в ближайшее десятилетие получит широкое применение (рис. 23-25). В США и Великобритании с 70-х годов проводят работы по выработке из отходов топлива «Retuse Derived Fuel» (RDF), которое можно длительное время хранить и транспортировать на относительно большие расстояния.

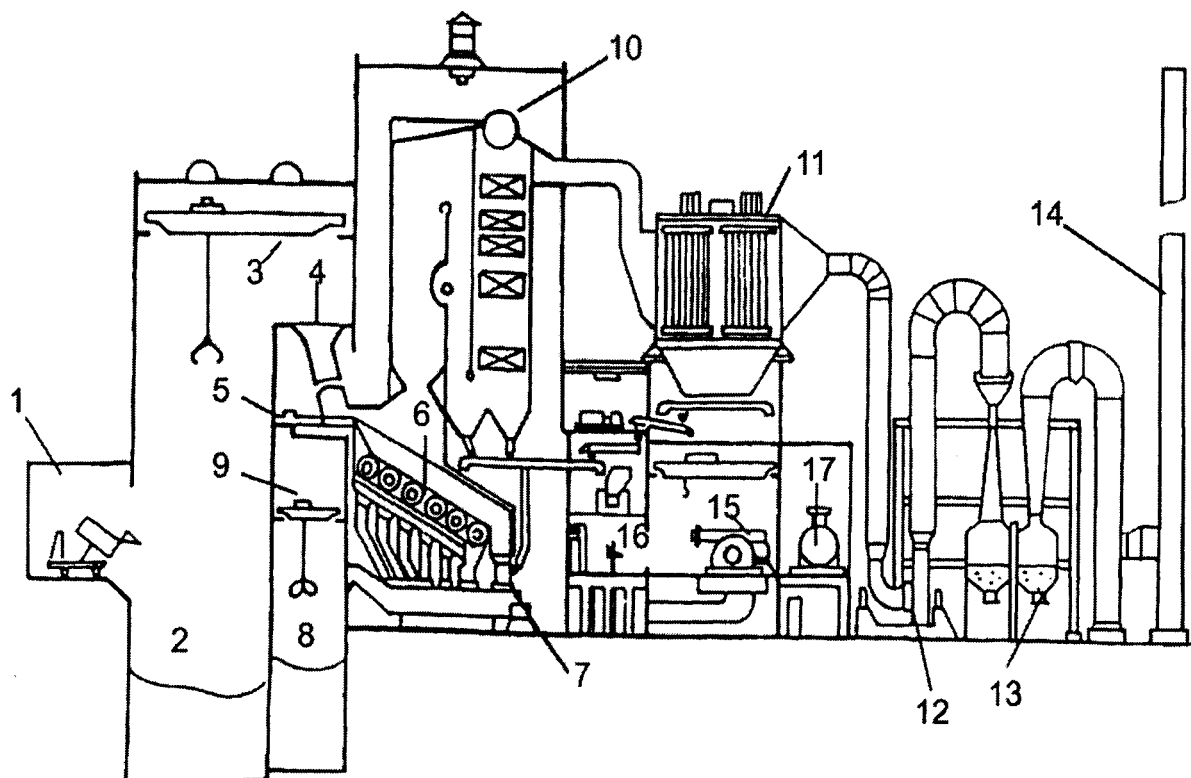
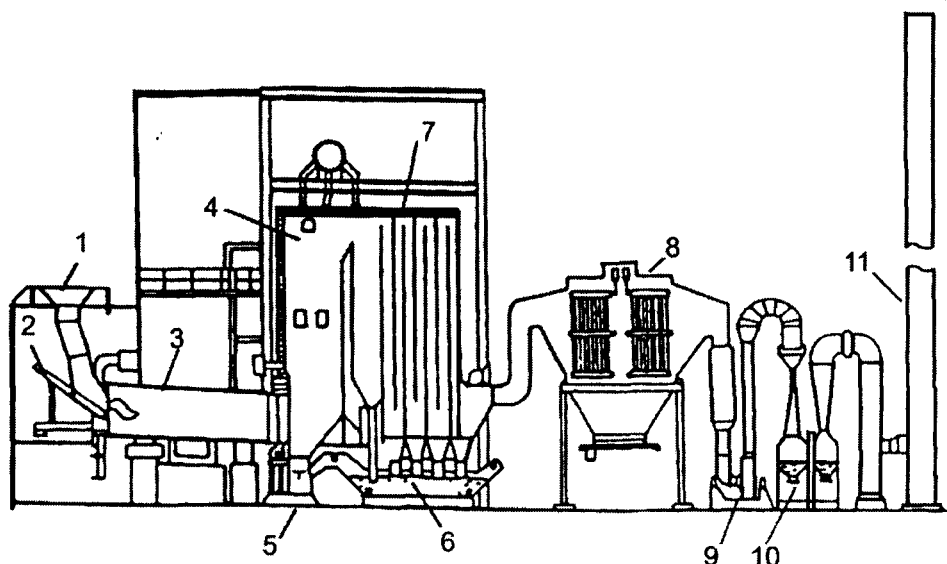


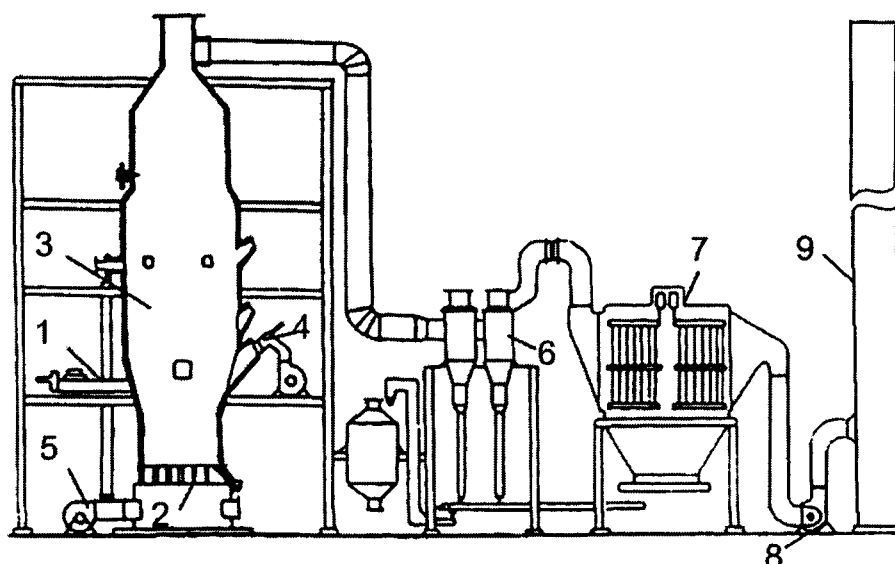
Рис. 23. Слоевое сжигание ТБО в топке с валковой решеткой:

- 1 - приемное отделение; 2 - бункер исходных ТБО; 3, 9 - грейферный кран; 4 - загрузочная воронка;  
5 - толкатель; 6 - валковая решетка; 7 - система шлакоудаления; 8 - бункер шлака; 10 - котел-утилизатор;  
11 - электрофильтр; 12 - вытяжной вентилятор; 13 - система газоочистки; 14 - труба; 15 - турбогенератор;  
16 - пульт управления; 17 - резервный котел



**Рис. 24. Слоеовое сжигание отходов во вращающейся барабанной печи:**

1 - загрузочная воронка; 2 - толкатель; 3 - вращающаяся барабанная печь; 4 - дожигательная камера; 5 - система шлако- и золоудаления; 6 - конвейер летучей золы; 7 - котел-утилизатор; 8 - электрофильтр; 9 - дымосос; 10 - система газоочистки; 11 - труба



**Рис. 25. Сжигание отходов в стационарном кипящем слое:**

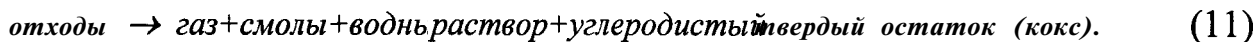
1 - питатели отходов; 2 - решетка с отверстиями; 3 - камера сжигания; 4 - горелка; 5 - дутьевой вентилятор; 6 - циклон; 7 - электрофильтр; 8 - дымосос; 9 - труба

## 9.2. Пиролиз твердых бытовых отходов

Первые лабораторные установки термического обезвреживания отходов возникли в процессе изучения закономерностей их пирогенетического разложения (пиролиза), поэтому впоследствии понятием «пиролиз» были объединены все системы, обеспечивающие комплексную энерготехнологическую переработку отходов. В теплоэнергетике термохимические методы использования топлива разделяют в зависимости от условий процесса на пиролиз, газификацию и двухступенчатое сжигание.

В наиболее общем случае при пиролизе отходов протекают связанные между собой процессы сушки, сухой перегонки (пиролиза), газификации и горения коксового остатка, а также взаимодействия образующихся газообразных продуктов.

