

## Лекция № 1 Загрязнение литосферы твердыми отходами

### 12.1 Классификация твердых промышленных и бытовых отходов (ТП и БО)

Твердые промышленные отходы (ТПО) представляют собой, как правило, более или менее однородные продукты, которые не требуют предварительной сепарации по группам для их переработки.

Твердые бытовые отходы (ТБО) в Российской Федерации, напротив, представляют собой грубую механическую смесь самых разнообразных материалов и гниющих продуктов, отличающихся по физическим, химическим и механическим свойствам и размерам.

К твердым бытовым отходам (ТБО) относятся отходы, образующиеся в жилых и общественных зданиях, торговых, зрелищных, спортивных и других предприятиях (включая отходы от текущего ремонта квартир), отходы от отопительных устройств местного отопления, смет, опавшие листья, собираемые с дворовых территорий, и крупногабаритные отходы .



- черные и цветные металлы,
- макулатуросодержащие и текстильные компоненты,
- стеклобой,
- пластмасса,
- пищевые отходы,
- камни, кости,
- кожа,
- резина,
- дерево,
- уличный смет и пр.

### 12. 2 Современное состояние проблемы отходов в РФ.

Сложившаяся в Российской Федерации ситуация в области образования, использования, обезвреживания, хранения и захоронения отходов ведет к опасному загрязнению окружающей среды, нерациональному использованию природных ресурсов, значительному экономическому ущербу и представляет реальную угрозу здоровью современных и будущих поколений страны.

Практически для **всех субъектов Российской Федерации** одна из основных задач в области охраны окружающей среды – решение проблем **их обезвреживания и переработки**.

Ежегодно в Российской Федерации образуется около **7 млрд.** тонн промышленных и бытовых отходов, из которых используется лишь **2 млрд. тонн, или 28,6 процентов, в основном промышленных.**

Наибольшую проблему представляют муниципальные твердые бытовые отходы - ТБО, которые составляют около 8-10% от общего количества образующихся отходов. Это связано со сложным составом ТБО и распределенными источниками их образования.

По данным Росприроднадзора, ежегодно в России образуется порядка **35-40**млн. тонн твердых бытовых отходов и практически весь этот объем размещается на полигонах ТБО, санкционированных и не санкционированных свалках, и только 4-5% вовлекается в переработку. Это прежде все связано как с отсутствием необходимой инфраструктуры, так и самих предприятий - переработчиков, которых по стране насчитывается всего порядка **400 единиц**(389), из них:

комплексов по переработке ТБО всего 243,

комплексов по сортировке - 53,

мусоросжигающих заводов - около 10.

Также следует обратить внимание на то, что количество *специально обустроенных мест* для размещения отходов – полигонов ТБО в целом по стране около **полутора тысяч**(1399), что в разы меньше, чем даже санкционированных свалок которых чуть больше 7 тысяч (7153). А количество несанкционированных свалок, которые следует расценивать как уже накопленный за истекшие десятилетия прошлый экологический ущерб, по состоянию на август текущего года превышает и указанную цифру в 2,5 раза и составляет 17,5 тысяч. Все указанные объекты размещения ТБО занимают площадь более 150,0 тыс. Га.

Влияние необработанных бытовых отходов на среду обитания и здоровье человека схематически изображено на рис.12.1.

Существующая система управления отходами в России, ориентированная преимущественно на их захоронение, является несовершенной, ведет к загрязнению окружающего воздуха, грунтовых вод и, как следствие, - снижению качества жизни, не согласуется с принципами устойчивого развития экономики и требует коренной модернизации.

При этом возможных направлений модернизации данной системы два:

1) создание условий для минимизации образования отходов, т.е. технологическая модернизация экономики на основе наилучших доступных технологий;

2) вовлечение отходов, включая накопленные за предыдущие годы объемы, в хозяйственное использование в качестве вторичных материальных и энергетических ресурсов, т.е. развитие в России индустрии утилизации отходов.

## Эпидемиологическая опасность твердых бытовых отходов для здоровья человека и животных : Заражение (обсеменение) окружающей среды микроорганизмами.



### 12.3. Комплексный подход к решению проблемы ТБО

**Традиционный подход** к проблеме ТБО ориентировались на уменьшение опасного влияния на окружающую среду путем изоляции свалки от грунтовых вод, очистки выбросов мусоросжигательного завода и т.д.

**Нетрадиционный взгляд** на проблему состоит в том, что гораздо проще контролировать что попадает на свалку, чем то, что попадает со свалки в окружающую среду.

Основа концепции комплексного управления отходами состоит в том, что бытовые отходы состоят из **различных компонент**, которые не должны в идеале смешиваться между собой, а должны утилизироваться отдельно друг от друга наиболее экономичными и экологически приемлемыми способами.

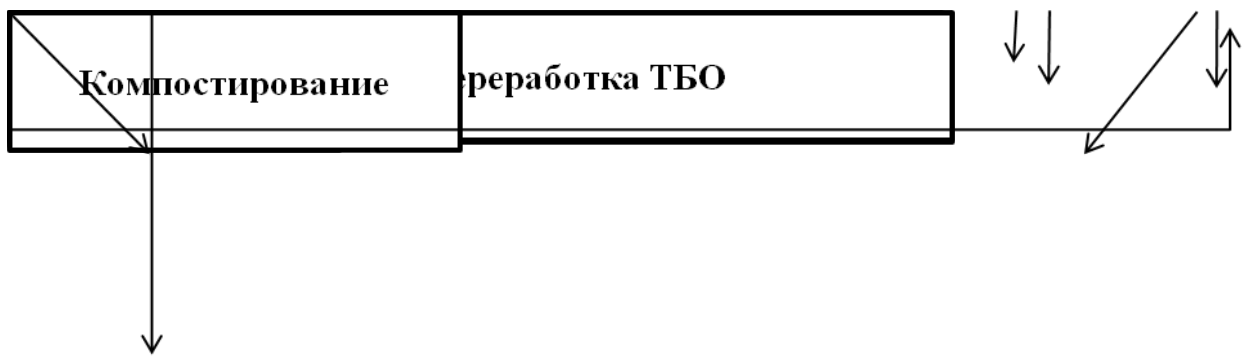
В мировой практике нашли промышленное применение **четыре метода переработки ТБО**:

1. **Вторичная переработка** (сортировка с извлечением тех или иных ценных компонентов для вторичного использования, удалением балластных или вредных компонентов, для переработки тем или иным методом, например, сжиганием или компостированием).
2. **Компостирование**
3. **Термическая обработка**
4. **Захоронение**

4.1 захоронение на полигонах

4.2 захоронение на свалках

Каждый из методов имеет свои преимущества и недостатки, свои оптимальные области применения, зависящие главным образом от морфологического состава ТБО и региональных условий



Одним из наиболее распространенных и технически отработанных методов промышленной обработки ТБО перед их удалением на свалки является сжигание (часто с утилизацией тепла).

Например;

- *В европейских странах сжиганием перерабатывают 20-25% объема городских отходов,*
- *в Японии - около 65% ,*
- *в США - около 15% (в США мусоросжигание рассматривают как один из основных способов продления срока службы свалок).*

Одним из основных показателей, определяющих эффективность системы

обращения с ТБО, является **степень их утилизации**. Разработанные процессы первичной сортировки ТБО, а также ручного или механизированного разделения на предприятиях по их переработке позволяют выделить такие ценные компоненты отходов, как черный и цветной металл, пластмасса, стекло, и превратить основную массу ТБО в органическое удобрение, тепловую энергию, строительные материалы.

Таким образом, уже на сегодняшнем уровне технологии утилизации

имеется возможность практического использования **более 70% ТБО**.

В первую очередь должны рассматриваться мероприятия по первичному сокращению отходов, затем по вторичному сокращению: повторному использованию и переработке оставшейся части отходов и в самую последнюю очередь – мероприятия по утилизации или захоронению тех отходов, возникновения которых не удалось избежать и которые не поддаются переработке во вторсырье.

#### **12.4 Сокращение отходов «у источника образования отходов».**

Под сокращением понимается не только уменьшение общего количества отходов, но и уменьшение их токсичности и иных вредных свойств. Сокращение отходов достигается вследствие переориентации производителей и потребителей на продукты и упаковку, приводящие к меньшему количеству отходов. В настоящий момент в России более разумно говорить не о сокращении объема отходов, а об ограничении их бесконтрольного роста.

В Западных странах кампания за сокращение отходов ведется давно и в основном направлена против излишней упаковки, так как значительная часть ТБО состоит из упаковочных материалов:

*Около 30% отходов по весу и 50% по объему составляют различные пластиковые упаковочные материалы, количество которых в развитых странах удваивается (!) каждые десять лет.*

Поэтому уменьшение отходов, связанных с упаковкой товаров, является одним из важнейших направлений работы по сокращению отходов.

- Избегать ненужной упаковки. Многие предметы в магазинах упаковываются только для того, чтобы привлечь внимание покупателя: например, т.н. blister packaging – мелкие предметы, помещенные на ярко раскрашенную картонную подложку и закрытые прозрачным пластиком.
- Отдавать предпочтение продуктам многоразового использования.
- Отдавать предпочтение минимальной упаковке – приобретать товары с более легкой упаковкой и товары, продающиеся большими объемами.
- Отдавать предпочтение упаковке, которую можно вторично использовать или переработать.
- Отдавать предпочтение упаковке, изготовленной из вторично переработанных и/или экологически безвредных материалов

### **3.1. Сбор и разделение ТБО**

Предварительная сортировка улучшает и ускоряет процесс компостирования органических веществ ТБО, облегчает очистку компоста от примесей, снижает производительность весьма дорогостоящего биотермического и термического оборудования, улучшает состав отходящих газов, улучшает процесс сжигания, т.е. технология комплексной переработки ТБО повышает экологичность и экономичность традиционной термической и биотермической обработки ТБО. Эта технология, кроме того, повышает уплотняемость свалок не утилизируемых отходов и, как следствие, уменьшает их объем и количество проникающих в почву фильтратных вод.

*Не случайно в США с 1991 г. вступил в силу закон, в соответствии с которым запрещается доставка ТБО на свалки и мусоросжигательные заводы без предварительной сортировки.*

*При захоронении ТБО на полигонах РФ эти утильные фракции безвозвратно теряются. В частности, теряется 9 млн. т макулатуры, 1,5 млн. т черных и цветных металлов, 2 млн. т полимерных материалов, 10 млн. т пищевых отходов, 0,5 млн. т стекла.*

Вовлечение отходов производства и потребления в хозяйственный оборот в качестве вторичных источников сырья и энергоресурсов дает значительный **экологический и экономический** эффект, позволяет существенно уменьшить техногенную нагрузку на окружающую среду в условиях продолжающегося необратимого сокращения природных ресурсов.

Вместе с тем, необходимо отметить, что развитие систем селективного сбора, сортировки и переработки вторичного сырья, извлеченного из отходов требует значительного времени и больших финансовых ресурсов. Хотя для каждого вида отходов существует специальная технология их утилизации и обезвреживания, спрос на многие вторичные продукты являются очень малым по двум причинам:

**1) высокая стоимость переработки**

**2) низкий спрос и высокая стоимость конечного продукта.**

При этом необходимо учитывать, что даже при высокой степени извлечения вторичного сырья, оставшаяся часть отходов должна быть размещена на полигонах или утилизирована иными способами.

Основной проблемой сложившихся способов переработки вторсырья является **не отсутствие технологий переработки, а отделение вторсырья от остального мусора**(и разделение различных компонент вторсырья).

Существует множество технологий, позволяющих разделять отходы и вторсырье. Все они – затратные и самая дорогая и сложная из них – **извлечение вторсырья из уже сформировавшегося общего потока отходов на специальных предприятиях.**

Следует отметить, что опыт раздельного сбора бытовых отходов (Санкт-Петербург, Москва, Смоленск и др.) оказался негативным вследствие перечисленных факторов. Развитие этих технологий требует значительных финансовых инвестиций и длительного периода перестройки экономики. Достаточно отметить, что 2,5-кратное увеличение доли отходов, подвергающихся повторному использованию, потребовало в Евросоюзе около **15 лет.**

**Селективный сбор** выделение вторичных ресурсов как технологии основываются на выборе как приоритета их **материальной ценности**. При этом не используется **энергетический ресурс** бытовых отходов. Развитие технологий сжигания ТБО, возможность использования отходов для экономически выгодного производства тепло- и электро-энергии делают такой подход в настоящее время экономически и экологически неэффективным.

