

Министерство науки и образования Российской Федерации  
ФГБОУ ВО «Удмуртский государственный университет»  
Институт гражданской защиты  
Кафедра защиты в чрезвычайных ситуациях и управления рисками

## **ВТОРИЧНЫЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ**

Учебное пособие

Ижевск

2019

УДК  
ББК

Рекомендовано к изданию Учебно-методическим советом УдГУ

Рецензенты: д.х.н., профессор Шуклин С.Г., к.т.н., доцент Романенко А.В.

**В Плыкин В.Д.**

Вторичные возобновляемые источники энергии: Учебное пособие / В.Д. Плыкин, д.т.н., проф. – Ижевск: Издательский центр «Удмуртский университет», 2019. – 138 с.

Учебное пособие предназначено для формирования у студентов инженерной концепции, согласно которой промышленные, сельскохозяйственные и бытовые отходы из «мусора» превращаются в возобновляемый источник энергии с постоянным восполнением. Пособие построено так, что студенту даются знания, с помощью которых он процесс уничтожения отходов должен превращать в процесс их переработки как вторичного энергетического ресурса. Студенту показывается, что его будущие разработки, как инженера XXI века, должны быть органичным продолжением естественных процессов Природы, не создающих отходов, не вызывающих экологического возмущения окружающей среды и не нарушающих гармонии, изначально заложенной в Природу. Пособие предназначено для студентов бакалавриата и магистратуры по направлению подготовки «Техносферная безопасность».

© Сост. В.Д. Плыкин, 2019  
© ФГБОУ ВО «Удмуртский университет», 2019

## Содержание

Предисловие .....	5
Введение .....	7
ГЛАВА 1. <u>ВТОРИЧНЫЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ И НАПРАВЛЕНИЯ ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ</u> .....	12
1.1 Система определений, понятий и классификация вторичных энергетических ресурсов .....	12
1.2 Определение выхода вторичного энергетического ресурса .....	18
1.3 Определение экономии топлива от использования ВВИЭ .....	23
1.4. Технологии использования ВВИЭ и их учёт при проектировании	27
Вопросы для самоконтроля .....	31
ГЛАВА 2. <u>ТВЕРДЫЕ ПРОМЫШЛЕННЫЕ ОТХОДЫ КАК ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИК ЭНЕРГИИ</u> .....	32
2.1 Использование вторичных горючих энергоносителей.....	32
2.2 Использование отходов лесозаготовок .....	37
2.3 Тара, упаковка, технологические прокладки производственных предприятий как возобновляемый источник энергии.....	39
Вопросы для самоконтроля .....	40
ГЛАВА 3. <u>ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЖИДКИХ ПРОМЫШЛЕННЫХ И БЫТОВЫХ ОТХОДОВ</u> .....	41
3.1. Переработка жидких бытовых отходов.....	41
3.2 Переработка жидких нефтесодержащих отходов.....	47
Вопросы для самоконтроля .....	60
ГЛАВА 4. <u>ВТОРИЧНЫЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОМ ПРОИЗВОДСТВЕ</u> .....	61
4.1 Использование отходов сельскохозяйственного производства .....	61
4.2 Топливный биогаз из сельскохозяйственных отходов.....	63

4.3 Производство топливного этанола. Гидролиз и аэробное сбраживание.....	69
4.4. Комплексное энерго - технологическое обеспечение агропро - мышленных предприятий.....	7
Основные технико-экономические показатели .....	75
4.5 Оборудование для переработки вторичной биомассы в сельскохозяйственном производстве .....	77
Вопросы для самоконтроля .....	86
ГЛАВА 5. <u>ВТОРИЧНЫЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ</u> .....	87
5.1 Сбросное тепло – возобновляемый источник энергии.....	87
5.2 Опыт экономии тепловой энергии за счет использования ВВИЭ ...	91
Вопросы для самоконтроля .....	100
ГЛАВА 6. <u>БЫТОВОЙ МУСОР КАК ВТОРИЧНЫЙ ВОЗОБНАВЛЯЕМЫЙ ИСТОЧНИК ЭНЕРГИИ</u> .....	100
6.1 Направления переработки ТБО.....	100
6.2 Переработка твердых бытовых отходов методом газификации ....	108
6.3 Мини-ТЭЦ на основе ТБО с использованием метода фильтрационного горения в сверхадиабатическом режиме .....	113
Вопросы для контроля .....	120
ГЛАВА 7. <u>КОНЦЕПЦИЯ СОЗДАНИЯ МОБИЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ ПЕРЕРАБОТКИ ВВИЭ</u> .....	121
7.1 Мини-теплоэлектростанции на основе пиролиза .....	121
7.2 Получение водорода электролизом воды.....	126
7.3 Принцип создания мобильных комплексов переработке ВВИЭ ...	132
Вопросы для самоконтроля .....	134
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	135
Литература.....	137