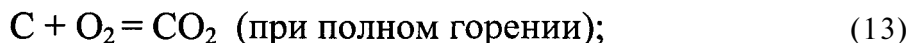
*Сухой перегонкой (пиролизом)* отходов принято называть процессы термического разложения топлива без доступа окислителя. Для процессов пирогенетического разложения отходов характерно стехиометрическое уравнение, подобное уравнениям химических **реакций**:



Соотношение количеств получаемых продуктов (газообразных, жидких и твердых) и их состав зависят от условий пиролиза и состава сырья. Особое влияние на процесс оказывают скорость нагревания и температура, с повышением которых значительно увеличивается выход газа (растет содержание водорода) и жидких продуктов. Выделение газообразных веществ заканчивается при температурах 1000–1100°C.

В результате *газификации* углерод твердого остатка под воздействием окислителя (воздуха, кислорода или водяных паров) превращается в газообразное топливо. Оставшийся после этого твердый остаток содержит лишь минеральную часть отходов в виде золы или шлака. В основе газификации лежит либо неполное горение кокса (при недостатке кислорода), либо полное горение с последующим реагированием углерода с углекислотой и водяным паром.

Образование так называемого *воздушного газа* (при воздушном или кислородном дутье) сопровождается следующими **реакциями**:



При паровом дутье происходят следующие реакции образования *водяного газа*:



При реагировании с коксом смеси воздуха (или кислорода) и водяного пара образуется так называемый смешанный или *паровоздушный газ*; в этих условиях протекают все вышеуказанные химические реакции. Перечисленные реакции являются суммарными: в действительности механизм реагирования при пиролизе отходов значительно более сложен.

В настоящее время известно более 50 систем пиролиза отходов, отличающихся друг от друга видом исходного сырья (отходов), температурой процесса и конструктивными решениями технологической схемы переработки сырья.

В основу классификации пиролизных установок положен температурный уровень процесса, поскольку именно температурой в реакторе определяется выход и качество продуктов пиролиза отходов того или иного состава. В соответствии с этим различают три разновидности пиролиза: низкотемпературный (450-550 °С), характеризующийся минимальным выходом газа, максимальным количеством смол, масел и твердых остатков; среднетемпературный (до 800 °С), при котором увеличивается выход газа, уменьшается количество смол и масел; высокотемпературный (более 800 °С), отличающийся максимальным выходом газов и минимальным количеством смолообразных продуктов.

Высокотемпературный пиролиз имеет преимущество по сравнению с другими методами: он обеспечивает более интенсивное преобразование исходного продукта; скорость реакций возрастает с увеличением температуры по экспоненте, в то время как тепловые потери возрастают линейно; расширяется промежуток теплового воздействия на отходы; происходит более полный выход летучих продуктов; сокращается объем и количество остатка.

Различают высокотемпературный пиролиз с твердым (до 1100 °С) и жидким (свыше 1400 °С) шлакоудалением. При пиролизе стремятся избегать области температур в интервале 1050-1400 °С, поскольку в этом диапазоне начинается размягчение и плавление шлаков, что может привести к неполадкам в системе шлакоудаления. Установки как с твердым, так и с жидким шлакоудалением подразделяют в зависимости от схем организации процесса (прямоточная, противоточная), конструктивного оформления и принципа действия реактора (шахтный, барабанный, плазменный), вида дутья (воздушное, кислородное, паровое). Системы с твердым шлакоудалением отличаются, кроме того, наличием или отсутствием процесса газификации коксового остатка, характером подвода тепла к слою перерабатываемых отходов (внешний и внутренний нагрев).

### **9.3. Метод «пиролиз-газификация» с использованием обогащенного кислородом дутья**

Процесс *«пиролиз-газификация»* использованием обогащенного кислородом дутья предназначен для получения синтез-газа при совместной термообработке пирогаза и сепарированного углеродистого остатка.

Главная часть технологической схемы данного метода, разработанного фирмой «Noell» (рис. 26) включает пиролиз дробленых (роторные ножницы) ТБО в барабанной печи при 550 °С, сепарацию черных и цветных металлов из твердых продуктов пиролиза (минеральные компоненты от твердого углеродистого остатка не отделяют), тонкое измельчение не содержащего металлов материала. Продукт последней операции под большим давлением инжектируют в верхнюю часть реактора газификации, куда вводят также технический кислород и отдельно подают остальные продукты пиролиза: охлажденный пирогаз, отделенный от пиролизных масел и воды, и жидкие продукты пиролиза (масла, вода) со следами пыли.

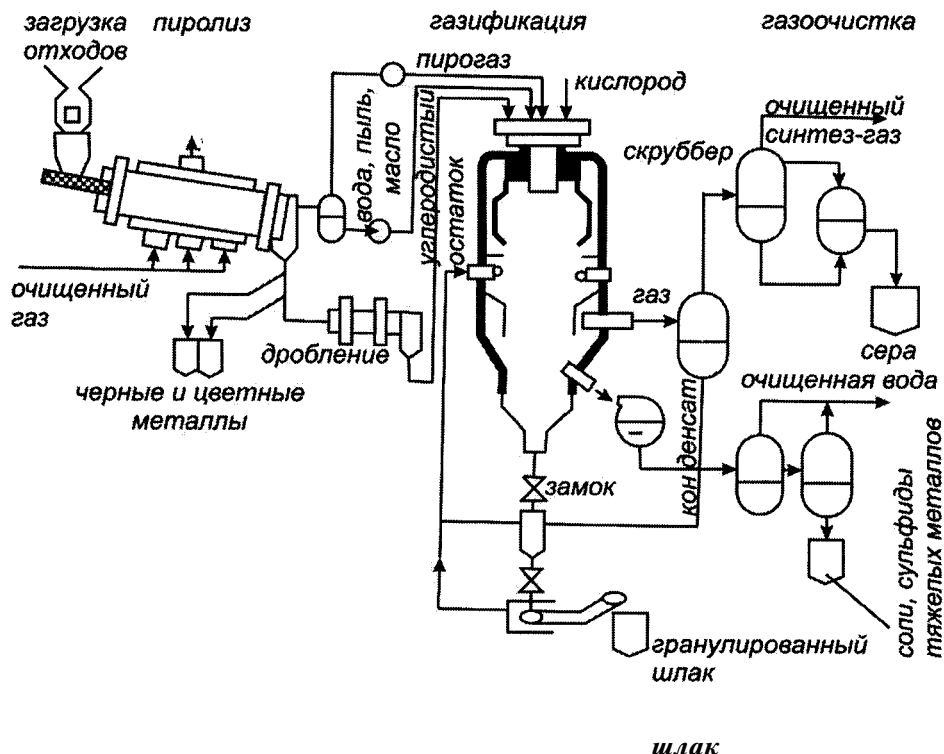


Рис. 26. Переработка отходов по технологии фирмы «Noell»

Процесс газификации, т. е. частичное окисление в пламени техническим кислородом, осуществляют в цилиндрической реакционной камере, контуры которой ограничены охлаждаемыми водой трубчатыми стенками. При разложении органических веществ в реакторе образуется свободный от высокомолекулярных углеводородов газ, содержащий  $\text{CO}$  и  $\text{H}_2$ .

Температуру реакции устанавливают 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 выводят из зоны реакции через разгрузочное отверстие. В любой точке реактора температура газа выше температуры шлака.

В зоне охлаждения, находящейся ниже реакционной камеры, газ и шлак совместно охлаждают холодной водой, впрыскиваемой через форсунки. Газ выводят из зоны охлаждения с температурой  $150\text{--}210^\circ\text{C}$  в зависимости от давления. Шлак отверждают и в форме гранул удаляют через шлюзовой затвор.

Предварительно очищенный в зоне охлаждения газ подвергают дополнительной очистке от соединений серы. Сера, попадающая в процесс в составе исходного сырья, находится в форме сероводорода, который может быть относительно просто отделен и переведен в элементарную серу, передаваемую для реализации потребителям.

Синтез-газ может быть либо направлен в процесс синтеза метанола или этанола (из-за нестабильного морфологического состава ТБО такой способ утилизации малоэффективен), либо на сжигание в энергоустановках. Затраты на получение кислорода при реализации этой технологии компенсируются существенным упрощением отделения очистки дымовых газов (получаемый в процессе синтез-газ требует простой схемы очистки) и возможностью энергетического использования синтез-газа.

#### 9.4. Обработка осадков после очистки сточных вод

В процессе биохимической очистки в первичных и вторичных отстойниках образуются **большие** массы осадков, которые необходимо утилизировать или обрабатывать с целью уменьшения загрязнения биосферы. Эти операции весьма затруднены, поскольку осадки имеют разный состав и большую влажность. Их подразделяют на три **группы**:

- 1) осадки в основном минерального состава;
- 2) осадки в основном органического состава;
- 3) смешанные осадки, содержащие как минеральные, так и органические вещества.