Представляется целесообразным, что с учетом возможностей использования ТБО как вторичного энергетического ресурса, следует ограничиться организацией сбора (можно сказать – «целевого сбора») только тех вторичных ресурсов (стеклянные бутылки, металлические банки), которые востребованы и переработка которых экономически выгодна, не требует значительных энергетических затрат и не наносит экологического вреда.

## **12.5. Вторичная переработка отходов**

Вторичная переработка ("рециклинг") не просто сохраняет место на свалках, но и улучшает эффективность мусоросжигания путем удаления из общего потока отходов несгораемых материалов.

### ***Вторсырье в составе ТБО***

**Стекло** обычно перерабатывают путем измельчения и переплавки (желательно, чтобы исходное стекло было одного цвета). Стекланный бой низкого качества после измельчения используется в качестве наполнителя для строительных материалов (например, т.н. «глассфальт»). Во многих российских городах существуют предприятия по отмыванию и повторному использованию стеклянной посуды.

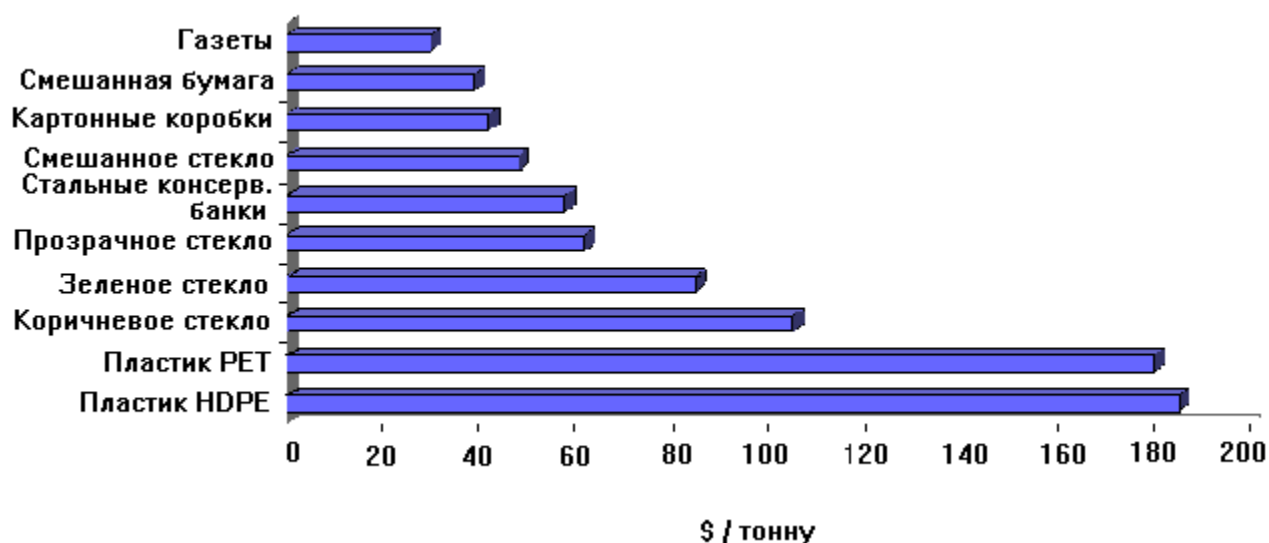
**Стальные и алюминиевые банки** переплавляются с целью получения соответствующего металла. При этом выплавка алюминия из баночек для прохладительных напитков требует только 5% от энергии, необходимой для изготовления того же количества алюминия из руды, и является одним из наиболее выгодных видов «рециклинга».

**Бумажные отходы** различного типа уже многие десятки лет применяют наряду с обычной целлюлозой для изготовления пульпы – сырья для бумаги. Из смешанных или низкокачественных бумажных отходов можно изготавливать туалетную или оберточную бумагу и картон.

**Переработка пластика** в целом – более дорогой и сложный процесс. Из некоторых видов пластика (например, PET – двух- и трехлитровые прозрачные бутылки для прохладительных

напитков) можно получать высококачественный пластик тех же свойств, другие (например, ПВХ) после переработки могут быть использованы только как строительные материалы.

Стоимость переработки вторсырья из муниципальных отходов на Западе



## 12.6. Компостирование

Компостирование – это технология переработки отходов, основанная на их естественном биоразложении. Наиболее широко компостирование применяется для переработки отходов органического – прежде всего растительного – происхождения, таких как листья, ветки и скошенная трава. Существуют технологии компостирования пищевых отходов, а так же неразделенного потока ТБО.

Компостирование - это биохимический процесс разложения органической части ТБО микроорганизмами. В биохимических реакциях взаимодействуют органический материал, кислород и бактерии, а выделяются углекислый газ, вода и тепло. В результате саморазогрева до 60-65 град.С происходит уничтожение большинства болезнетворных микроорганизмов, яиц гельминтов и личинок мух.

Мусороперерабатывающие заводы работают по технологии аэробного биотермического компостирования, при которой значительная (более 50%) часть ТБО обезвреживается и превращается в компост - ценное органическое удобрение.

По аналогии с прямым мусоросжиганием, технология прямого компостирования ТБО имеет тот же принципиальный недостаток - мало учитывает состав и свойства исходного сырья, чем и объясняется неудовлетворительная работа мусороперерабатывающих заводов и низкое качество готовой продукции.

*Получение и утилизация биогаза*, образующегося при разложении органических компонентов ТБО - чаще всего используется непосредственно на полигонах захоронения (в США, например, имеется около 80 установок по сжиганию метана, получаемого за счет гниения мусора на свалках). Вместе с тем в Германии и Японии разработана технология получения биогаза из органической фракции, выделенной из ТБО при их обогащении на специальных заводах. По-видимому, возможность применения анаэробной ферментации органической фракции ТБО следует учитывать в тех случаях, когда имеется практическая потребность в биогазе (с учетом его невысокого качества).

К основным преимуществам компостирования можно отнести:

- производство продукта, имеющего частичный рынок сбыта, хотя и ограниченный экологическими требованиями;
- снижение объема отходов, отправляемых на полигон;
- относительно небольшие капиталовложения;
- совместимость с рециклизацией и системами производства топлива из отходов.

Основным недостатком компостирования является получение экологически небезопасного продукта, содержащего вредные вещества, главным образом, тяжёлые металлы, загрязняющие почву. Очистка компоста связана со значительными затратами, а следовательно и удорожанием продукта, а подчас невозможна вообще.

*Опыт показывает, что использование продукта компостирования требует значительного контроля со стороны экологических и санитарно-эпидемиологических служб. Компост может применяться для удобрения древесно-кустарниковой растительности, парков, газонов, но не для удобрения культур, используемых в пищу.*

## 12.7. Термические методы

Сжигание исходных отходов хотя и является простым и универсальным методом утилизации отходов, но имеет массу недостатков главный из которых, большой остаток *шлака*, высокий уровень образования *диоксинов и кислых газов*, которые выделяются на стадии газификации и ведут к загрязнению атмосферы из-за большой влажности при большой доле (выше 40 %) пищевых отходов. По этим, причинам на практике температура в топке не превышает 550 °С.

### 12.7.1. Мусоросжигание.

*Преимущества* - мусоросжигание уменьшает объем отходов, попадающих на свалки и может использоваться для производства электроэнергии. Хотя сжигание всех отходов без разбора – это технология прошлого. Сжигание требует предварительной обработки ТБО. При разделении из ТБО стараются удалить крупные объекты, металлы (как магнитные так и немагнитные) и дополнительно его измельчить. Для того, чтобы уменьшить вредные выбросы из отходов, также извлекают батарейки и аккумуляторы, пластик, листья.

– Объем отходов сокращается до 5%, а вес – до 25% от начального объема. Таким образом, снижается потребность в площадях для захоронения.

– Современные установки позволяют утилизировать до 80% запаса энергии в отходах.

– Одна тонна несортированного бытового мусора по теплотворности соответствует ¼ т мазута.

– После сжигания отходов прекращается выброс в атмосферу метана, образующегося на свалках и являющегося причиной парникового эффекта в 20 раз более значительной, чем двуокись углерода.

– Отходы сжигания могут быть использованы при производстве строительных материалов; отходы сжигания органических веществ можно использовать в качестве удобрения

Сжигание неразделенного потока отходов в настоящее время считается **чрезвычайно опасным**.

На всех мусоросжигательных заводах обеспечивается утилизация тепла и извлечение черного металлолома. В процессе сгорания ТБО на мусоросжигательном заводе наряду с дымовыми газами образуются еще два вида отходов: *шлак и зола*. Важной задачей при эксплуатации мусоросжигательных заводов является утилизация или захоронение токсичных золы и шлака, масса которых составляет до 30% сухой массы ТБО и которая в силу своих физических и химических свойств не может быть захоронена на обычных свалках. Для



безопасного захоронения золы применяются специальные хранилища с контролем и очисткой стоков.

Главный недостаток мусоросжигательных заводов - трудность очистки выходящих в атмосферу газов от вредных примесей, особенно от *диоксинови* оксидов азота.

На мусоросжигательных заводах, где используется одноступенчатая схема очистки газов, что не позволяет реализовать их полную очистку и может вызвать загрязнение воздушного бассейна. В настоящее время разрабатываются технологии более глубокой очистки газов.

Современные мусоросжигательные установки, оборудованные системами очистки выбросов, генераторами электроэнергии и используемые в комбинации с другими методами утилизации ТБО могут помочь справиться с потоком мусора, особенно в плотно населенных областях.

### **12.7.2 Пиролиз**

Пиролиз –термохимический процесс, в котором происходит разложение органической части отходов и получение полезных продуктов под действием высокой температуры в специальных реакторах.

Пиролиз позволяет ликвидировать твердые и пастообразные отходы без их предварительной подготовки. Очень важно и то, что этот метод позволяет ликвидировать отходы с повышенной влажностью, отходы «неудобные» для сжигания, в том числе –различные углеводородные материалы. Другое преимущество особенно высокотемпературного пиролиза–это получение горючего-газа, который может использоваться как топливо. Но и для этих производств существует диоксиновая опасность.

### **12.8.Захоронение .**

Сложившаяся в Российской Федерации система обезвреживания ТБО основана на древнейшем способе уничтожения мусора - на захоронении подавляющего большинства отходов (около 98%) на полигонах и неорганизованных свалках. В ситуации отсутствия оборудованных полигонов, соответствующих санитарно-гигиеническим требованиям, ТБО городов депонируются на свалках, которые представляют серьезную опасность, так как существенно влияют на все компоненты окружающей среды и являются мощным загрязнителем атмосферного воздуха, почвы и грунтовых вод ввиду протекания в их теле непредсказуемых физико-химических и биохимических процессов.

Положение усугубляется тем, что из-за отсутствия отдельного сбора ТБО в общий контейнер, а нередко рядом с ним, вместе с бумагой, полимерной, стеклянной и металлической тарой, пищевыми отходами выбрасываются лекарства с просроченным сроком годности, разбитые ртутьсодержащие термометры и люминесцентные лампы, тара с остатками ядохимикатов.

**Захоронение ТБО на полигонах** продолжает оставаться необходимым для отходов, не поддающихся вторичной переработке, несгораемых или сгорающих с выделением токсичных веществ.

Полигон по захоронению отходов представляет собой сложнейшую систему. Современные «санитарные» полигоны, отвечающие экологическим требованиям, мало напоминают знакомые нам свалки: они представляют собой сложнейшие инженерные сооружения, оборудованные системами борьбы с загрязнениями воды и воздуха, использующие образующийся в процессе гниения мусора метан для производства тепла и электроэнергии.