## Предисловие

Предлагаемое учебное пособие предназначено для методического оснащения курса « Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии» по направлению подготовки, «Техносферная безопасность».

Актуальность учебного пособия в его направлении на формирование у студента инженерного мышления со-творца с Природой, а не разрушителя Природы, создаваемой им техникой и технологиями.

Отличие данного учебного пособия от аналогичных заключается в смене парадигмы производственного и бытового «мусора» на «вторичный энергетический ресурс», для использования которого нужна новая техника и новые технологии.

Цель учебного пособия – сформировать у студента систему компетенций, обеспечивающих способность и готовность, с которыми он, как инженер XXI века, должен превращать процесс уничтожения отходов в процесс их переработки как вторичного возобновляемого источника энергии.

Учебное пособие построено так, чтобы в результате его изучения студент получил необходимые знания и в дальнейшем мог самостоятельно работать со специальной литературой, разбираться в действующих технологиях и устройствах переработки жидких и твёрдых бытовых промышленных и сельскохозяйственных отходов и мог использовать эти знания в самостоятельной инженерной деятельности.

Структура пособия состоит из следующих разделов:

- вторичные возобновляемые источники энергии;
- твёрдые промышленные отходы – возобновляемый источник энергии;
- использование жидких промышленных и бытовых отходов;

- возобновляемые источники энергии в сельскохозяйственном производстве;
- возобновляемые источники тепловой энергии;
- бытовой мусор, как источник возобновляемой энергии;
- создание мобильных комплексов переработки отходов.

Учебное пособие предназначено для обучения студентов бакалавриата и магистратуры.

## Введение

За последние 120 лет население России увеличилось в 3 раза, а энергопотребление увеличилось в 12 раз. Двадцатый век ознаменовался 12-ти кратным ростом объёмов изъятия энергоресурсов человеком из природной среды. В настоящее время мировое потребление природных ресурсов уже соизмеримо с запасами полезных ископаемых.

Вместе с тем, из всего объёма сырьевых материалов, изымаемых человеком у Природы, в полезные для общества продукты превращаются не более 10%. Всё остальное переходит в отходы. Почему 90% сырьевых материалов, изъятых из недр Планеты, остаются на её поверхности в виде отходов, приводя в негодность почву и отравляя окружающую среду? Потому, что в своей "хозяйственной" деятельности человек ведёт непримиримую борьбу с Природой. Если бы человечество выбрало биотехнический (естественный) способ существования, в котором человек не «царь» Природы, а единица Природы, для которой Законы Природы являются основой устройства человеческого общества, основой создания техники и технологий жизнеобеспечения, основой энергетики общества, то человечество было бы другим. Если бы человечество выбрало естественный (биотехнический) путь развития, то в начало XXI века оно вошло бы в состояние процветания с высочайшим уровнем развития техники и технологий, с полным согласием и взаимодействием с Природой.

Но, человечество выбрало техногенный (неестественный) путь развития – путь непримиримой борьбы с Природой и подмены Законов Природы на законы придуманные самим человечеством для удовлетворения своих материальных амбиций. Поэтому в XXI век человечество вошло с глобальным кризисом, который включает в себя весь возможный набор кризисов: технологический, энергетический, политический, демографический, нравственный, научный, экологический.

В рамках данного учебного пособия мы сконцентрируем внимание на быстроразвивающемся кризисе отходов жизнедеятельности, несущем реальную угрозу человечеству.

Очевидно, что материалистический образ мышления современного человечества мог привести его только к искусственному – технократическому пути развития. Современная наука человечества Земли не устремила свой поиск энергетической основы человечества в Космос – в океан бесконечной, безопасной и бесплатной энергии. Современная наука устремила все свои усилия вниз – в глубины Планеты, в её энергетические субстанции – уголь, нефть, газ. Она создала варварские технологии их добычи, совершенно не задумываясь над тем, как организм Планеты отреагирует на это и как Планета «отблагодарит» нас за это в глобальном масштабе.