Как правило, осадки сточных вод представляют собой труднофильтруемые суспензии. Во вторичных отстойниках в осадке находится в основном избыточный активный ил, объем которого в 1,5-2 раза больше, чем объем осадка из первичного отстойника. Удельное сопротивление осадков **сточных** вод при фильтровании изменяется в широких пределах. Для сырого активного ила  $r = 72 \cdot 10^{10} - 7860 \cdot 10^{10}$  см/г. Этот показатель является одним из определяющих для выбора метода обработки осадков.

В осадках содержится свободная вода. Свободная вода (60-65 %) сравнительно легко может быть удалена из осадка, связанная вода (30-35 %) - коллоидно-связанная и гигроскопическая - гораздо труднее. Коллоидно-связанная влага обволакивает твердые частицы гидратной оболочкой и препятствует их соединению в крупные агрегаты. Некоторое количество этой влаги удаляется после коагуляции в процессе фильтрования.

Коагулянты положительно заряженными ионами нейтрализуют отрицательный заряд частиц осадка. После этого отдельные твердые частицы освобождаются от гидратной оболочки и соединяются вместе в хлопья. Освобожденная вода легче фильтруется. Разрушить гидратную оболочку можно кратковременной термической обработкой. Полное удаление влаги достигается в процессе высокотемпературной сушки. Для обработки и обезвреживания осадков используются различные технологические процессы (рис. 27).

*Уплотнение осадка активного ила* связано с удалением свободной влаги и является необходимой стадией всех технологических схем обработки осадков. При уплотнении удаляется в среднем 60 % влаги, и масса осадка сокращается в 2,5 раза. Наиболее трудно уплотняется активный ил. Влажность активного ила составляет 99,2-99,5 %. Взвешенные частицы ила имеют небольшой размер и плотную гидратную оболочку, которая препятствует уплотнению частиц. Уплотнение активного ила сопровождается ростом удельного сопротивления при фильтровании.

Для уплотнения используют гравитационный, флотационный, центробежный и вибрационный методы.

*Гравитационный метод уплотнения* является наиболее распространенным и применяется для уплотнения избыточного активного ила и сброженных осадков. Он основан на оседании частиц дисперсной фазы. В качестве илоуплотнителей используют вертикальные или радиальные отстойники.

Гравитационное уплотнение не эффективно: наблюдается высокая концентрация взвешенных веществ в отделяемой воде и большая влажность уплотненных осадков, что удорожает последующую их обработку. Для интенсификации процесса используют: коагулирование осадков, например, обрабатывают осадок хлорным железом; перемешивание с помощью стержневых мешалок; совместное уплотнение различных видов осадков, например, совместное уплотнение сырого осадка из первичного отстойника и активного ила; термогравитационный метод, который основан на нагревании иловой жидкости. При этом гидратная оболочка вокруг частиц активного ила разрушается, часть связанной воды переходит в свободную, и процесс уплотнения улучшается. Оптимальная температура нагрева 80–90 °С.

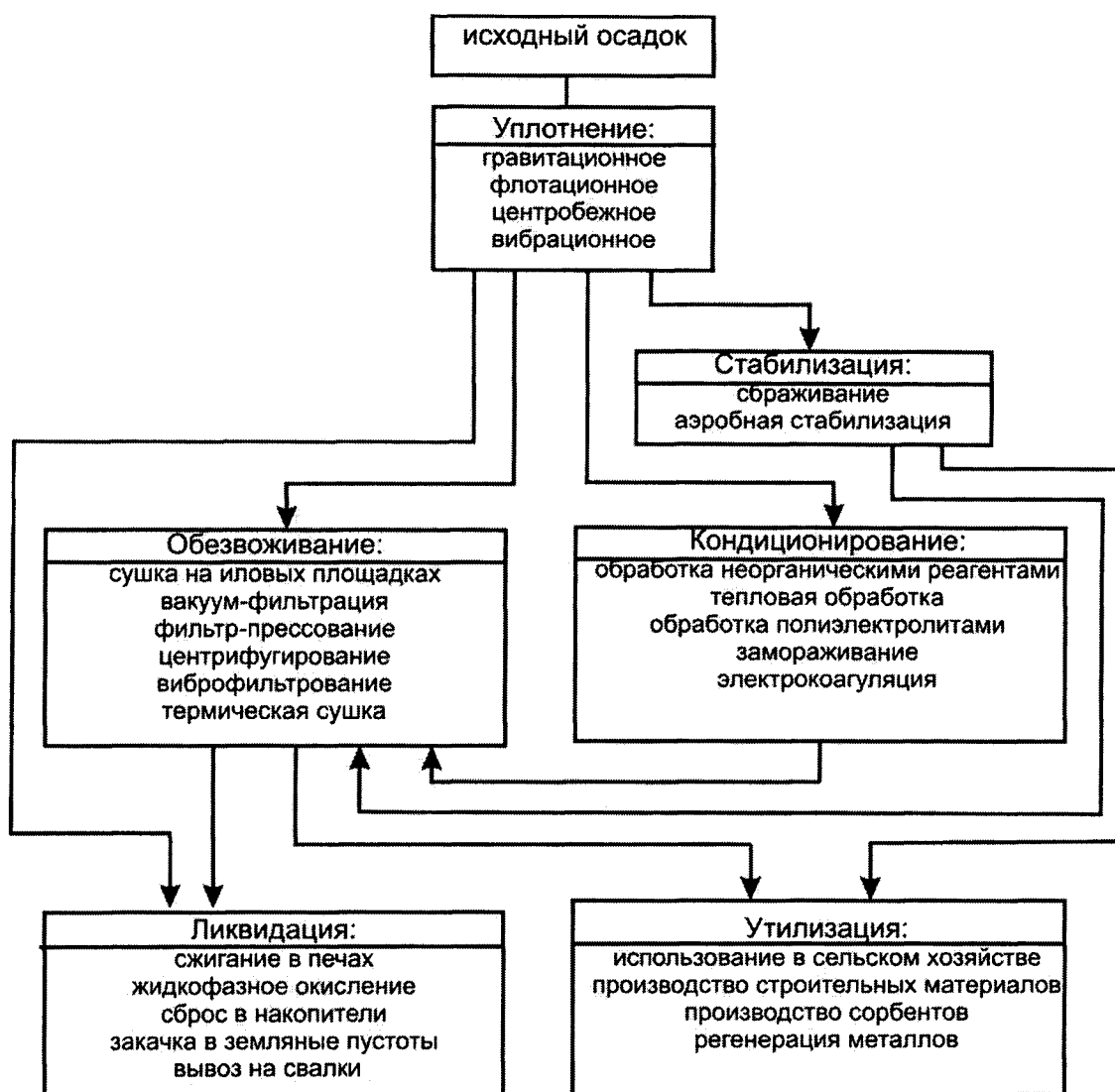
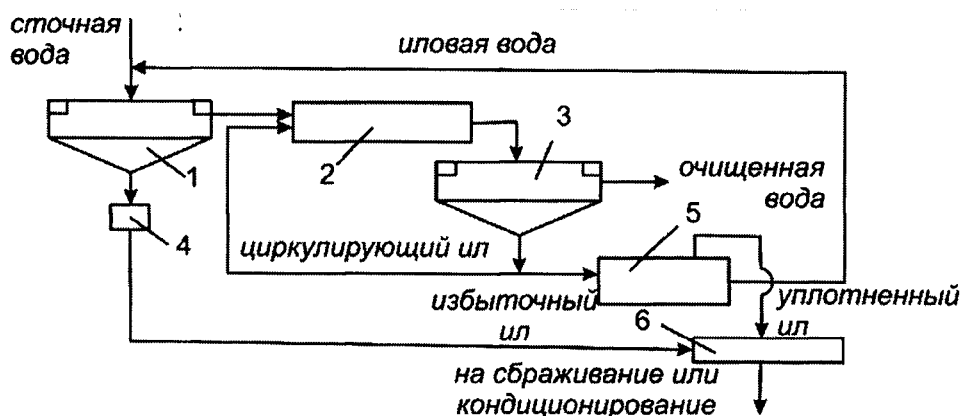


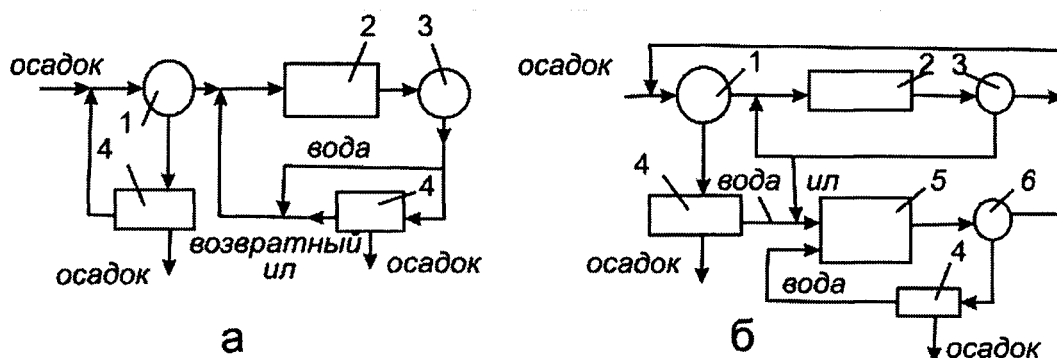
Рис. 27. Технологический цикл обработки осадков сточных вод

*Флотационный метод* уплотнения осадков (рис. 28) основан на прилипании частиц активного ила к пузырькам воздуха и всплывании вместе с ними на поверхность. Для образования пузырьков воздуха может быть использован метод напорной флотации, вакуум-флотации, электрофлотации и биологической флотации (за счет развития и жизнедеятельности микроорганизмов при подог-

реве осадка до 35-55 °С). Достоинства метода состоят в сокращении продолжительности процесса и более высокой степени уплотнения.