### **Захоронение ТБО на санкционированных свалках.**

*Недостатки складирования ТБО на свалках:* большая потребная площадь земли, сложность организации новых свалок в связи с отсутствием свободных земельных участков,

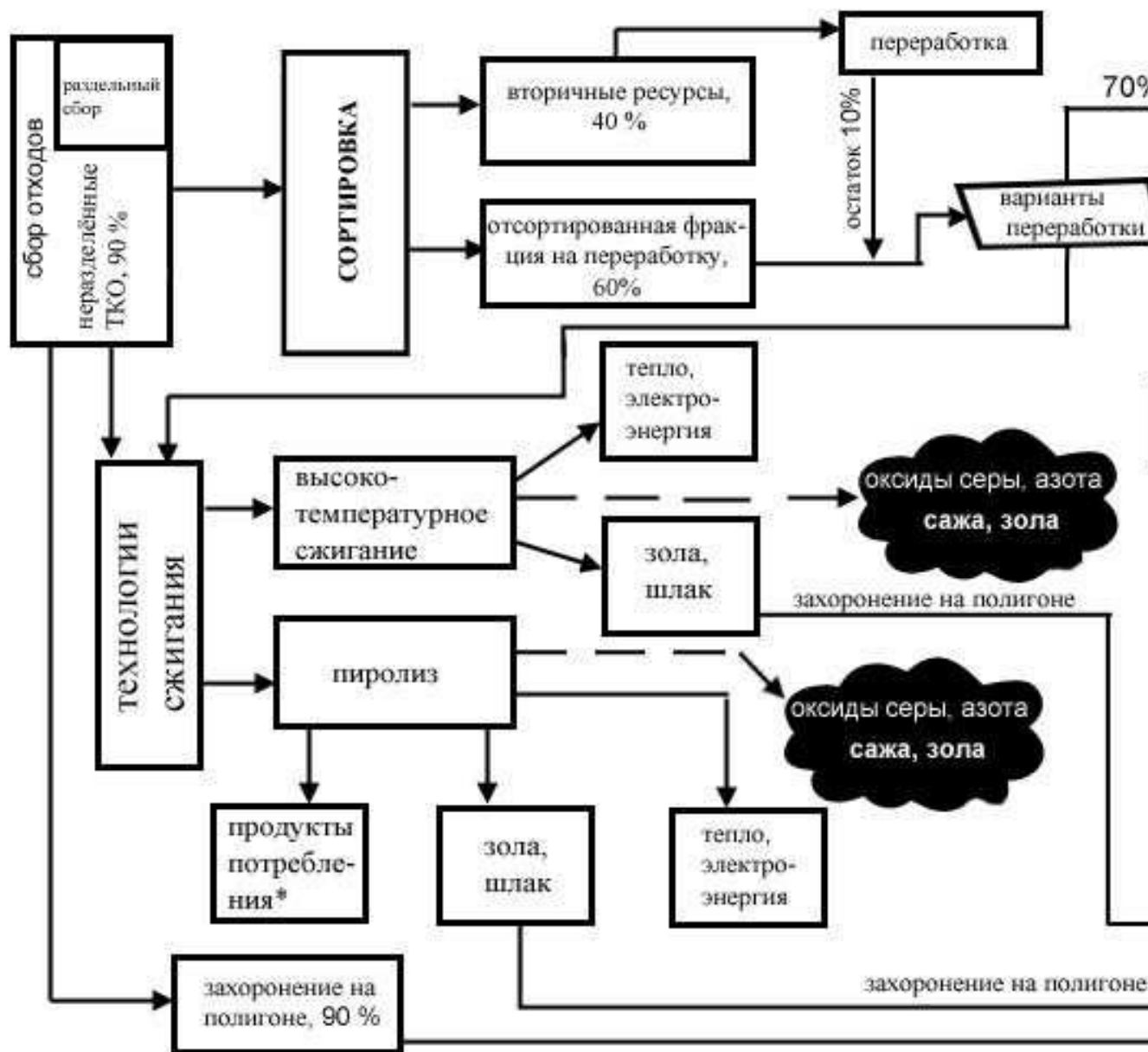
значительные затраты на транспортировку ТБО, потеря ценных компонентов ТБО, экологическая опасность (загрязнение грунтовых вод и атмосферы, распространение неприятных запахов, потенциальная опасность в отношении пожаров и распространения инфекций и пр.).

При недостатке кислорода органические отходы на свалке подвергаются анаэробному брожению, что приводит к формированию смеси метана и угарного газа (т.н. «свалочного газа»). В недрах свалки также формируется весьма токсичная жидкость («фильтрат»), попадание которой в водоемы или в подземные воды крайне нежелательно.

Наиболее опасным фактором воздействия объектов размещения отходов на окружающую среду считается фильтрат, формирующийся в теле свалки при взаимодействии отходов с инфильтрующимися атмосферными осадками и содержащий многочисленные компоненты распада органических и неорганических веществ, токсичных соединений, различных групп микроорганизмов, в том числе патогенных.

Эксплуатация необустроенных свалок, не имеющих элементарных природоохранных сооружений – гидрозашитных экранов, систем сбора и контроля фильтра и т.д., с социальной точки зрения – **противопоказана и противозаконна**, с природоохранительной – **опасна**.

## **СВОДНЫЙ АНАЛИЗ ОСНОВНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПО ПЕРЕРАБОТКЕ ОТХОДОВ**



\* - имеется в виду остаточный уголь (до 80 кг/т), дёготь и пек (10 л/т), лёгкое масло (6 л/т), сульфат аммиака

\*\* - компост не соответствует экологическим требованиям по причине высокого содержания тяжёлых металлов

## 12.9. Переработка отходов полимеров

Отходы полимеров преимущественно представлены отходами пластмассовой тары, изготовленной из полиэтилентерефталата и полиолефинов – полиэтилена, полипропилена, полистирола. При наличии больших объемов исходного сырья, рассортированного по видам полимеров, отходы пластмассовой тары являются ценным сырьем для получения вторичных пластиков.

Переработка в «флексы» или «дробленку» включает в себя операции дробления, мойки, обезвоживания и сушки. При добавлении операции агломерации получают агломерат, при добавлении процесса грануляции – гранулят, который является готовым вторичным сырьем для производства

пластиков.

Каждый вид вторичных пластиков используется для получения определенных пластмассовых изделий. Так, из отходов полиэтилена высокого давления (ПЭВД) 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 (ПЭНД) перерабатывают в элементы строительных опалубочных конструкций, прокладки, ведра, каркасы светильников, а полипропиленовые отходы – в текстильные шпули, детали сантехники, ручки, ящики.

Одним из существенных моментов при рециклинге полимеров является их способность сохранять свойства в процессе многократной переработки.

Изучение влияния кратности переработки большинства полимеров на их физико-механические свойства показало, что наблюдается некоторое снижение

прочности и ухудшение внешнего вида. Это связано со снижением молекулярной массы пластмасс, разветвленностью их структуры и рядом других показателей. Обычно содержание отходов в смеси с товарным продуктом не должно превышать 20 %, так как в противном случае резко ухудшается глянец изделий, появляется шероховатость поверхности.

Осуществить переработку смеси пластмассовых отходов без предварительного разделения позволяет технология переработки отходов пластиков с получением композиционных полимернаполненных изделий.

Такой способ утилизации является наиболее дешевым и позволяет осуществить

вторичную переработку пластиков там, где невозможно собрать промышленные объемы качественного сырья, рассортированного по видам.

Процесс не требует мойки и состоит из следующих основных операций:

- две стадии дробления;
- смешивание с красителями и с инертными наполнителями (песок, дезинтегрированные отходы стекла, картона и древесины);
- экструзионное формование полимернаполненных изделий.

Получаемые изделия – водостойкие строительно-отделочные материалы с

высокими эстетическими и потребительскими свойствами: черепица, облицовочная плитка, тротуарная плитка, а также другие изделия народно-хозяйственного использования.

## МЕТОДЫ ОБЕЗВРЕЖИВАНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ

### ОТХОДОВ

#### 1 КЛАССИФИКАЦИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ

Классификация промышленных отходов (ПО), образующихся в результате производственной деятельности человека, необходима как средство установления определенных связей между ними с целью определения оптимальных путей их использования или обезвреживания.

**Классификация возможна по разным показателям, но самым главным из них является степень опасности для человеческого здоровья.** Вредными отходами, например, считаются токсичные, инфекционные и радиоактивные. Их сбор и ликвидация регламентируется специальными санитарными правилами.

Согласно ГОСТ 12.1.007-76 «Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности» все ПО делятся на 4 класса опасности:

I – чрезвычайно опасные;

II – высоко опасные;

III – умеренно опасные;

IV – мало опасные.

Примеры:

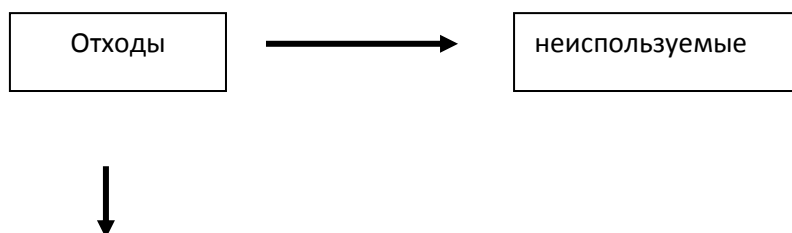
I – отходы, содержащие Hg, HgCl<sub>2</sub>, K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>, SbCl<sub>3</sub>, бенз(а) пирен, As<sub>2</sub>O<sub>5</sub>;

II – CuCl<sub>2</sub>, NiCl<sub>2</sub>, Sb<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Pb(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>;

III – CuSO<sub>4</sub>, CuCrO<sub>4</sub>, PbO, CCl<sub>4</sub>;

IV – MnSO<sub>4</sub>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, ZnSO<sub>4</sub>, ZnCl<sub>2</sub>.

**Классификация отходов по сфере их использования**



используемые



использованные



неиспользованные

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

**По агрегатному состоянию** различают отходы твердые, жидкие и газообразные. **По месту возникновения** отходы подразделяют на бытовые, промышленные и сельскохозяйственные.

**По составу** основным показателем можно считать происхождение отходов - органическое или неорганическое, а также сжигаемые отходы или нет. Особую группу представляют собой отходы в виде энергии, называемые энергетическими (тепло, шум, радиоактивное излучение).

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 является целью производственного процесса и которые в дальнейшем могут быть использованы как готовая продукция после соответствующей обработки или в качестве сырья для переработки.

**Отходами потребления** считаются различного рода изделия детали и материалы, которые по тем или иным 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 являются пищевые отходы, изношенные изделия бытового назначения (одежда, обувь и др.), различного рода использованные изделия (упаковки, стеклянная и другие виды тары), бытовые сточные воды и прочее.

Все виды отходов производства и потребления можно разделить **на вторичные материальные ресурсы (ВМР)**, которые уже перерабатываются или переработка которых планируется, и 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 соответствующее оборудование и технологию. Неутилизируемые отходы в силу потери потребительских свойств в настоящее время не могут найти применения в современном производстве. Они захораниваются, если не представляют опасности для окружающей среды (ОС).

В случае опасности с санитарно-гигиенической точки зрения отходы могут захораниваться только после их предварительного обезвреживания.

В настоящее время в РФ и за рубежом нет единой классификации отходов крупного промышленного региона или города, в котором наиболее полно рассматривался бы ряд взаимосвязанных элементов: количественный и качественный состав отходов, применяемые и предполагаемые методы обработки, санитарно-гигиенические, экологические и градостроительные аспекты.

## **2 СПОСОБЫ ОБЕЗВРЕЖИВАНИЯ ПО**

### **2.1 ОБЕЗВРЕЖИВАНИЕ ПО НА СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ ПОЛИГОНАХ**

Процесс обезвреживания ПО рассматривается на примере полигона «Красный бор» (Ленинградская область).

До начала строительства санэпидстанции были собраны сведения о промышленных отходах предприятий г. Санкт-Петербурга, подлежащих вывозу на полигон (наибольшую долю – 63% составили жидкие отходы: щелочные растворы – 5,6%, отходы гальванических цехов – 8,7%, водные растворы органических соединений – 10,3%, отходы кожевенного производства – 8,95%). Твердые отходы составили – 31% (обрезь, стружка кожа –14,8%, мусор –7,8%, отходы первичной обработки кожи –5,4%, тряпье – 4%).

Полученные данные были положены в основу проекта полигона, в том числе размера полигона и выбора технологии. Часть перечисленных отходов – кожевенные отходы, мусор, тряпье – на полигон не поступает. Не принимаются отходы, которые могут быть использованы или регенерированы – древесные опилки, стружка, шлаки.