Современная наука сформировала мировоззрение, согласно которому человечество Земли единственное во Вселенной и появилось оно на Земле благодаря случайному стечению огромного количества случайных обстоятельств. А планета Земля – это только место для существования человечества – неразумная среда обитания.

Материалистический образ мышления современного человека основан на том, что энергетические залежи Планеты бесконечны и варварская стратегия отношений с Природой вполне обоснована. Поэтому 90% сырьевых материалов, изъятых из недр Планеты, остаются в виде отходов на поверхности Земли, отравляя окружающую среду.

Но в середине XX века стало понятно, что ископаемые энергетические ресурсы Планеты быстро истощаются и наступит момент, когда они иссякнут. Это понимание вызвало шок в правящих и деловых кругах развитых стран. Постепенно отходя от шока, правительства этих стран начали политику борьбы за энергетические ресурсы Планеты, так как энергетические потребности их стран росли огромными темпами.



К жестокой борьбе с Природой за изъятие её энергетических ресурсов человечество добавило жесточайшую борьбу между государствами за владение (перераспределение) этими ресурсами. То есть, материалистический образ мышления современного человечества указал только один путь – путь соперничества, конкуренции, обмана, захвата, военных действий в решении энергетических проблем человечества.

Материалистический образ мышления не указал, да и не мог указать путь согласия и взаимодействия с Природой. Этот путь привёл бы человечество к пониманию, что в Природе нет отходов, что человечество должно создавать технологические процессы производства и потребления как продолжение естественных процессов Природы – без отходов и без экологического возмущения окружающей среды. Этот путь указал бы человечеству на необходимость переработки тех 90% сырьевых материалов, которые сегодня лежат в отходах (отвалах, отбросах) для выделения из них всех энергетических и полезных составляющих, для уничтожения всех вредных составляющих и для безопасного захоронения всех неперерабатываемых составляющих.

Существующие сегодня мусорные свалки – это мировоззренческое заблуждение человечества, это системная ошибка материалистического образа мышления:

- человек вне Природы;
- человек над Природой;
- человек в борьбе с Природой.

В Природе нет мусорных свалок, мусорные свалки формируются только в «голове» человека. Д.И. Менделеев писал: «В химии нет отходов, есть неиспользованное сырьё».

Сегодня, в XXI веке, мы можем расширить этот тезис Д.И. Менделеева – «в современном производстве и в быту нет отходов, есть неиспользованное сырьё, для переработки которого нужны новые технологии».

Таким образом, понятие «отходы» трансформируется в понятие: «вторичные сырьевые ресурсы» или во «вторичные, возобновляемые источники энергии».

Здесь мы рассматриваем «вторичные, возобновляемые источники энергии» как средство для поднятия уровня энерговооружённости и увеличения энергопотребления нашей страны.

Производство и потребление – это суть человека, поэтому вторичные возобновляемые источники энергии (ВВИЭ) непрерывно воспроизводятся. Объём этого воспроизводства непрерывно расширяется. Но мировоззренческая позиция современного человека – «отходы производства и потребления это мусор» – привела к гигантским энергетическим потерям и глобальному повсеместному накоплению отходов - формированию свалок.

Для подтверждения этого утверждения приведём несколько примеров.

В бывшем СССР одна только оборотная вода с температурой 20°... 40°С из систем охлаждения промышленных установок ежегодно выделяла в атмосферу до 4 млрд. ГДж тепла, что эквивалентно сжиганию 136 млн. тонн угля.

В деревообрабатывающей промышленности СССР распиловка 100 м<sup>3</sup> древесины означала сброс 33 м<sup>3</sup> этого объёма в отходы (33 %). В 80-х годах XX века ежегодно производилось 82,6 млн. м<sup>3</sup> только опилок. Между тем по величине теплотворной способности 3 кг опилок эквивалентно 1 кг нефтяного топлива.

Ежегодный объём заготовки леса в России составляет 197 млн. м<sup>3</sup>. Следовательно, спиливается на корню вместе с сучьями 250 млн. м<sup>3</sup>. Около 53 млн. м<sup>3</sup> обрубленных сучьев, ветвей, пней, корней остаются в лесу. Часть из них сжигается, а большая часть захламляет лес. Не говоря уже об использовании биомассы зелёных листьев и особенно зелёной хвои.