Сгущение активного ила проводят в гидроциклонах, центрифугах (рис. 29) и сепараторах. Процессы протекают в поле центробежных сил при высоких скоростях разделения.



**Рис. 29. Схемы установок обезвоживания осадков с применением центрифуг:**  
а - с раздельным центрифугированием осадков из первичного и вторичного отстойников; б - с центрифугированием осадков первичных отстойников и последующим аэробным сбраживанием фугата; 1 - первичные отстойники; 2 - аэротенки; 3 - вторичные отстойники; 4 - центрифуги; 5 - минерализатор; 6 - уплотнитель

Процесс стабилизации осадков проводят для разрушения биологически разлагаемой части органического вещества на диоксид углерода, метан и воду. Стабилизацию ведут при помощи микроорганизмов в анаэробных и аэробных условиях. В анаэробных условиях проводится сбраживание в септиках, двухъярусных отстойниках, осветлителях-перегнивателях и метантенках.

Септик представляет собой прямоугольный или круглый проточный резервуар, в котором из сточной воды при ее медленном движении выпадают взвешенные вещества. Выпавший осадок находится в резервуаре от 6 до 12 месяцев, в течение которых он подвергается анаэробному разложению. Достоинство септиков состоит в том, что доля задержания в них взвешенных веществ достаточно высокая. Однако, из-за непрерывного поступления свежего осадка,

распад органического вещества идет лишь до образования жирных кислот без последующего разложения их в метан и углекислоту. Сбраживание осадка сопровождается выделением газов (метан, диоксид углерода, сероводород) и подъемом вверх иловых частиц, образуется плотная корка. Всплывающие и опускающиеся частицы осадка частично загрязняют очищенную воду, а наличие сероводорода приводит к разрушению железобетонных стенок септика. Поэтому применение септиков ограничено. Обычно их используют на установках небольшой производительности (до 25 м<sup>3</sup>/сут.). Для улучшения их эксплуатационных достоинств и уменьшения выноса взвешенных веществ септики больших размеров разделяют по длине перегородками с отверстиями на отдельные камеры, как показано на рис. 30.

Наиболее широкое распространение получили метантенки, представляющие собой герметически закрытые резервуары с устройствами для ввода несброженного осадка и вывода сброженного (рис. 31). Основными параметрами анаэробного сбраживания в метантенках являются: температура, доза загрузки осадка и степень его перемешивания. Процессы сбраживания ведутся в мезофильных (30–35 °С) и термофильных (50–55 °С) условиях. Степень распада органических веществ в метантенках в среднем достигает 40 %. Для обеспечения более высокой степени анаэробного сбраживания необходимо поддерживать высокую температуру процесса, концентрацию беззольного вещества более 15 г/л, интенсивную степень перемешивания, рН среды 6,8–7,2. Наличие в осадке катионов тяжелых металлов (меди, никеля, цинка), избыток ионов  $\text{NH}_4^+$ , сульфидов и некоторых органических соединений снижает эффективность сбраживания.

Высокая влажность и большое содержание белка в активном иле приводят к низкому выходу газа при анаэробном сбраживании. Исходя из этого, выгоднее в метантенках сбраживать один сырой осадок из первичных отстойников, а активный ил подвергать аэробной стабилизации.

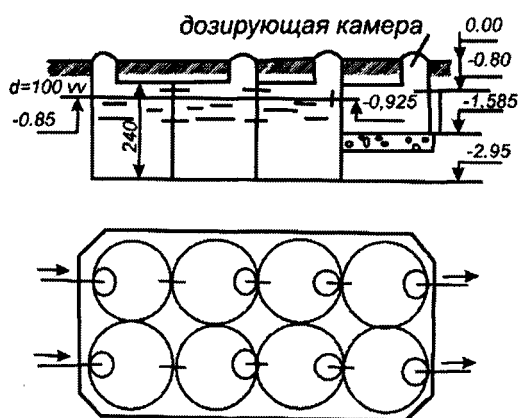


Рис. 30. Схема многокамерного септика

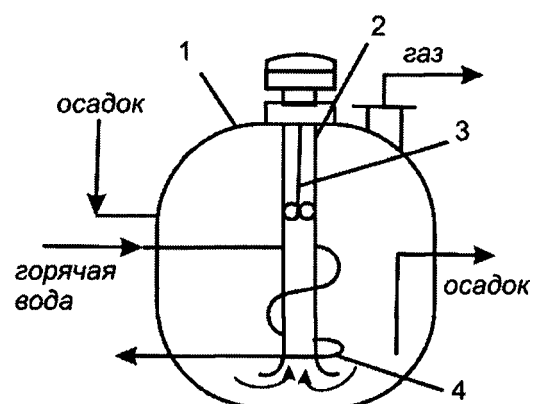


Рис. 31. Метантенок:  
1 - корпус; 2 - труба; 3 - мешалка; 4 - змеевик

*Аэробная стабилизация* (рис. 32) заключается в продолжительной обработке ила в аэрационных сооружениях с пневматической, механической или

пневмомеханической аэрацией. В результате такой обработки происходит распад (окисление) основной части биоразлагаемых органических веществ (до  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  и  $\text{NH}_3$ ). Оставшиеся органические вещества становятся неспособными к загниванию, т. е. стабилизируются. Расход кислорода на процесс стабилизации приблизительно равен 0,7 кг/кг органического вещества.

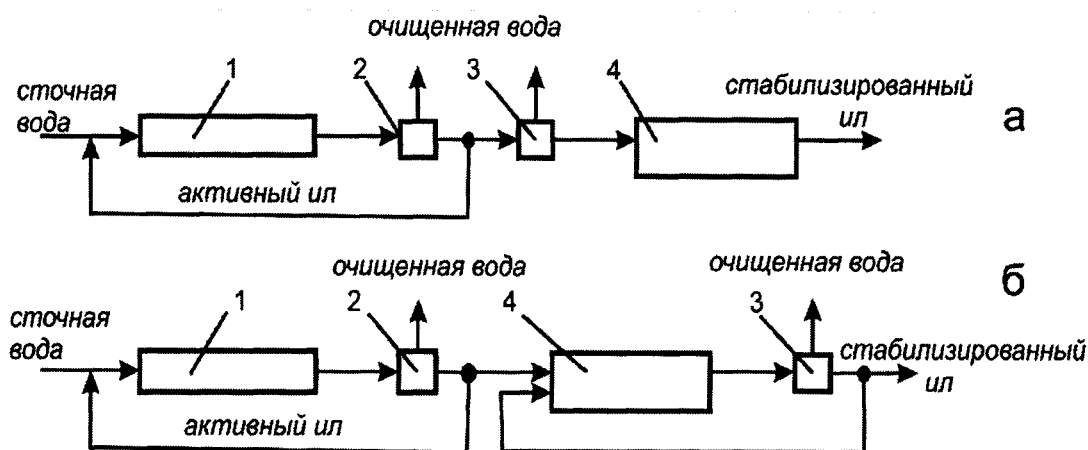
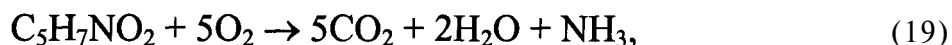


Рис. 32. Схемы установок (а, б) аэробной стабилизации активного ила:

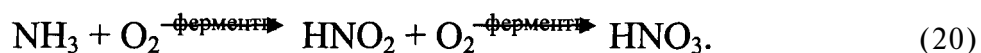
1 - аэротенки; 2 - вторичные отстойники; 3 - илоуплотнители; 4 - стабилизаторы

Аэробную стабилизацию можно проводить и для смеси осадков из первичного отстойника и избыточного активного ила. Эффективность процесса аэробной стабилизации зависит от его продолжительности, интенсивности аэрации, температуры, состава и свойств окисляемого осадка.

Разрушение клеточного вещества происходит по многим реакциям, одной из них является следующая:



затем  $\text{NH}_3$  окисляется до  $\text{NH}_4^+$  по реакции:



При наличии достаточной концентрации растворенного кислорода в среде развиваются автотрофы-нитрификаторы, которые проводят биологическое окисление аммонийного азота до нитритного, а затем - до нитратного. Для нормального процесса синтеза клеточного вещества, т. е. для эффективного процесса очистки в среде должна быть достаточная концентрация всех основных элементов питания микроорганизмов - органического углерода (БПК), азота, фосфора и др.