Площадка (1950 г) для захоронения промышленных отходов выбрана в Тосненском районе вблизи г. Колпина. Участок удовлетворяет следующим требованиям:

- не затопляется паводковыми водами;
- отсутствуют используемые для водоснабжения водоемы и водоносные горизонты;
- вблизи поверхности расположены водоупорные грунты.



Предварительно предприятия заключает договор с полигоном. Районные СЭС контролируют заключение договоров. Промышленные отходы предприятия доставляют своим автотранспортом.

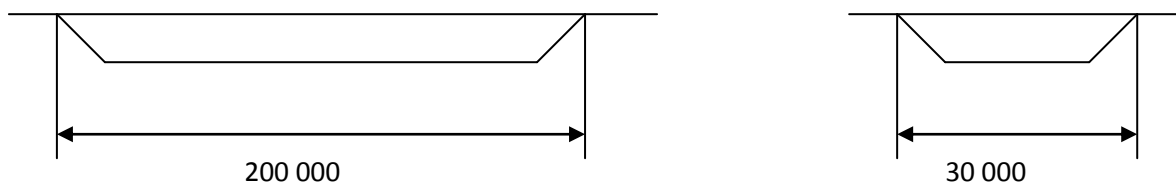
«Правилами по транспортировке и сдаче отходов» регламентируются отходы, поступающие на полигон (IV категории):

- I – промышленные отходы, содержащие неорганические соединения;
- II – негорючие промышленные отходы, содержащие органические соединения;
- III – горючие промышленные отходы, содержащие органические соединения;
- IV – особо вредные отходы.

На полигон отходы доставляют с паспортом, являющимся технологическим и финансовым документом. На весовой полигона машину взвешивают и отбирают пробы для анализа.

**На полигоне осуществлялось обезвреживание промышленных отходов методом захоронения и нейтрализации.**

Захоронение отходов осуществляется в толще кембрийской глины в специальных котлованах.

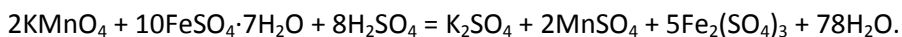
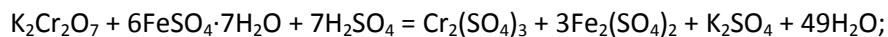


$$H = 12000$$

Однако кембрийская глина тонет в отходах и вытесняет их на поверхность. Поэтому были разработаны другие технологии обезвреживания отходов групп I и II: обезвреживание жидких промышленных отходов химической нейтрализацией и обезвреживание жидких негорючих промышленных отходов, содержащих органические соединения.

**Обезвреживание отходов I категории.** Процесс протекает в 4 стадии, осуществляется последовательно в 4-х котлованах размерами 50x26x12. Между котлованами оставляют перемишки шириной 4 м. Площадь, занимаемая каскадом котлованов 5000 м<sup>2</sup>. За год нейтрализуется и захоранивается 1400 т жидких неорганических отходов.

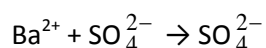
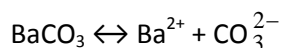
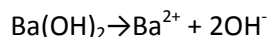
В первый котлован поступают слабокислые промышленные отходы, здесь вследствие образования многокомпонентных систем происходят процессы осаждения. Затем жидкость, содержащую раствор солей металлов, переливают по трубам во второй котлован, где происходят окислительно-восстановительные реакции (ОВР):



Реакции протекают в кислой среде с  $\text{pH}=4$ ; в качестве восстановителя  $\text{Cr}^{+6}$  и  $\text{Mn}^{+7}$  используется  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ .

В конце ОВР слабокислая среда изменяется на нейтральную. В этот момент образуются осадки  $\text{Zn}_3(\text{PO}_4)_2$ ,  $\text{FePO}_4$ ,  $\text{AlPO}_4$ ,  $\text{CrPO}_4$ ,  $\text{NiPO}_4$ .

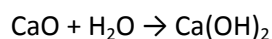
Во второй котлован добавляют баритовые воды (шлам от производства  $\text{BaS}$ ), имеющие щелочную реакцию и содержащие  $\text{Ba}(\text{OH})_2$  и  $\text{BaCO}_3$ . Конечный продукт – осадок сульфата бария  $\text{BaSO}_4$ .

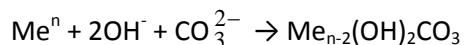
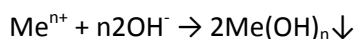
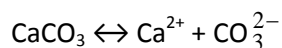
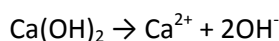


Концентрация сульфат-ионов  $\text{SO}_4^{2-}$  снижается до ПДК = 500 мг/л. Отсутствие  $\text{Cr}^{+6}$ ,  $\text{Mn}^{+7}$  проверяют в лаборатории.

Затем очищенная жидкость поступает в III котлован, где осаждаются гидроксиды металлов  $\text{Me}(\text{OH})_n$ . Осаждение гидроксидов происходит в щелочной среде с  $\text{pH} = 10 \dots 11$ . Осаждение осуществляется отходами карбидного ила,  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ .

При достижении  $\text{pH}=8,5 \dots 9,5$  практически полностью осаждаются  $\text{Fe}(\text{OH})_2$ ,  $\text{Ni}(\text{OH})_2$ ,  $\text{Cr}(\text{OH})_3$ ,  $\text{Co}(\text{OH})_2$ ,  $\text{Cd}(\text{OH})_2$ ,  $\text{Cu}(\text{OH})_2$ .





Содержащееся в растворах жидкое стекло  $\text{Me}_2\text{O} \cdot m\text{SiO}_2$  ускоряет процессы коагуляции и уплотнение осадков гидроксидов металлов.

Обезвреженная жидкость поступает в IV котлован и остается в нем. Осветленный слой жидкости насосом подается на испарение.

По мере заполнения III котлован засыпают кембрийской глиной, слоем почвы, на который высаживают деревья и кустарники. Первый котлован становится вторым, второй – третьим, а для первого роют новый. Основная масса отходов (90%) в виде обезвреженной и осветленной жидкой фазы испаряется.

**Обезвреживание отходов II категории.** Существуют способы удаления жидких отходов путем закачки в подземные горизонты через специальные скважины; но такой вид захоронения связан с большими трудностями. Необходимо специальное оборудование, стоки должны быть очищены от осадка, шлама, механических примесей.

По проекту предполагалось захоранивать отходы смешением с сырой неизмельченной глиной. Но такой способ не эффективен. Объем жидкости составляет 10% от объема котлована. Поэтому осуществлялся поиск загустителя для захоронения этих отходов.

Были опробованы сухая измельченная глина, отходы кожевенного производства, опилки, такие пористые материалы как: отсепарированная земля, баритовые шлаки, известковая крошка. Наилучшие результаты были достигнуты при использовании пылеуноса производства керамзита и цемента.

Прием и захоронение жидких отходов заключается в следующем: жидкие промышленные отходы, содержащие 90% воды, из автотранспорта заливают в котлован по лоткам через шланг. Одновременно с жидкими отходами принимают сыпучие тонкодисперсные промышленные отходы, которые привозят в цементовозах. Сыпучие отходы по шлангу под напором подают в жидкие  $V_{\text{ж}} : 2V_{\text{т}}$ . Образовавшуюся массу закрывают 3-х метровым слоем кембрийской глины и растительным грунтом, высаживают растительность.

**Обезвреживание отходов III категории.** Захоронение производят совместно с жидкими отходами, содержащими органические соединения, на глубине до 12 м. Обеспечивается надежность обезвреживания, снижение материальных затрат и уменьшение занятых земельных площадей.

**Обезвреживание отходов IV категории.** К ним относятся отходы, содержащие чрезвычайно опасные вредные вещества. Сюда, например, относятся ртутные люминесцентные лампы. Особо вредные промышленные отходы принимают в герметичных металлических контейнерах с паспортом и двумя актами – на герметичность контейнера и сами отходы. Контейнеры автокраном опускают на дно котлована, отведенного для захоронения особо вредных отходов. Каждый контейнер со всех сторон засыпают полуметровым изолирующим слоем глины. Сверху располагают следующий ряд контейнеров. Объемы таких отходов невелики, и котлованы для их захоронения имеют меньшие размеры 10х4 (внизу) 18х12 (вверху), глубина 4 м. Котлован засыпают глиной и высаживают растительность.

## 2.2 ЗАХОРОНЕНИЕ ПО

### 2.2.1 МЕТОД ФИКСАЦИИ И ЗАКЛЮЧЕНИЯ ОТХОДОВ В КАПСУЛЫ

**Фиксацией отходов** называется метод ограничения подвижности загрязнителей в отходах в результате уменьшения их растворимости или ограничения поверхности контакта с растворителями (например, водой). Заключение в капсулы представляет собой обволакивание отдельных блоков отходов непроницаемыми мембранами для ограничения контакта с растворителями. Понятия фиксация и отверждение отходов взаимозаменяемы, хотя отверждение предполагает превращение жидких отходов в твердые. При этом улучшаются физические характеристики отходов, что важно для упрощения обращения с отходами и их транспортировки. Если фиксация обеспечивает уменьшение подвижности загрязнителей в такой степени, что исключается серьезная опасность для окружающей среды, такие отходы могут рассматриваться как неопасные и размещаться на обычных свалках.

**Фиксация с помощью цемента.** Использование цемента для фиксации отходов является в настоящее время наиболее распространенным методом. Эта технология хорошо отработана, материал доступен и недорог. Фиксация с помощью цемента применяется для отходов, содержащих воду, которая необходима для реакции цементирования. При правильном

приготовлении твердые продукты обладают относительно низкой проницаемостью и высоким сопротивлением сжатию, хотя и не в такой мере, как бетон. Недостатком фиксации с помощью цемента является увеличение объема отходов и возможная коррозия цемента при низких значениях pH.

Этот метод используется преимущественно для неорганических отходов, особенно тяжелых металлов. Он широко применяется для фиксации радиоактивных отходов, осадков сточных вод предприятий финишной обработки и плакирования металлов, отходов электронной промышленности и ила, получаемого в процессе очистки сернистых газов. При характерно высоких для цементных смесей значениях pH (от 9 до 11) тяжелые металлы осаждаются в виде гидроксидных, карбонатных или силикатных соединений. Минимум растворимости для многих гидроксидов металлов, таких как: гидроксиды кадмия, меди, свинца, никеля и цинка, – наблюдается при pH от 9 до 11. Процесс фиксации с помощью цемента обычно мало зависит от химических характеристик материалов. Цемент обычно позволяет уменьшить растворимость веществ, но не ограничивает контакт с водой, поскольку пористость может быть достаточно большой (> 35%). Загрязнители, которые не уменьшают своей растворимости при фиксации в цементе, могут легко вымываться.

Для повышения степени фиксации тяжелых металлов в цемент часто добавляют растворимые силикаты. Для увеличения pH может быть также добавлен известняк. В Японии для фиксации отходов производства соды, которые содержат ртуть, весьма успешно используется портландцемент. При этом в цемент добавляется сульфид натрия.

**Фиксация с помощью извести и известковых смесей.** При этом известь реагирует с мелко раздробленным кремнеземом и водой при температуре окружающей среды. Источником кремнезема могут служить вулканическая зола, обожженная глина, гранулированный металлургический шлак и кремнеземистые грунты. Процессы фиксации с помощью извести особенно эффективны для неорганических отходов, в частности для тяжелых металлов. Фиксированные продукты ведут себя аналогично продуктам фиксации с помощью портландцемента. При типично высоких значениях pH таких материалов тяжелые металлы осаждаются в виде гидроксидных или карбонатных соединений и фиксируются в отвердевших блоках.

**Фиксацию в термопластические материалы** можно рассматривать как технику заключения отдельных частиц отходов в непроницаемые оболочки, такие как асфальт или полимерные материалы (например, полиэтилен). Процесс фиксации заключается в перемешивании сухих отходов с расплавленным пластическим материалом, после чего смесь охлаждается и затвердевает. Пластический материал не только обволакивает отдельные частицы

отходов, но и заполняет пустоты между ними, что предотвращает проникновение растворителей в продукт фиксации. Один из вариантов технологии фиксации заключается в перемешивании влажного ила с асфальтовой эмульсией и последующим нагреванием для испарения воды. В окончательном продукте обычно содержится 25 – 50% отходов (сухого вещества), остальное – материал фиксации.