Недостаток процесса по сравнению со сбраживанием - высокие затраты на аэрирование. Применять аэробную стабилизацию рекомендуется на сооружениях производительностью не более 80–100 тыс. м<sup>3</sup>/сут.

**Кондиционирование осадков** - этот процесс предварительной подготовки осадков перед обезвоживанием или утилизацией проводят для снижения удельного сопротивления и улучшения водоотдающих свойств осадков вследствие изменения их структуры и форм связи воды. От условий кондициониро-

вания зависит производительность аппаратов обезвоживания, чистота отделяемой воды и влажность обезвоженных осадков. Кондиционирование проводят реагентными и безреагентными способами.

При реагентной обработке осадка происходит *коагуляция* - процесс агрегации тонкодисперсных и коллоидных частиц. Образование при этом крупных хлопьев с разрывом сольвентных оболочек и изменением форм связи воды способствует изменению структуры осадка и улучшению его водоотдающих свойств. В качестве коагулянтов используют соли железа, алюминия [ $\text{FeSO}_4$ ,  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ ,  $\text{FeCl}_3$ ,  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ] и известь. Эти соли вводят в осадок в виде 10 %-х растворов. Могут быть также использованы отходы, содержащие  $\text{FeCl}_3$ ,  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  и др. Наиболее эффективным является применение хлорного железа совместно с известью. Доза хлорного железа составляет 5-8 %, извести 15-30 % (от массы сухого вещества осадка). Недостатком реагентной обработки является высокая стоимость, повышенная коррозия металлов, сложность транспортирования, хранения и дозирования реагентов.

К безреагентным методам обработки относятся тепловая обработка, замораживание с последующим оттаиванием, жидкофазное окисление, электрокоагуляция и радиационное облучение.

*Тепловая обработка.* Одним из способов тепловой обработки - нагревание осадка в автоклавах до 170–200 °С в течение 1 часа (рис. 33). За это время разрушается коллоидная структура осадка, часть его переходит в раствор, а остальная часть хорошо уплотняется и фильтруется. Степень распада органического вещества зависит от вида осадка и температуры.

Осадок из резервуара-накопителя под давлением подают в теплообменник, где он нагревается осадком, прошедшим тепловую обработку в реакторе. После охлаждения в теплообменнике и снижения давления осадок поступает в илоуплотнитель, а затем на обезвоживание. Нагревание осадка производят «острым» паром. Удельный расход пара составляет 120–140 кг на 1 м<sup>3</sup> осадка. Уплотняют осадок в радиальных уплотнителях в течение 2-4 ч. Влажность уплотненных осадков 93-94 %. Обезвоживание производят на вакуум-фильтрах и фильтр-прессах.

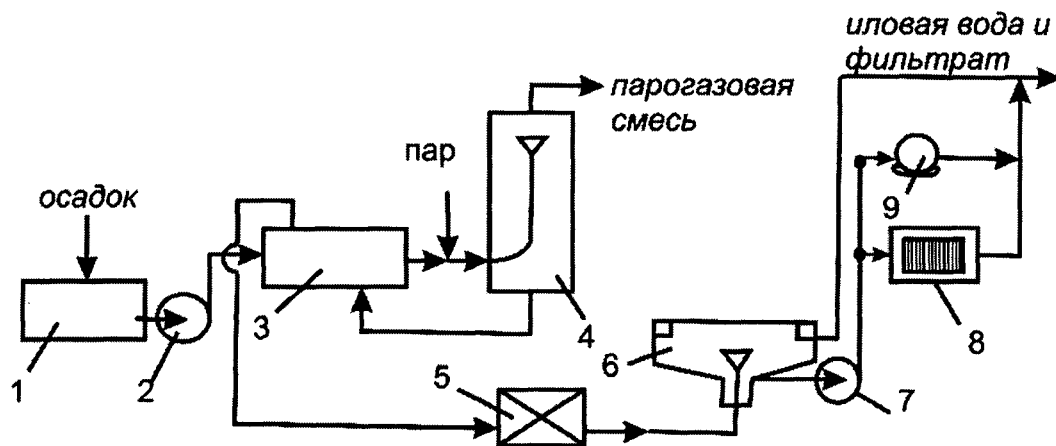


Рис. 33. Схема установки тепловой обработки осадка:

1 - резервуар; 2, 7 - насосы; 3 - теплообменник; 4 - реактор; 5 - устройство для снижения давления;  
6 - уплотнитель; 8, 9 - аппараты механического обезвоживания

*Метод замораживания и оттаивания осадка.* Этот метод имеет ограниченное применение. Сущность метода заключается в том, что при замораживании часть связанной воды переходит в свободную, происходит коагуляция частиц осадка и снижается его удельное сопротивление. При оттаивании осадок образует зернистую структуру, и влагоотдача повышается. Замораживание проводят при температуре  $-5$  –  $-10$  °С в течение 50-120 мин. Для замораживания используют аммиачные холодильные машины (рис. 34).

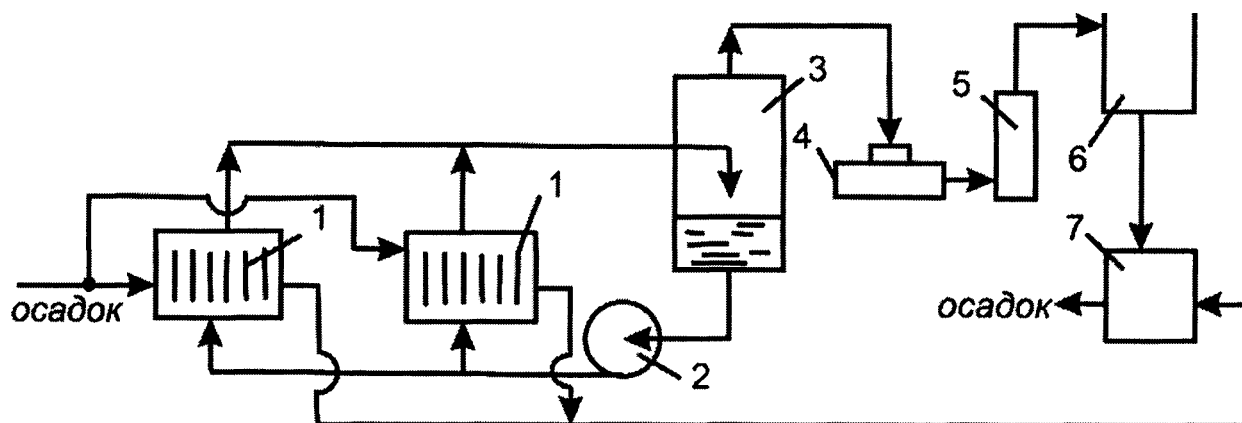


Рис. 34. Схема установки с аммиачной холодильной машиной трубчатого типа для замораживания и оттаивания осадка:

- 1 - резервуары для замораживания; 2 - насос; 3 - вакуумный отделитель; 4 - компрессор;  
5 - маслоотделитель; 6 - промежуточный теплообменник; 7 - резервуар для оттаивания

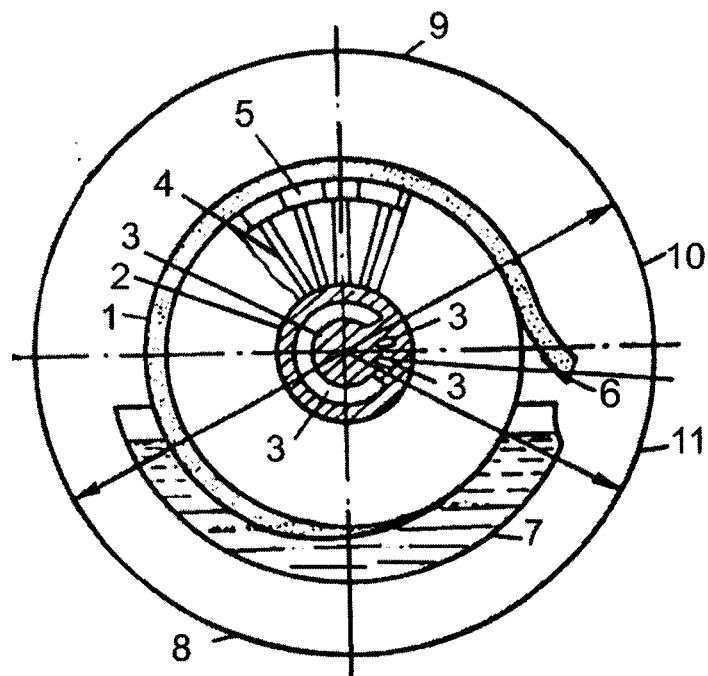
*Обезвоживание осадка.* Осадки обезвоживают на иловых площадках и механическим способом.