Термопластическая фиксация обычно представляет собой механическую изоляцию загрязнителей, а не их химическое связывание. Она является весьма эффективным средством уменьшения подвижности широкого ряда загрязнителей. Растворители, обезвоженные соли, сильные окислители и термически неустойчивые отходы не могут фиксироваться таким образом.

Достоинствами техники термопластической фиксации являются: значительное уменьшение скорости вымывания легко растворимых компонентов, возможное уменьшение объема, уменьшение поверхности вымывания, поскольку вода не может проникнуть внутрь фиксированного объема. Недостатки связаны с высокими затратами, необходимостью использовать более сложное оборудование, чем при фиксации в цемент или известняк, опасностью пожара и потребностью в больших количествах энергии для подсушивания влажных отходов, а также выделением при нагревании токсичных газов.

***Для фиксации с использованием мономеров высокомолекулярных соединений (ВМС)*** готовится смесь отходов с соответствующими смолами или мономерами, затем вводится катализатор, который обеспечивает полимеризацию и создание объема фиксированного материала. Отходы обычно химически не связываются с полимером. Происходит обволакивание частиц отходов, как в случае применения термопластических материалов. Для обработки отходов обычно используются формальдегидные, виниловые и полиэфирные соединения. Этот процесс может применяться для влажных и жидких отходов, но тогда необходимо использовать эмульгированную полиэфирную смолу и пероксидный катализатор для получения твердого монолита, состоящего из капель отходов, заключенных в полиэфирные оболочки. Сообщается, что монолит обладает сопротивлением на сжатие на уровне бетона.

Достоинства метода фиксации отходов с помощью полимерных органических материалов обусловлены относительно высоким отношением количества отходов к количеству фиксирующего материала, меньшим, чем при использовании цемента, удельным весом и низкой температурой процесса. К недостаткам относятся также возможность появления ядовитых паров в процессе полимеризации и необходимость использования специальных покрытий для емкости перемешивания в связи с коррозионной активностью катализаторов.

Использование формальдегидных смол требует малых значений pH, что обычно приводит к увеличению растворимости тяжелых металлов. Такие смолы дают усадку при старении и выделяют свободную воду.

**Техника поверхностного обволакивания** связана с заключением монолитного объема отходов в термопластический материал, например полиэтилен, исключающий контакт отходов с вымывающими растворителями. Эта технология менее трудоемка, чем технология перемешивания отходов с термопластическим материалом, однако появление трещин в покрытии приводит к быстрому вымыванию загрязнителей.

**Фиксация в стекле** первоначально была разработана для радиоактивных отходов, для которых стремились получить очень малые скорости вымывания. Водные растворы, содержащие ионы радиоактивных металлов, обычно высушиваются, кальцинируются, перемешиваются со стеклообразующими материалами, такими как кремнезем и бура, а затем обжигаются при высокой температуре для образования стекла. Такие стеклообразные массы обеспечивают скорости вымывания на несколько порядков меньше, чем смеси отходов с термопластическими материалами. Недостаток фиксации в стекле связан с большими затратами на организацию и проведение процесса.

### 2.2.2 ЗАХОРОНЕНИЕ В ГЛУБОКИХ СКВАЖИНАХ

В течение последних десятилетий возникали серьезные дискуссии относительно захоронения отходов в глубоких подземных скважинах. Критика закачки опасных отходов в глубокие скважины сводится к предположению, что дальнейшая судьба таких отходов неизвестна. Некоторые критики весьма обеспокоены тем, что канцерогенные, мутагенные и другие химические вещества мигрируют под поверхностью земли. Сторонники глубоких скважин утверждают, что перемещение жидкости в таких глубоких слоях обычно измеряется десятками сантиметров в год, т.е. миграция пренебрежимо мала.

Типичная скважина состоит из нескольких труб (рис. 1).

*Внешняя оболочка* – это труба, опускающаяся сверху и оканчивающаяся приблизительно на 60 м ниже основания водоносного слоя. Она цементируется на месте к грунту и внутри. Эта труба защищает чистую воду от загрязнений.

*Защитная оболочка* – это труба, опускающаяся с поверхности до места чуть выше или чуть ниже зоны закачки, в зависимости от типа завершения скважины. Она также цементируется к внешней и внутренней поверхности, защищает слои выше зоны закачки отходов.

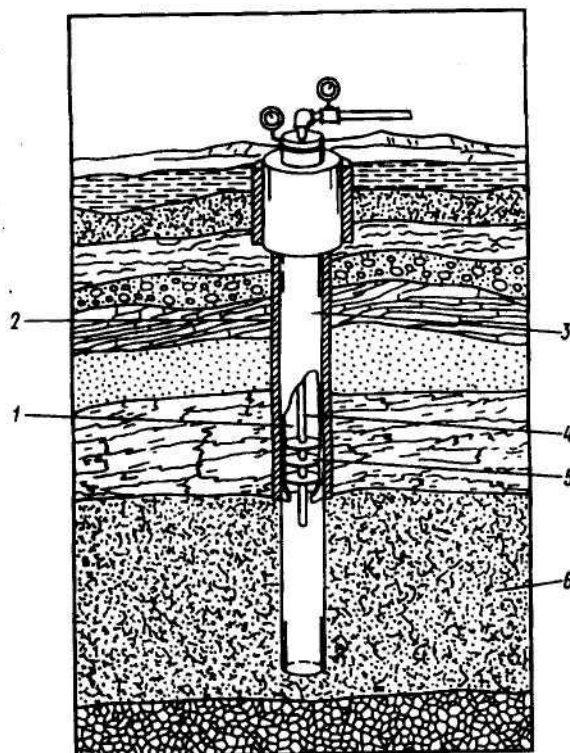


Рис.1. – Схема скважины для закачки отходов

1 – инертная жидкость; 2 – внешнее цементирование; 3 – защитная труба; 4 – труба для закачки; 5 – уплотнители; 6 – зона закачки.

*Труба для закачки* – по ней жидкие отходы подаются в зону закачки. Она всегда имеет заглушку в устье скважины и клапан чуть выше зоны закачки.

Пространство между защитной оболочкой и трубой для закачки заполняется неагрессивной жидкостью, которая находится под давлением, превышающим давление закачки приблизительно на 350 Па. Более высокое давление между трубами исключает попадание жидких отходов в это пространство.

Если скважина завершается в песчаном слое, то для завершения зоны закачки должна использоваться набивка из гравия. Если скважина завершается в известняковом слое, то для завершения возможно использование открытого отверстия или перфорации.

*Требования к качеству закачиваемых жидких отходов.* Пригодность отходов для подземной закачки зависит от их объема, физических и химических характеристик, материала и



жидкостей зоны закачки. Сточные воды, которые наиболее пригодны для закачки, должны обладать: 1) малым объемом и высокой концентрацией; 2) трудно поддаваться переработке другими способами; 3) не вступать в нежелательные реакции с жидкостями или материалом слоя закачки; 4) не содержать взвешенных твердых частиц; 5) не обладать коррозионной активностью.

Поскольку захоронение в подземные слои сводится к использованию ограниченного пространства, то для этой цели пригодны только концентрированные, весьма нежелательные и относительно безопасные отходы. Жидкости, закачиваемые в глубокие слои, заполняют не пустые пространства и поры, а вытесняют жидкости, которые насыщают эти слои. Вытесненные жидкости часто бывают загрязнены (обладают высокой соленостью) и могут мигрировать в водоносные слои чистой воды. Разумное использование подземного пространства возможно только в тех случаях, когда не существует других удовлетворительных методов переработки отходов.

Весьма важный фактор – взаимодействие закачиваемых сточных вод с материалом или жидкостью слоя. В результате может произойти растворение геологических образований, образование газов, опускание отдельных участков, закупоривание пор из-за роста биологических организмов. Ряд специалистов предлагают проводить предварительные лабораторные исследования совместимости жидких отходов и материала пласта. Отходы могут быть смешаны в термостате с образцами материала пласта и выдержаны при температуре, соответствующей глубине залегания пласта, для выявления нежелательных реакций. Прокачка отходов через стержни, изготовленные из материала пласта, может выявить возможность возникновения закупорки. Низкая коррозионная активность отходов позволяет избежать повышенного износа труб и насосов.

*Выбор мест размещения глубоких скважин для подземного захоронения жидких отходов должен осуществляться с большой тщательностью. Пригодность конкретного места должна быть определена с помощью детального геологического изучения подземного пространства. Однако геологические условия района могут служить лишь ориентиром при выявлении общей применимости отдельных участков.*

Непригодны для подземной закачки жидких отходов, например, плотные породы вулканического происхождения, залегающие очень близко к поверхности земли. Подобные породы не обладают достаточной пористостью или проницаемостью. Районы со значительным количеством выдавленных слоев вулканического происхождения также не пригодны для захоронения. Хотя такие породы имеют пористую структуру, они обычно содержат чистую воду.

Окончательная оценка площадок под скважины обычно осуществляется в два этапа. Первый этап – потенциальная оценка площадки на основе имеющихся данных; на втором этапе

проводится более детальная оценка подземных условий на основе данных бурения опытных скважин.

На первом этапе оценивают протяженность слоя, толщину, глубину, пористость, проницаемость, температуру, качество воды, а также пьезометрическое давление в предполагаемой зоне закачки. Наличие непроницаемого основания или изменения свойств пород в горизонтальном направлении, наличие провалов или разломов, а также присутствие любых минеральных ресурсов должно приниматься во внимание. Существующие скважины в районе, которые могут оказаться в возможной зоне закачки, должны быть выявлены, поскольку жидкие отходы могут просачиваться через них, если они плохо заглушены.

Вторая фаза исследований завершается после бурения и испытания скважины. Часто выбор зоны закачки осуществляется после того, как скважина пробурена и проведены пробы ряда зон, включая оценку химических свойств содержащихся в них вод. Проводятся пробные закачки для измерения проницаемости пород. Определяются другие характеристики пород с использованием геологических методов или при лабораторных исследованиях на образцах. Результаты геологических исследований используются не только для оценки целесообразности подземной закачки отходов, но и для создания базы данных, необходимых для сооружения скважины и выбора оптимальных параметров закачки. К отходам могут предъявляться различные требования с точки зрения горизонтального или вертикального перемещения. Например, химически устойчивые отходы небольшой концентрации достаточно закачать в пласт, а дальше они будут растворены значительным количеством постоянно циркулирующих грунтовых вод. Однако химически неустойчивые отходы должны определенное время, необходимое для завершения реакции, выдерживаться в зоне закачки, например, отходы высокой концентрации.

Для выбора зоны закачки была предложена следующая классификация.

*Зона значительной циркуляции* распространяется от поверхности земли на несколько десятков метров вглубь. Закачка в таких зонах обычно не рекомендуется.

*Зона замедленной циркуляции* обычно содержит чистую воду, которая находится в состоянии свободной циркуляции, однако время завершения цикла меняется от нескольких десятилетий до нескольких столетий. Имеется положительный опыт закачки относительно безвредных сточных вод в такие зоны. За ними ведется соответствующее наблюдение.

*Подзоны латаргического движения*, в них природная жидкость обычно является соленой и находится в состоянии очень медленного движения, характеризующегося столетиями или даже тысячелетиями. Такие зоны предпочтительны для захоронения относительно концентрированных отходов.

*Зоны застоя*, за редким исключением, находятся на глубине нескольких тысяч футов и содержат изолированные объемы жидкости. Они подходят для закачки очень токсичных отходов, однако необходимо тщательно оценивать их способность воспринимать и удерживать закачиваемую жидкость.

*Сухие подзоны* обычно являются селевыми основаниями или куполами, в которых свободная вода почти не содержится. Они могут рассматриваться как практически непроницаемые. Отходы, закачанные в такие зоны, были бы полностью изолированы от природных гидродинамических циркуляций. Однако, поскольку перемещения вод могут происходить через разломы, характеристики сухих подзон в условиях закачки отходов необходимо тщательно анализировать.

*Работа скважин для закачки отходов должна тщательно контролироваться.* Необходимо постоянно следить за давлением и расходом воды для выявления необычных колебаний.

Давление в зазорах между трубами также должно контролироваться. Для того чтобы исключить рост биокультур в захороненных отходах, целесообразно вводить соответствующие добавки. Рекомендуется периодически следить за композицией отходов и жидкости в межтрубном пространстве.