*Иловые площадки* — это участки земли (корты), со всех сторон окруженные земляными валами. Если почва хорошо фильтрует воду, и грунтовые воды находятся на большой глубине, иловые площадки устраивают на естественных грунтах. При залегании грунтовых вод на глубине до 1,5 м фильтрат отводят через специальный дренаж из труб, а иногда делают искусственное основание. Рабочая глубина площадок - 0,7-1 м. Площадь иловых площадок зависит от количества и структуры осадка, характера грунта и климатических условий. Иловую воду после уплотнения направляют на очистные сооружения.

*Иловые площадки-уплотнители* сооружают глубиной до 2 м с водонепроницаемыми стенами и дном. Принцип их действия основан на расслоении осадка при оттаивании. При этом жидкость периодически отводят с разных глубин над слоем осадка, а осадок удаляют специальными машинами.

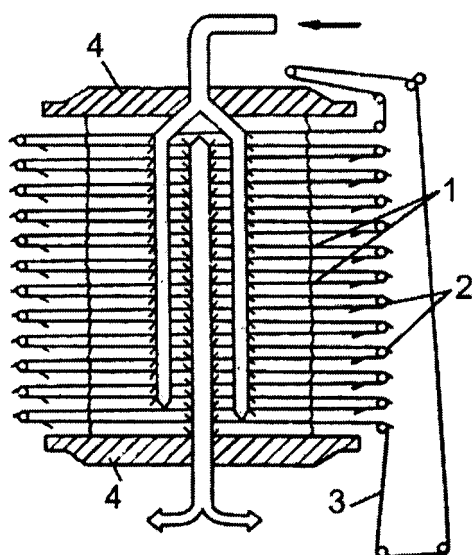
*Механическое обезвоживание осадков* проводят на вакуум-фильтрах (барабанных, дисковых, ленточных), листовых фильтрах, фильтр-прессах, центрифугах и виброфильтрах (рис. 35-37).

На вакуум-фильтрах из осадков может быть удалено в среднем 80 %, на дисковых - 90 %, а на фильтр-прессах - 98 % общего количества механически связанной воды. Производительность вакуум-фильтров наиболее высокая. Выбор конструкции фильтра зависит от технико-экономических показателей процесса.



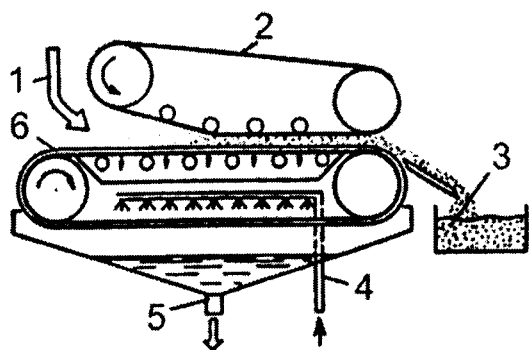
**Рис. 35. Барабанный вакуум-фильтр:**

1 - цилиндрический барабан; 2 - распределительная головка; 3 - камеры распределительной головки;  
4 - отводящий коллектор; 5 - секция; 6 - нож для съема осадка; 7 - корыто с осадком; 8 - зона фильтрования;  
9 - зона просушки; 10 - зона съема осадка; 11 - зона регенерации ткани



**Рис. 36. Схема действия фильтр-пресса ФПАКМ с горизонтальными камерами:**

1 - фильтровальные плиты; 2 - направляющие ролики;  
3 - фильтрующая ткань; 4 - поддерживающие плиты



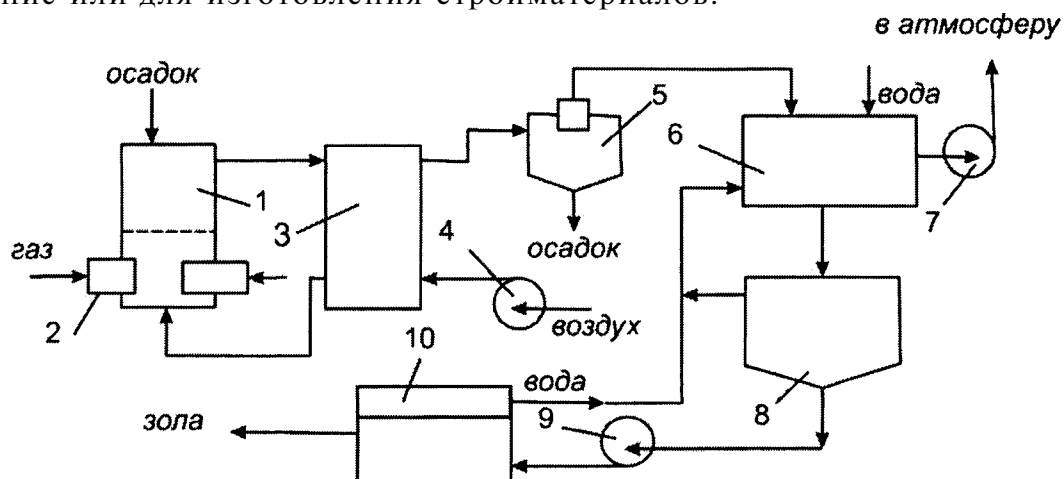
**Рис. 37. Горизонтальный ленточный пресс:**

1 - трубопровод для подачи осадка; 2 - прижимная лента;  
3 - емкость для обезвоженного осадка; 4 - трубопровод для подачи промывной воды; 5 - труба для отвода фильтрата;  
6 - фильтрующая лента

*Обезвоживающие установки с центрифугами.* Достоинствами установки центрифугирования является простота, экономичность, низкая влажность обезвоженных осадков, легкость в управлении. Для обезвоживания используют в основном шнековые центрифуги, производительность которых при обработке осадков из первичных отстойников составляет 8-30 м<sup>3</sup>/ч, а сброженных осадков - 12-40 м<sup>3</sup>/ч. Удельный расход энергии составляет 2,5-3,3 кВт·ч на 1 м<sup>3</sup> обрабатываемого осадка. Влажность обезвоженного осадка зависит от зольности активного ила. Например, при зольности сырого активного ила 28-35 % влажность обезвоженного осадка составляет 70-80 %, при зольности 38-42 % - 44-47 %.

*Сжигание осадков* применяется, если они не подлежат другим видам обработки и утилизации. Мировой опыт показывает, что 25 % образующихся на очистных сооружениях осадков используется в сельском хозяйстве, 50 % размещается на полигонах и около 25 % сжигается. В связи с ужесточением санитарных требований к качеству осадков, уменьшается возможность использования их в сельском хозяйстве. Специалисты все больше обращаются к сжиганию осадков.

Схема установки для сжигания ила в кипящем слое показана на рис. 38. Ил подают в печь на слой песка, где он просушивается, истирается и сгорает при температуре 590-780 °С. Дымовые газы поступают в теплообменник, где охлаждаются воздухом. Нагретый воздух подают в печь для создания псевдоожиженного слоя и поддержания горения. Дымовые газы после теплообменника поступают в циклон, где отделяются твердые частицы, а затем - в абсорбер, орошаемый водой. Очищенные газы выбрасывают в атмосферу. Вода из абсорбера поступает в отстойник, где отделяется зола. Осадок ее в виде пульпы направляют в вакуум-фильтр. Полученную золу используют как минеральное удобрение или для изготовления стройматериалов.



**Рис. 38. Схема установки для сжигания ила в кипящем слое:**  
 1 - печь; 2 - горелка; 3 - теплообменник; 4 - воздуходувка; 5 - циклон; 6 - абсорбер;  
 7 - дымосос; 8 - отстойник; 9 - насос; 10 - фильтр

Первый в России и Восточной Европе завод по сжиганию осадков сточных вод построен по инициативе Ф. В. Кармазинова в Санкт-Петербурге.

Это единственный город в России, где все осадки сточных вод подвергаются механическому обезвреживанию. Ежедневно с трех основных очистных

станций города вывозятся на специальные полигоны около 1200 т обезвоженного осадка. Хотя обезвоживание и позволяет сократить объемы осадков приблизительно в 6–8 раз, площадь полигона составляет около 150 га и ежегодно увеличивается на 8–10 га. Большое количество токсичных солей металлов не позволяет использовать осадки в качестве удобрения.

Исходя из этого, было принято решение о реконструкции сооружений и строительстве завода по сжиганию осадков на Центральной очистной станции аэрации (ЦСА) Санкт-Петербурга. Предварительно в Государственном унитарном предприятии (ГУП) «Водоканал Санкт-Петербурга» досконально изучили отечественный и мировой опыт. Был выбран проект, разработанный французской фирмой «OTV», имеющей большой опыт в проектировании и эксплуатации печей сжигания в Европе, который предусматривает трехступенчатую очистку газовых выбросов, что предотвращает загрязнение атмосферы. Например, во Франции подобные объекты часто расположены недалеко от жилья.