Равномерный темп закачки предпочтителен по сравнению с переменным. Рекомендуемое давление в зоне закачки не должно превышать 1300 – 1700 Па на 1 м глубины и всегда быть не менее 75% критического давления подачи отходов.

Критическое давление подачи жидкости определяется при проведении испытаний скважины, когда определяется зависимость расхода воды от давления.

Давление, при котором происходит резкое изменение угла наклона кривой (рис. 2), называется критическим. При этом давлении происходит гидравлический разлом породы.

*Захоронение в солевые отложения.* Альтернативный метод глубокого захоронения отходов был выявлен как побочный результат исследований по хранению радиоактивных отходов. Предложенный метод основывается на использовании природных солевых отложений (как оснований, так и куполов) для захоронения отвержденных отходов.

Более 30 лет некоторые соляные месторождения использовались для хранения стратегических нефтяных запасов. В последние годы были проведены комплексные исследования по возможности использования таких месторождений в качестве могильников для отходов с высокой радиоактивностью. Сам факт существования столь значительных массивов соли говорит

об отсутствии вод, которые могли бы растворить отходы и перенести их в другие районы. Следовательно, гидрогеологические условия благоприятны для хранения отходов. Соль обладает высокой прочностью на сжатие. Эти характеристики приемлемы для захоронения опасных отходов.

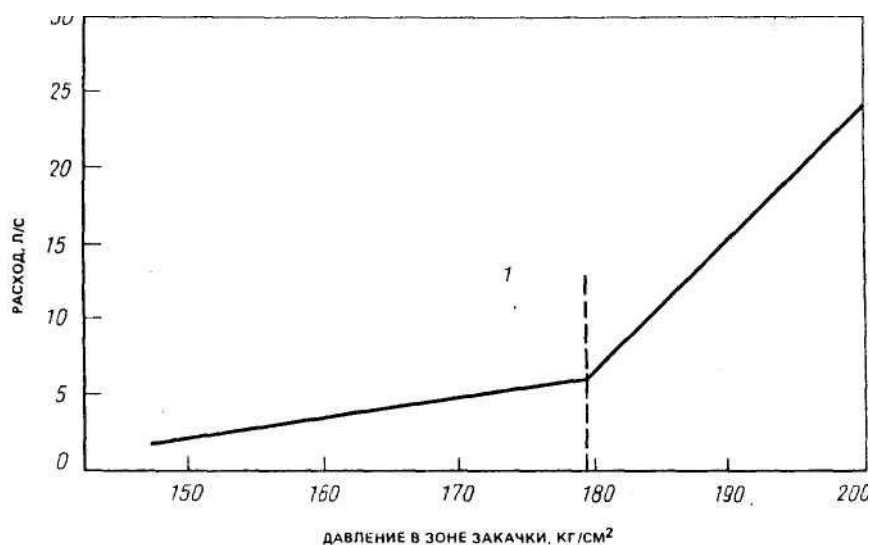


Рис.2. – Опытная зависимость расхода от давления при закачке отходов в глубокую скважину:1 – критическое давление подачи.

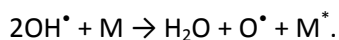
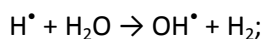
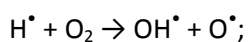
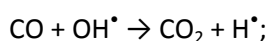
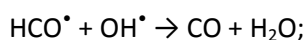
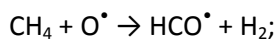
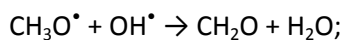
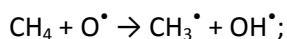
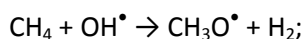
Как было недавно предложено, отходы могут быть размещены в соляных отложениях на глубине 600 – 1500 м. Для этой цели будут пробурены скважины, а затем в них закачана вода для образования каверн за счет растворения (диаметр около 75 м). Затем в эти каверны могут быть закачаны отходы, а скважины заглушены с помощью цементной пробки. Если необходимо, то к отходам может быть добавлен отвердитель, так чтобы весь цилиндр превратился в твердую массу. Таким образом, под поверхностью площадью около 4 тыс. м<sup>2</sup> можно захоронить 110 – 150 тыс. м<sup>3</sup> отходов (в зависимости от типа отвердителя).

## 2.3 МЕТОДЫ ТЕРМИЧЕСКОГО ОБЕЗВРЕЖИВАНИЯ ПО

### 2.3.1 ХИМИЧЕСКИЕ И ФИЗИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССА ГОРЕНИЯ

**Цепная реакция горения.** Знание особенностей процесса горения необходимо для его понимания и обоснования использования различных конструкций для сжигания разных опасных отходов.

Общее стехиометрическое уравнение, которое отражает реакцию горения, редко дает детальное представление о процессе. Несколько реакций могут проходить одновременно или в определенной последовательности в зависимости от природы горящего материала, а также условий, в которых происходит горение, – температуры, давления и наличия кислорода. Окисление метана является примером, показывающим, насколько сложной может быть как будто простая реакция  $\text{CH}_4 + 2\text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$ :



Где М – третий элемент (которым может быть любой атом или молекула в системе, участвующей в реакции, или стенка сосуда), ставший активным, что обозначается звездочкой.

Горение углеводородов, как показано, включает в себя взаимодействие свободных радикалов, таких как:  $\text{CH}_3^\bullet$ ,  $\text{HCO}^\bullet$ ,  $\text{OH}^\bullet$  и др. Реакция прерывается, когда два или более радикалов сталкиваются с третьим элементом М, что приводит к образованию неактивной молекулы.

Таким образом, горение сложных органических веществ может приводить к образованию широкого набора промежуточных соединений, если реакция не может развиваться до завершения. Неполное сгорание опасных органических веществ может давать опасные промежуточные вещества. В реально существующих инсинераторах совершенно полное сгорание достигается весьма редко, но к нему необходимо стремиться, так как полное сгорание обеспечивает минимальное количество нежелательных выбросов.

**Теплота сгорания.** Тепло, выделившееся при полном сгорании 1 моль соединения, определяется как теплота сгорания или более строго как энтальпия сгорания, если горение происходит при постоянном давлении.

Энергия, необходимая для разрыва определенных связей между двумя атомами, является величиной практически постоянной независимо от типа молекулы, которая содержит связанную пару атомов. Различные пары атомов имеют различные типы связей и обладают различным сродством, поэтому энергия для разделения связанных атомов может существенно изменяться.

Приблизительное значение теплоты сгорания органических соединений может быть рассчитано как разница сумм энергетических связей исходных реагентов (вещество плюс кислород) и сумм энергетических связей продуктов сгорания ( $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ ). Такие расчеты могут быть полезны для оценки теплоты сгорания сложных органических соединений, для которых нет данных в литературе.

Таблица 1 – Теплоты сгорания метана и хлорированных соединений метана.

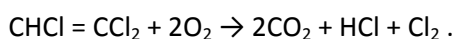
| Соединение   | Формула                  | Масс. доля хлора, % | Теплота сгорания, кДж/моль | Теплота сгорания, кДж/кг |
|--------------|--------------------------|---------------------|----------------------------|--------------------------|
| Метан        | $\text{CH}_4$            | 0                   | 882,4                      | 55171                    |
| Хлорметан    | $\text{CH}_3\text{Cl}$   | 70                  | 687,3                      | 13625                    |
| Дихлорметан  | $\text{CH}_2\text{Cl}_2$ | 84                  | 447,1                      | 5266                     |
| Трихлорметан | $\text{CHCl}_3$          | 89                  | 373,4                      | 3127                     |
| Тетрахлорид  | $\text{CCl}_4$           | 92                  | 156,1                      | 1017                     |

|          |  |  |  |  |
|----------|--|--|--|--|
| углерода |  |  |  |  |
|----------|--|--|--|--|

Изменения в молекулярной структуре, которые приводят к уменьшению суммы энергетических связей реагентов или увеличивают сумму энергетических связей продуктов реакции, способствуют росту теплоты сгорания. Замещение водорода на галоген в органических соединениях уменьшает теплоту сгорания, если содержание атомов галогенов в соединении весьма высокое. Из таблицы 1 видно, что теплота сгорания метана постепенно уменьшается при увеличении степени замещения в нем атомов водорода на атомы хлора.

Хлорированные углеводороды, содержащие более чем 70 % хлора по массе, обычно требуют дополнительного источника тепла для поддержания горения. Камеры сгорания с «тепловой закруткой» (циклонные) способны обеспечить устойчивое горение без дополнительного топлива при сжигании отходов с теплотворной способностью в диапазоне 10000 ÷ 12000 кДж/кг. Тетрахлорид углерода, который использовался для небольших огнетушителей до того, как стало известно, что он является высокотоксичным соединением, требует значительного количества дополнительного топлива для поддержания горения.

**Сжигание галогенсодержащих органических веществ** усложняется образованием токсичных продуктов сгорания, таких как: свободные галогены, галогеноводородные кислоты, а в случае хлора, – смертельно опасной смеси окиси углерода с хлором – фосгена, который применялся во время первой мировой войны как отравляющий газ. Например, полное сгорание трихлорэтилена в кислороде без дополнительного топлива происходит в соответствии со следующей реакцией :



Молекула  $\text{Cl}_2$  образуется в результате отсутствия водорода, который необходим для образования  $\text{HCl}$ . Неполное окисление дает  $\text{CO}$ , который, соединяясь с  $\text{Cl}_2$ , дает фосген  $\text{COCl}_2$ . Если дополнительным источником тепла является такое топливо, как природный газ (метан), то появляется достаточно водорода для образования из свободных атомов хлора хлорида водорода. При этом существенно упрощается очистка отходящих газов, поскольку хлорид водорода легко удаляется с помощью влажной скрубберной установки. Хлор в виде газа обладает малой растворимостью, и большая его часть проходит через скруббер. Химическая реакция сгорания трихлорэтилена с добавкой метана описывается следующим уравнением:



Адсорбция HCl водой в скруббере приводит к образованию коррозионно активной хлороводородной кислоты, что вызывает необходимость использования коррозионностойких материалов в системе очистки отходящих газов или использования щелочных реагентов для нейтрализации кислоты.

**Продукты сжигания серосодержащих соединений.** Соединения, которые содержат органическую или неорганическую серу в виде сульфидов, при полном сгорании в воздухе дают SO<sub>2</sub>. Например, реакция горения метилмеркаптана описывается следующей реакцией:





**Образование оксидов азота.** В камерах сгорания возможны два процесса образования  $\text{NO}_x$ :

- 1) образование  $\text{NO}$  из кислорода и азота воздуха, подаваемого в камеру сгорания;
- 2) образование  $\text{NO}$  при окислении соединений, содержащих азот (например, амины, нитраты).

Оксид азота, образующийся в соответствии с первым процессом, называется термическим, так как для обеспечения реакции требуется повышенная температура ( $> 1600^\circ\text{C}$ ). Оксид азота, образующийся по второму процессу, называется топливным. Его образование практически не зависит от температуры горения. Существует минимальная температура, при которой происходит разрушение конкретных органических загрязнителей, поэтому образование термического  $\text{NO}$  в значительной мере определяется конструктивными особенностями устройства по сжиганию отходов.

Производство топливного  $\text{NO}$  может контролироваться за счет подачи в топку воздуха. Для обеспечения эффективного сгорания отходов в однокамерной топке избыток воздуха не должен быть меньше определенного минимума (например, 3% избытка кислорода). При использовании двух последовательных камер это ограничение может быть преодолено за счет работы первой камеры в условиях нехватки кислорода, в результате чего образуется  $\text{N}_2$ , а не  $\text{NO}$ . Во второй камере сгорание отходов завершается при необходимом количестве кислорода.

Оксиды азота не поддаются эффективному извлечению с помощью обычных влажных скрубберных систем, а стоимость каталитических или восстановительных способов извлечения  $\text{NO}_x$  из продуктов сгорания слишком высока.

**Сжигание органических фосфорсодержащих соединений** в условиях избытка кислорода дает пентаоксид фосфора ( $\text{P}_2\text{O}_5$ , фактически димер  $\text{P}_4\text{O}_{10}$ ) как основной продукт сгорания. В условиях нехватки кислорода может образоваться триоксид фосфора ( $\text{P}_2\text{O}_3$ , фактически димер  $\text{P}_4\text{O}_6$ ). Пентаоксид фосфора легко реагирует с водой, образуя ортофосфорную кислоту  $\text{H}_3\text{PO}_4$ , поэтому он может быть извлечен с помощью влажного или щелочного скруббера. Триоксид фосфора реагирует с холодной водой, в результате чего образуется фосфористая кислота  $\text{H}_3\text{PO}_3$ . При контакте с горячей водой образуется ряд соединений, включая фосфин  $\text{PH}_3$  и элементарный фосфор.