В ноябре 1997 г. была введена в эксплуатацию первая очередь завода.

Последовательность операций по обработке осадка **следующая:**

- предварительная обработка на решетках;
- перемешивание осадка из первичных отстойников с активным илом и процеживание смеси на тонких решетках;
- обработка реагентом-флокулянт и обезвоживание на центрпрессах;
- транспортировка обезвоженных осадков к печам сжигания;
- сжигание в печах «Пирофлюид» с псевдоожиженным слоем песка (внутренний диаметр печей - 6,7 м, высота 15,8 м, температура - 850 °С, производительность - 62,5 тонн в сутки).

Очистка газов от пыли осуществляется на электрофилтрах, а от вредных примесей - путем промывки щелочью. Масса очищенных газов, выбрасываемых в атмосферу, составляет 0,93 тонн в сутки. Эффективность очистки газов более 99 %.

При внедрении установок по сжиганию осадков сточных вод решаются следующие эколого-экономические **задачи:**

- прекращается вывоз необеззараженного осадка, что позволяет прекратить вырубку лесов для новых площадей складирования осадка;
- в печах в качестве топлива используются осадки сточных вод (природный газ необходим лишь для розжига печей);
- тепловая энергия, образующаяся при сжигании осадков, рекуперируется в котлах-утилизаторах и используется для производственных нужд;
- образующаяся зола используется при изготовлении строительных материалов, дорожного покрытия и др.;
- годовые эксплуатационные расходы на сжигание осадка в 1,9 раза меньше, чем на обработку 1000 м<sup>3</sup> осадка на полигонах;
- для изготовления оборудования задействованы крупнейшие промышленные предприятия Санкт-Петербурга.

Выполненные расчеты показали, что затраты на модернизацию всей системы обработки осадков на ЦСА Санкт-Петербурга в нынешних условиях экологически эффективны и экономически выгодны.

Выбор оптимальной технологической схемы обработки осадков сточных вод зависит от их свойств, химического состава, количества, климатических условий, наличия территорий для иловых площадок и других факторов.

### **9.5. Технология сбора твердых бытовых отходов на местах их образования**

Бытовые отходы в малоэтажных домах собирают в квартирные сборники, которые выносят и опорожняют в дворовые емкости (баки, контейнеры) вместимостью **0,10** или **0,75 м<sup>3</sup>**. Дома свыше пяти этажей оборудуют мусоропроводом. В многоэтажных домах мусор через ствол мусоропровода попадает в мусороприемную камеру. Выход ствола в камеру располагают на такой высоте, которая позволяла бы установить под ним контейнер. Использование стандартного контейнера вместимостью **0,75 м<sup>3</sup>** требует, чтобы расстояние от пола **мусороприемной** камеры до нижней части ствола составляло не менее **1,35 м**. Нижняя часть ствола мусоропровода должна перекрываться шиберным устройством, что позволяет хранить отходы в стволе при смене контейнеров и обеспечивает безопасность обслуживающего персонала.

Для устройства ствола мусоропровода применяют асбоцементные безнапорные трубы, на внутренней поверхности которых не должно быть раковин, трещин и наплывов. Внутренние стенки ствола должны быть гладкими, а швы в местах стыков отдельных секций - **ВОДО-**, дымо- и воздухонепроницаемыми. Ствол мусоропровода обычно располагается в отапливаемом **лестнично-лифтовом** узле. Он не должен примыкать к стенкам или располагаться в стенах, ограждающих жилые комнаты. В мусоропроводе необходимо обеспечивать постоянную вентиляцию с тем, чтобы неприятный запах или запыленный воздух не поступали на лестничную клетку. Движение воздуха обеспечивает подсушку загрязненных поверхностей и препятствует развитию плесени, насекомых и болезнетворных бактерий. Вентиляция обеспечивается либо устройством специальной вентиляционной шахты, располагаемой параллельно стволу мусоропровода и выходящей в ту же мусороприемную камеру, либо установкой в верхней части ствола мусоропровода побудительной тяги в виде вытяжного вентилятора или тепловых элементов. Первая система более надежна при обеспечении вентиляционного режима, но приводит к увеличению стоимости строительства.

Каналы мусоропровода должны подвергаться периодической дезинфекции. Для этой цели применяют растворы лизола (не менее **5 %**), креолина (не менее **5 %**), нефтализола (не менее **10 %**), фенола (**3-5 %**), метилсиликата натрия (**1-3 %**). Общее время контакта не менее **0,5 ч**. Планировку мусороприемной камеры и ее размеры определяют с учетом размещения и удобного обслуживания контейнеров или мусоросборников и средств для их перемещения, а также санитарно-технического оборудования для промывки сборников, мойки стен и пола камеры.

В крупных городах с удаленностью мест обезвреживания более 15–20 км от районов обслуживания с числом жителей не менее 80–90 тыс. человек, где применение мусоровоза малой грузоподъемности снижает их производительность, целесообразна организация мусороперегрузочных станций. В этом случае сбор и транспортирование ТБО производят в два этапа:

1) сбор ТБО в районах обслуживания малыми маневренными собирающими мусоровозами и доставка их на мусороперегрузочные станции;

2) перегрузка ТБО на мусороперегрузочной станции в специальный транспорт большой вместимости и транспортирование отходов на места обезвреживания.

Твердые и жидкие отходы из неканализованных домовладений собирают двумя способами: отдельным или совместным. Когда применяют отдельный способ, то для сбора ТБО организуют специальные пункты, где устанавливают стандартные контейнеры. Вывозить собранный таким образом мусор можно по системе сменяемых или несменяемых контейнеров.

Чтобы предотвратить присутствие в удаляемых отходах крупных фракций ТБО, превышающих диаметр шланга машины, над приемным люком общего выгребка устанавливают специальный загрузочный ящик с металлической решеткой. Размеры решетки зависят от внутреннего диаметра всасывающего рукава применяемой вакуумной машины. Для сбора крупных предметов на группу домов (улиц) устанавливают контейнер.

#### **9.6. Охрана окружающей среды при эксплуатации установок сжигания твердых бытовых отходов**

В большинстве стран основными источниками загрязнения воздушного бассейна городов являются процессы сжигания различных топлив в топках теплоэнергетических агрегатов и выхлопные газы автотранспорта. В качестве основного показателя санитарного состояния атмосферного воздуха принято содержание в нем поступающих с выбросами названных источников твердых частиц (сажи, летучей золы), серного  $\text{SO}_2$  и сернистого  $\text{SO}_3$  ангидридов, оксидов азота  $\text{NO}_x$  и оксида углерода  $\text{CO}$ .

*Характеристика дымовых газов мусоросжигательных заводов (МСЗ).* В составе дымовых газов МСЗ, помимо названных выше взвешенных веществ и оксидов, могут присутствовать при наличии в сжигаемых ТБО хлор- и фторсодержащих компонентов (пластмассовых отходов) хлорид водорода  $\text{HCl}$  и фторид водорода  $\text{HF}$ . Наряду с этим, отходящие газы МСЗ отличаются от дымовых газов энергетических установок, работающих на природном топливе, высоким (от 10 до 20 %) содержанием водяных паров, что обусловлено значительной влажностью ТБО. Среди загрязняющих дымовые газы МСЗ веществ могут присутствовать также полихлордибензодиоксины (ПХДД) и полихлордибензофураны (ПХДФ).

Степень опасности загрязнения атмосферного воздуха на уровне дыхания человека выбросами вредных веществ от промышленных предприятий и котельных в нашей стране определяют по величине концентрации вредности (загрязнения) при неблагоприятных метеорологических условиях, значение которой не должно превышать максимальной разовой предельно допустимой концентрации.

Среди других газообразных токсикантов дымовых газов МСЗ следует отметить альдегиды и органические кислоты, образующиеся при неполном окислении пищевых отходов, жиров, масел и некоторых других компонентов ТБО. Кроме того, следует иметь в виду возможность поступления в окружающую среду при сжигании ТБО канцерогенных веществ. Из них наиболее известными в настоящее время являются бенз(а)пирен, бенз(а)антрацен, керонен, фенантрен и пирен. Однако с учетом улавливания современными пылеулавливающими устройствами до 90 % летучей золы, сорбирующей названные канцерогены, а также ее рассеивания через дымовые трубы концентрация этих веществ в приземном слое воздуха оказывается существенно меньшей величин действующих ПДК.

Кроме указанных загрязняющих веществ, в дымовых газах МСЗ присутствуют аммиак, озон и некоторые другие вредные вещества, но их количества крайне незначительны.

Важной проблемой при сжигании ТБО является образование диоксинов и фуранов. ТБО содержат как диоксины (например, в составе отработанных масел и некоторых других веществ), так и вещества, из которых могут образовываться диоксины при охлаждении дымовых газов после сжигания отходов. Такими веществами являются, в частности, ПХВ, уголь, древесина, NaCl, HCl. Образующийся при сжигании ТБО шлак вследствие избытка воздуха и быстрого охлаждения не содержит диоксинов. Охлаждаемые же дымовые газы уже при 450 °С содержат диоксины, фиксируемые золой-уносом. Кроме того, зола-унос содержит тяжелые металлы. В этой связи улавливаемую из отходящих газов МСЗ золу необходимо складировать в отвалах, защищенных от воздействия влаги и ветра, или подвергать специальной обработке (переводя в связанную и нерастворимую форму, например, путем остеклования).