**Сжигание металлоорганических отходов**, которые содержат опасные тяжелые металлы, дает вторичные отходы – золу и жидкие шламы скрубберных установок, которые, в свою очередь, могут быть классифицированы как опасные. Более того, тяжелые металлы, которые испаряются в процессе сжигания ( $\text{Hg}$ ,  $\text{As}$ ,  $\text{Se}$ ), могут проходить через систему очистки продуктов сгорания без задержки в достаточно большом количестве.

**Скорость горения.** Важным показателем является скорость процесса горения, определяемая факторами, часть из которых связана со свойствами топлива, другие зависят от конструкции и рабочих параметров устройства. Факторами, которые связаны с топливом (отходами), являются: теплота сгорания, энергия активации, теплота испарения жидкости, теплоемкость топлива. Факторами, которые связаны с конструкцией и условиями работы, являются: отношение топливо : кислород, степень перемешивания, подвод или отвод тепла.

Температура горения, которая определяет скорость реакции, прямо зависит от теплоты сгорания и подвода тепла. Наблюдается обратная зависимость температуры от теплоты испарения, теплоемкости топлива, отвода тепла, а также степени отклонения от оптимального соотношения реагентов (т.е. стехиометрического отношения топливо : кислород). Влияние этих факторов на температуру сгорания может быть выражено в виде термодинамических уравнений. Для регулирования температуры горения обычно меняют соотношение реагентов (т.е. берут избыток воздуха). Если температура в камере сгорания превышает заданный уровень для данного вида топлива, то увеличение избытка воздуха приведет к ее снижению.

Степень перемешивания реагентов – показатель, также влияющий на скорость реакции. При заданной температуре горения требуется определенное время для смешивания реагентов. Скорость такого перемешивания оказывает существенное влияние на ход реакции. Для обеспечения быстрого перемешивания в зоне горения предпринимаются соответствующие конструктивные меры, обеспечивающие высокую степень турбулентности потоков. Жидкое топливо обычно вводится через струйные форсунки, что позволяет ускорить испарение и перемешивание с воздухом.

Скорость реакции в камере сгорания, может быть упрощенно выражена с помощью кинетического уравнения реакции первого порядка:

$$dC/dt = kC,$$

где  $C$  – концентрация топлива (отходов), подвергающегося окислению;

$k$  – константа скорости реакции;

$\tau$  – время .

Решение этого уравнения может быть представлено следующим образом:

$$\ln C_0/C_\tau = k\tau,$$

где  $C_0$  – концентрация органических веществ на входе;

$C_\tau$  – концентрация органических веществ на выходе;

$\tau$ — время пребывания в зоне горения.

### 2.3.2 УСТАНОВКИ ДЛЯ СЖИГАНИЯ ОТХОДОВ)

**Жидкое впрыскивание.** В инсинераторах (камерах сжигания) с жидким впрыском отходы, смешанные с воздухом, подаются через струйные форсунки в камеру, где происходит пламенное окисление. Струйный впрыск позволяет раздробить отходы на мелкие капли (диаметром менее 40 мкм). Чем меньше капли, тем больше поверхность, через которую осуществляется быстрый теплообмен. Таким образом, повышается скорость испарения и перемешивания с воздухом, что ускоряет горение. Воздух подается под давлением, что способствует перемешиванию и турбулентности потока.

Эффективное распыление является весьма важной составной частью успешной работы камеры с жидким впрыском. Вязкость жидких отходов или пульпы должна быть невысокой. Жидкие отходы с большей вязкостью можно подогреть или перемешать с другой жидкостью, обладающей малой вязкостью. Устройства, используемые для распыления, включают различные типы струйных и вращающихся форсунок. Простые струйные форсунки могут засоряться твердыми частичками, которые часто попадают в жидкие отходы.

Для уничтожения жидких органических отходов в промышленности широко используются камеры сгорания с жидким впрыском. Такие устройства требуют минимальных затрат ручного труда, относительно просты в обращении по сравнению с камерами для сжигания твердых отходов.

Установки обычно имеют перегрузочную станцию, емкости для хранения, баки для перемешивания, что позволяет обеспечить относительно стабильный и однородный поток жидкости. Система очистки продуктов сгорания включает предварительное охлаждение, скрубберное устройство типа Вентури и охладительный скруббер. Предусматривается также очищение технологических вод после скрубберной установки (осаждение твердых частиц) (рис. 3).

Конструкция камеры сгорания может предусматривать горизонтальную или вертикальную организацию горения, например с турбулентным закрученным потоком (рис. 4).

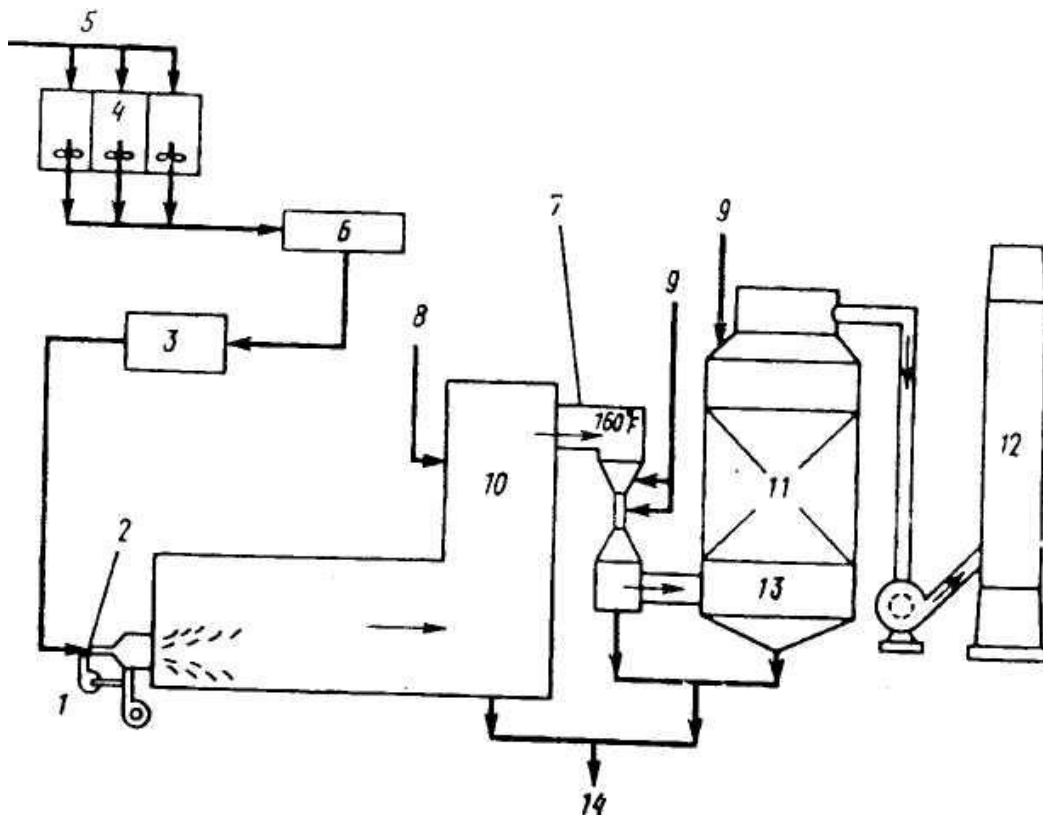


Рис. 3. – Схема горизонтального сжигания жидких отходов

1 – воздуходувка-распылитель; 2 – природный газ; 3 – смешительный бак; 4 – хранилище; 5 – грузовая площадка; 6 – фильтр; 7 – скруббер Вентури с покрытием из кислотостойкого пластика; 8 – подача чистой воды; 9 – рециркуляция воды; 10 – камера впрыска воды; 11 – охлаждающий скруббер; 12 – труба; 13 – отделитель водного тумана;

14 – подача воды для рециркуляции или переработки

Конструкция камеры сгорания может предусматривать горизонтальную или вертикальную организацию горения, например с турбулентным закрученным потоком (рис. 4).

В вихревых камерах сгорания жидкие отходы подаются в закрученный поток с помощью модифицированных нефтяных горелок в нижней части объема горения. Первоначальная «закрутка» создается с помощью горячего воздуха. Поток поддерживается за счет дополнительного ввода воздуха по касательной на более высоких уровнях камеры сгорания по мере развития и завершения процесса горения. Камеры с закупоренным потоком способны обеспечить тепловыделение на уровне  $3600 \text{ тыс. кДж}/(\text{ч} \cdot \text{м}^3)$ , что примерно в 4 раза больше, чем просто при горении с жидким впрыском. Обычно хорошая конструкция камеры сгорания исключает прямое воздействие пламени на термостойкие стенки, а температура подбирается так, чтобы она была ниже точки плавления золы. Типичный диапазон температур составляет от 850 до 1650°C.

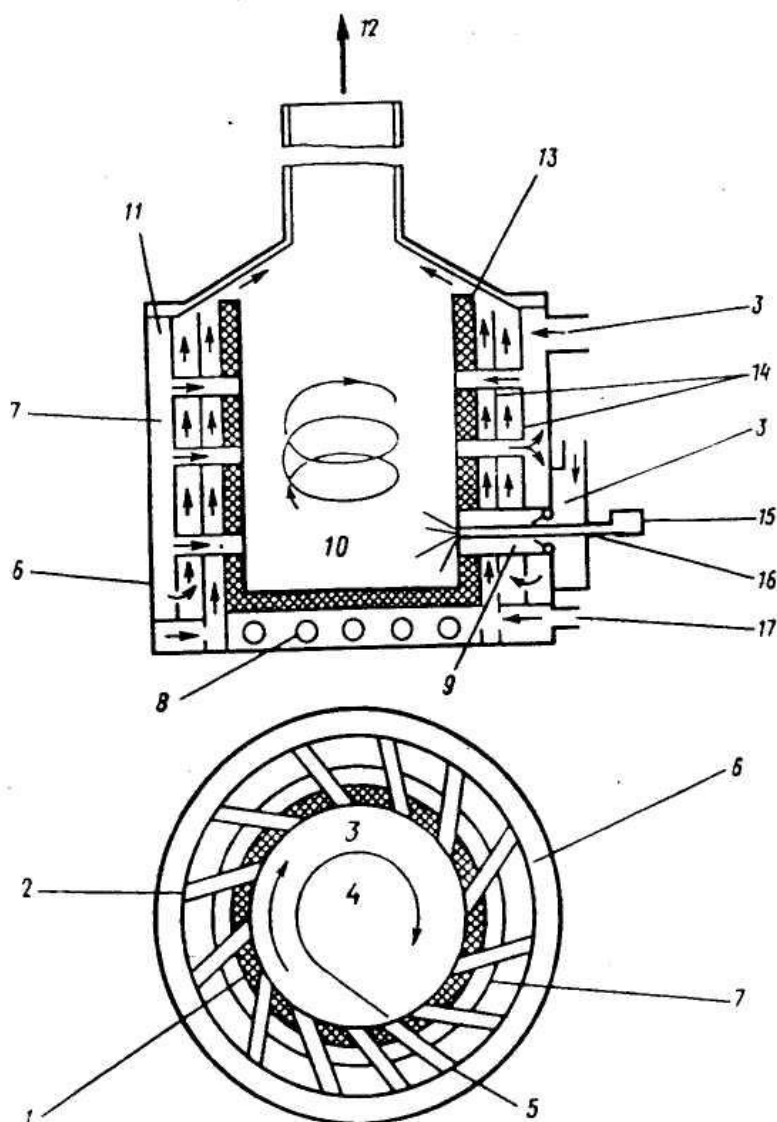


Рис. 4 – Устройство для сжигания жидких отходов с закруткой

1 – термостойкие стенки; 2 – воздушные сопла; 3 – подача воздуха; 4 – подача воды;

5 – топливное сопло; 6 – внешний корпус; 7 – внутренний корпус; 8 – охлаждающие воздушные каналы; 9 – подача газа; 10 – подача нефти; 11 – кольцевое пространство, заполненное воздухом под давлением, который подается в камеру сгорания; 12 – продукты сгорания, поступающие на очистку и в трубу; 13 – термостойкие стенки; 14 – воздух, охлаждающий термостойкие стенки; 15 – отходы; 16 – топливное сопло; 17 – охлаждающий воздух, подаваемый под наддувом.