Исследования показывают, что электрофилтры систем газоочистки МСЗ могут в среднем уловить 90 % ПХДД и ПХДФ, образовавшихся при охлаждении дымовых газов и адсорбированных летучей золой.

*Приемы очистки дымовых газов МСЗ.* В практике очистки дымовых газов МСЗ обычно реализуют совокупность приемов. Обработку эвакуируемых из блока термической переработки ТБО дымовых газов реализуют с использованием приемов термохимического обезвреживания по принципу реагентной очистки в трехступенчатом реакторе.

В первой по направлению движения дымовых газов ступени этого реактора дожигают содержащиеся в них остаточный углерод и оксид углерода. С этой целью здесь поддерживают температуру на уровне 1200 °С, подавая в камеру дожигания воздушное дутье и (в случае переработки низкокалорийных отхо-

дов) природный газ. Здесь же реализуют обезвреживание как содержащихся в поступающих на переработку ТБО, так и синтезируемых в блоке головных технологических агрегатов диоксинов. Это возможно за счет эффективного проведения обезвреживания путем сочетания температурного ( $1200\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), окислительного (содержание кислорода более 3 %) и временного (время пребывания дымовых газов в этих условиях не менее 2 с) факторов.

Содержащиеся в дымовых газах кислые компоненты в виде  $\text{HCl}$ ,  $\text{HF}$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$  и  $\text{SO}_x$  нейтрализуют химической их фиксацией при  $1000\text{--}1200\text{ }^{\circ}\text{C}$  во второй ступени реактора путем впрыска в реакционный объем ее камеры водного раствора  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  (концентрация 10 %), предусматривая 2 %-ный избыток активного компонента относительно его стехиометрического количества. Остаточные концентрации при этом составляют (в мг/м<sup>3</sup>) для  $\text{SO}_2 < 50$ ;  $\text{HCl} < 0$ ;  $\text{HF} < 1$ .

Обработка горячих ( $850\text{--}1000\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) дымовых газов на третьей ступени их детоксикации сводится к восстановлению содержащихся в них оксидов азота карбамидом  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ , инжестируемым в рабочий объем камеры этой ступени 1-1,5 %-го водного раствора из расчета обеспечения 20 %-го избытка активного компонента по отношению к стехиометрии соответствующих взаимодействий.

Заключительной стадией очистки дымовых газов является их обеспыливание (освобождение от золы-уноса и кристаллических солей), реализуемое при  $160\text{--}250\text{ }^{\circ}\text{C}$  в рукавных фильтрах из стеклоткани и обеспечивающее степень извлечения взвешенных частиц выше 99,5 %. Уловленную пыль, накапливающуюся в пылевых бункерах рукавных фильтров, периодически удаляют из них и отправляют на обезвреживание. Очищенные дымовые газы выбрасывают через трубу в атмосферу.

### Контрольные вопросы

1. Дайте характеристику метода сухой перегонки (пиролиз) отходов.
2. Охарактеризуйте метод газификации отходов.
3. Дайте описание метода «пиролиз-газификация» с применением кислородного дутья.
4. Дайте общую характеристику технологического цикла обработки осадков **СТОЧНЫХ ВОД**.
5. Методы уплотнения осадка активного ила.
6. Кондиционирование осадков сточных вод.
7. Механическое обезвоживание осадков.
8. Сжигание осадков сточных вод.
9. Технология сбора ТБО на местах их образования.
10. Охрана окружающей среды при эксплуатации установок сжигания ТБО.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На городских свалках даже среднего города ежегодно скапливаются сотни тысяч тонн бытовых отходов. Разлагаясь, они отравляют воздух, почву, подземные воды и превращаются таким образом в серьезную опасность для окружающей среды и человека. Вот почему «героями дня» становятся эффективные, безотходные, а главное — экологически чистые технологии промышленной переработки мусора. Во всем мире переработка и утилизация бытовых отходов становятся все более злободневной проблемой. Главным образом это касается крупных густонаселенных городов, где ежегодно скапливаются миллионы кубометров всевозможного мусора. Подсчитано, что каждый год в стране скапливается только твердых бытовых отходов 190 млн кубометров. Проблему уничтожения такой огромной массы мусора необходимо отнести к категории экологических, с другой стороны, она самым тесным образом связана с решением сложных технических и экономических вопросов.

Повышенный интерес к использованию вторичного сырья в развитых странах мира определяется наряду с экономическими соображениями также и жестким экологическим законодательством в отношении переработки отходов производства и потребления. Все большую роль играют международные соглашения по охране природы, особенно в тех направлениях, которые координируют отношения по обращению с отходами. Например, для стран - членов ЕС требуется обязательность наличия планов создания рынка вторичного сырья, введение нормирования использования наиболее распространенных отходов (макулатуры, стекла, пластиковых упаковок).

Очевидно, что одной из главных проблем современности является утилизация и переработка бытовых отходов. Существует много современных эффективных способов утилизации и переработки отходов. Но до сих пор сложно говорить о каких-либо кардинальных изменениях, происходящих в этой области в нашей стране. В европейских странах и США давно пришли к выводу, что ресурсный потенциал ТБО нужно не уничтожать, а использовать. Всё прогрессивное человечество осознает, что нельзя подходить к проблеме ТБО как к борьбе с мусором, ставя задачу любой ценой избавиться от него.

Экологическая и экономическая целесообразность и необходимость повторного и многократного использования природных ресурсов путем вовлечения части отходов производства и потребления в хозяйственный оборот в качестве вторичного сырья доказана многолетней практикой во многих странах мира.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бертокс П. Стратегия защиты окружающей среды от загрязнений / П. Бертокс, Д. Радд. - М.: Мир, 1980.
2. Воронцов А. А. Охрана природы / А. А. Воронцов, Е. А. Щетинский, И. Д. Никодимов. - М.: Агропромиздат, 1989.
3. Грибанова Л. П. Полигоны и свалки бытовых и промышленных отходов Московского региона: оценка экологической опасности / Л. П. Грибанова, А. А. Шпаков // Экология и промышленность России. - 1997. - С. 12–20.
4. Инженерная защита окружающей среды. Очистка вод. Утилизация отходов / под ред. Ю. А. Бирмана, Н. Г. Вурдовой. - М.: Ассоциация строительных вузов, 2002.
5. Лотош В. Е. Переработка отходов природопользования / В. Е. Лотош. - Екатеринбург, 2002.
6. Мазур И. И. Инженерная экология: справочное пособие. Общий курс в 2-х томах. / И. И. Мазур, О. И. Молдованов, В. Н. Шишов; под ред. И. И. Мазура. - М.: Высшая школа, 1986.
7. Охрана окружающей среды / под ред. проф. С. В. Белова. - М.: Высшая школа, 1991.
8. Пальгунов П. П. Утилизация промышленных отходов / П. П. Пальгунов, М. В. Сумароков. - М.: Стройиздат, 1990.
9. Расчет полигона твердых бытовых отходов: методические указания. - Йошкар-Ола, 1995.
10. Родионов А. И. Технологические процессы экологической безопасности / А. И. Родионов, В. Н. Клушин, В. Г. Систер. - Калуга, 2000.
11. Санитарные правила СП 2.1.7.1038–01. Гигиенические требования к устройству и содержанию полигонов для твердых бытовых отходов.
12. Соломин И. А. Выбор оптимальной технологии переработки ТБО / И. А. Соломин, В. Н. Башкин // Экология и промышленность России. - 2005. - С. 42–45.
13. Стадницкий Г. В. Экология / Г. В. Стадницкий, А. И. Родионов. - 3-е изд., стер. - СПб: Химия, 1997.
14. Техника защиты окружающей среды / Н. С. Торочешников, А. И. Родионов, Н. В. Кельцев, В. Н. Клушин. - М.: Химия, 1981.
15. Федеральный закон РФ от 24.06.1998 г. № 89 - ФЗ «Об отходах производства и потребления» (в ред. от 18.12.2006 г.).
16. Цветкова Л. И. Экология: учебник для технических вузов / Л. И. Цветкова, М. И. Алексеев, Б. П. Усанов и др. - СПб.: АСВ; Химиздат, 1999.
17. Шубов Л. Я. Проблема муниципальных отходов и рациональные пути ее решения / Л. Я. Шубов // Экология и промышленность России. - 2005 - декабрь. - С. 34–39.
18. Ярошевский Д. А. Санитарная техника городов / Д. А. Ярошевский, Ю. Ф. Мельников, И. Н. Корсакова. - М.: Стройиздат, 1990.