**Вращающиеся печи** могут сжигать практически любые горючие отходы, но предназначены преимущественно для твердых отходов и смол, которые не могут быть переработаны в печах с жидким впрыском. Вращающаяся печь представляет собой цилиндрическую конструкцию, стенки которой покрыты термостойким материалом; они монтируются горизонтально с небольшим

уклоном. Типичное отношение длины к диаметру составляет от 2:1 до 10:1, а скорость вращения 1 – 5 об/мин; температура горения 850 – 1650°C, время пребывания – от нескольких секунд до нескольких часов в зависимости от характера сжигаемых отходов. Вращение печи приводит к перемешиванию горящих отходов и их эффективному перемешиванию с воздухом, что обеспечивает полноту сгорания. Негорючие отходы (т.е. зола, металлолом) перемещаются вдоль наклоненной печи и после охлаждения с помощью впрыска воды собираются в специальные бочки (рис. 5).

Система очистки продуктов сгорания состоит из пяти основных компонентов: камеры предварительного охлаждения газов впрыском воды, скруббера Вентури, системы отделения мелких капель воды, вытяжного вентилятора и трубы высотой 60 м. В камере предварительного охлаждения температура отходящих газов снижается до 80°C, чтобы исключить использование высокотемпературной облицовки остальных элементов системы. Сама камера предварительного охлаждения покрыта кислотоупорным кирпичом и раствором. Использование коррозионностойких материалов необходимо, так как в отходящих газах содержатся агрессивные газы, например, хлороводород.

Скруббер Вентури позволяет удалить твердые частицы размером до 0,1 мкм. Для повышения эффективности улавливания твердых частиц в узком месте трубы Вентури через распылительные сопла подается вода. Мелкие капли воды, подхваченные потоком газа, осаждаются в каплеуловителе, установленном после скруббера.

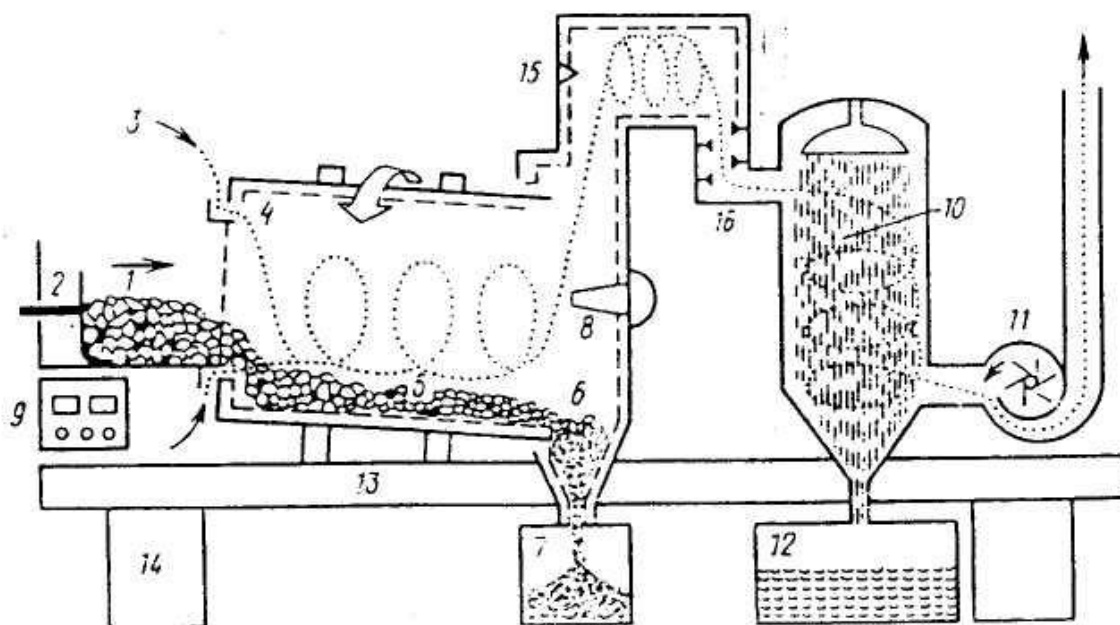


Рис. 5 – Передвижная вращающаяся печь

1 – подача отходов на сжигание; 2 – автоматическая система подачи: воронки питателя, пневматический питатель, задвижка; 3 – подача воздуха; 4 – вращающийся корпус с теплоизоляцией; 5 – вращающаяся зона горения; 6 – зола; 7 – емкость для сбора золы;

8 – запальная контрольная горелка; 9 – управление; 10 – влажная скрубберная установка; 11 – воздуходувка для продуктов сгорания и труба; 12 – вода для рециркуляции и система сбора летучей золы; 13 – опорная конструкция; 1 – опорные колонны; 15 – камера дожигания; 16 – конвективное охлаждение.



**Сжигание в псевдооживленном (взвешенном) слое.** Технология псевдооживленного слоя, применяющаяся в нефтеперерабатывающей и химической промышленности, была приспособлена к сжиганию отходов. Наиболее часто таким образом уничтожаются илы или подобные им отходы. Основными этапами переработки являются: 1) удаление гравия из отходов для защиты установки от абразивного износа; 2) сгущение ила; 3) уменьшение размеров твердых частиц; 4) обезвоживание; 5) сжигание; 6) очистка отходящих газов и захоронение золы.

Сжигающее устройство состоит из колонны, заполненной горячим песком или глиноземом. В слой песка вдувается воздух и измельченные отходы. Температура в зоне горения 760 - 810°C. Для того чтобы исключить появление запаха, избегают режимов работы на нижнем уровне температуры. Ил подается в нижнюю часть камеры сгорания, чуть выше распределительной решетки. Поток воздуха, который перемешивает ил с песком, входит ниже распределительной решетки. Ил подсыхает и сгорает, при этом большая часть тепла передается песчаной насадке.

Газообразные продукты сгорания и зола покидают реактор в его верхней части. Вспомогательная горелка используется для разогрева песка до необходимой температуры перед подачей ила. После того как достигнута соответствующая рабочая температура, эта вспомогательная горелка может быть использована для снижения жидких и газообразных отходов.

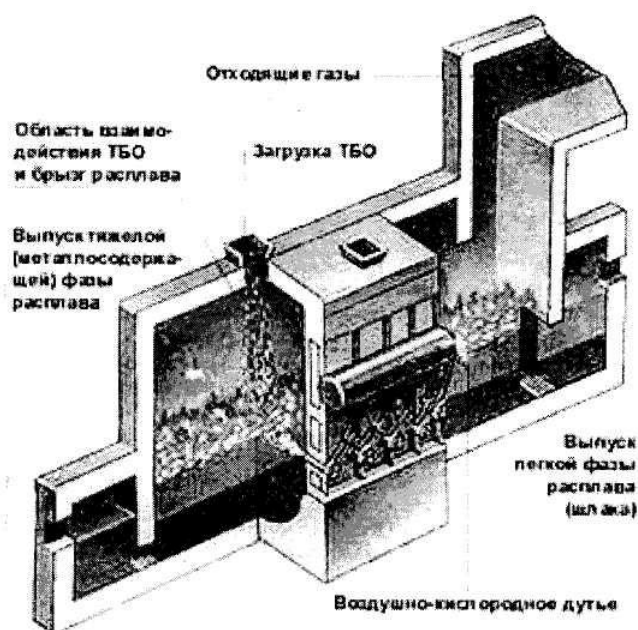
Устройства для сжигания отходов в псевдооживленном слое являются относительно новыми и все шире применяются для сжигания ила. Определенными достоинствами таких устройств являются: 1) хорошее перемешивание ила и воздуха; 2) отсутствие движущихся частей (меньшие требования к обслуживанию); 3) теплообменные процессы протекают внутри песчаной насадки, что снижает потребность в теплообменниках для обеспечения эффективности процесса; 4) песчаная насадка выполняет функции аккумулятора тепла, что позволяет вести процесс без чрезмерных температурных нагрузок.

Однако установки с псевдооживленным слоем требуют относительно высоких капитальных затрат и, следовательно, должны использоваться для переработки больших количеств отходов, которые трудно сжигать обычными способами. Для уничтожения опасных отходов такие установки пока мало использовались.

**Каталитические методы** сжигания используются главным образом для уничтожения горючих газообразных отходов малой концентрации. Газообразные отходы подогреваются, а затем входят в контакт с катализатором, расположенным на пористом материале. Окисление происходит на поверхности катализатора. Большинство таких реакций осуществляется при низких температурах в диапазоне 320 – 540°C, что дает существенную экономию топлива.

Транспортировка газа на значительные расстояния не экономична, поэтому обычно газ уничтожается на месте производства. В химической промышленности широко распространено уничтожение газообразных отходов производства растворителей, например для уменьшения неприятных запахов. Газообразные отходы уничтожаются в нефтеперерабатывающей промышленности. Каталитическое сжигание весьма чувствительно к температуре (максимум 920°C) и не может использоваться для богатых топливом смесей.

**Термическая переработка отходов в печи Ванюкова.** Печь Ванюкова – это барботажный агрегат непрерывного действия (см. рис 6).



**Мусор в бурлящем расплаве**

Рис.6 – Схема печи Ванюкова

Она представляет собой шахту прямоугольного сечения с принудительно охлаждаемыми медными стенками, в нижней части которой находятся фурмы, через которые в расплав подается смесь воздуха с кислородом. Материалы, подлежащие уничтожению, подаются сверху и, сгорая, поддерживают температуру в печи на уровне 1250 - 1350°C. В результате в печи образуются две жидкие фазы: в верхней части ванны скапливается шлак, состоящий из легких силикатов, а в нижней – более тяжелый металлосодержащий продукт. Донная фаза отливается в слитки и отправляется на переработку. Шлак после охлаждения и грануляции поступает на строительные предприятия. Газы направляются на охлаждение в котел - утилизатор, затем на очистку от пыли, возгонов, вредных примесей и очищенные выбрасываются в дымовую трубу. Система газоочистки обеспечивает снижение концентрации компонентов ниже предельно допустимых концентраций.

Крупномасштабная проверка эффективности печи Ванюкова была проведена на Рязанском опытно-экспериментальном металлургическом заводе института «Гинцветмет» при участии сотрудников Московского института стали и сплавов и Академии коммунального хозяйства им. Памфилова. Эти испытания подтвердили, что отходящие газы, образующиеся в результате плавки ТБО в печи Ванюкова, действительно практически не содержат диоксинов.

Возможности новой технологии не ограничиваются безопасным уничтожением ПО: в принципе, она может быть использована для уничтожения практически любых токсических соединений – в том числе и боевых отравляющих веществ, запасы которых беспокоят современную мировую общественность.

Принципиальное отличие разработанной технологии от существующих термических методов переработки:

- не требуются дорогостоящие стадии сортировки, сушки и прессовки отходов;
- не образуются вторичные отходы, и отпадает необходимость захоронения токсичных зол и шлаков;
- в процессе плавки полностью разрушаются органические соединения, в том числе диоксины и фураны (исследования последних лет показали, что только при температуре 1200-1400°C в течение 4 -7 часов происходит необратимое разрушение этих веществ).

Кроме того, технология имеет следующие преимущества:

- процесс плавки бытовых отходов ведется в автогенном режиме (без добавки топлива) на воздушно-кислородном дутье;
- способ позволяет проводить совместную переработку текущих бытовых и промышленных отходов и накопленных на полигонах «лежалых» отходов;
- низкий пылеунос – менее 1% от массы загруженных отходов;
- конечными продуктами плавки являются пригодные для дальнейшего использования сплавы цветных металлов и шлаки (силикатсодержащие материалы) для стройиндустрии;
- вторичное сырье используется для получения пара и электроэнергии (покрываются собственные нужды завода);
- аппаратная схема обеспечена высокоэффективным пыле- и газоочистным оборудованием.

В целом технология характеризуется чистотой, безотходностью, комплексностью использования сырья.