Следует заметить, что эти 53 млн. м<sup>3</sup> древесины по теплотворной способности почти в два раза превышают 60 млн. тонн торфа, ежегодно добываемого в России.

Другими громадными потерянными объёмами вторичных тепловых ресурсов являются промышленные вентиляционные выбросы, водяной пар, отходящие газы при  $t > 300^{\circ}\text{C}$  и т.д.

Астрономические размеры энергетических потерь в сельскохозяйственном производстве России от ежегодного сжигания на полях перед весенней вспашкой земли составляют около 180 млн. тонн соломы от зерновых.

А по теплотворной способности 2 кг соломы эквивалентны 1 кг нефтяного топлива.

Все вышеперечисленные примеры демонстрируют наше (российское) технологическое варварство в отношении к национальным энергетическим и материальным ресурсам. Это варварство необходимо исключить из жизни российского общества в XXI веке.

Поэтому сознание будущих инженеров должно быть направлено на новую парадигму: отходы – это не мусор, а возобновляемый источник энергии. Современный инженер должен создавать технологии материального производства как продолжение естественных процессов Природы, без отходов и без выбросов загрязняющих веществ в окружающую среду. Современный инженер должен знать, что наша Планета – живое сознательное космическое образование, родившее нас (человечество Земли), нуждающееся во взаимопонимании, в сочувствии, в защите (в инженерной защите). Природоподобные методы инженерной защиты Планеты современный инженер должен постоянно изучать и использовать всю свою сознательную жизнь.

# ГЛАВА 1

## ВТОРИЧНЫЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ И НАПРАВЛЕНИЯ ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

### 1.1 Система определений, понятий и классификация вторичных энергетических ресурсов

Под понятием, «Вторичные энергетические ресурсы» (ВЭР) подразумевается энергетический потенциал продукции, побочных и промежуточных отходов, образующихся в технологических установках (агрегатах), который не используется в самом агрегате, но может быть частично или полностью использован для энергоснабжения других установок.

Понятие «энергетический потенциал» означает наличие определённого запаса энергии (химически связанной теплоты, физической теплоты, потенциальной энергии избыточного давления). К ВЭР не относится химически связанная теплота продукции топливперерабатывающих, газогенераторных, углеобогачительных производств и те энергетические отходы, которые используются в самом агрегате – источнике ВЭР (регенерация теплоты).

По виду энергии ВЭР разделяются на три группы:

-топливные (горючие). Под горючими ВЭР подразумеваются непосредственно сами горючие отходы, не пригодные для дальнейшей технологической переработки; доменный газ, отходящий газ сажевых печей, абсорбционный газ при производстве мономеров для синтетических каучуков и т.д.;

-тепловые – физическая теплота отходящих газов технологических установок, физическая теплота продукции и отходов основного производства, отработанной в технологическом процессе воды, пара, теплота конденсата. К тепловым ВЭР относятся также: низкопотенциальная теплота

вентвыбросов, сбросных жидкостей и газов от теплотехнологических установок;

-избыточное давление – потенциальная энергия газов и жидкостей, покидающих технологические агрегаты с избыточным давлением, которое необходимо снижать перед последующей ступенью использования этих жидкостей и газов или при выбросе в атмосферу.

Использование ВЭР является важнейшим направлением экономии энергии на промышленном предприятии.

Под агрегатом-источником ВЭР следует понимать агрегат, в котором образуется и получает энергетический потенциал носитель ВЭР (технологические печи, реакторы, холодильники, паро-использующие установки и т.п.).

Вторичные энергетические ресурсы могут использоваться непосредственно без изменения вида энергоносителя для удовлетворения потребности в топливе и теплоте, либо с изменением энергоносителя путём выработки тепловой энергии, электроэнергии, холода или механической работы в утилизационных установках.

Принципиальная схема использования энергетических ресурсов и распределения энергетических потоков при утилизации ВЭР показана на рис. 1.1. На рисунке указаны названия отдельных потоков и даны сечения, по которым определяются количественные значения этих показателей, причём, наименования, справа относятся, только к правому потоку, а наименования слева – к обоим потокам.

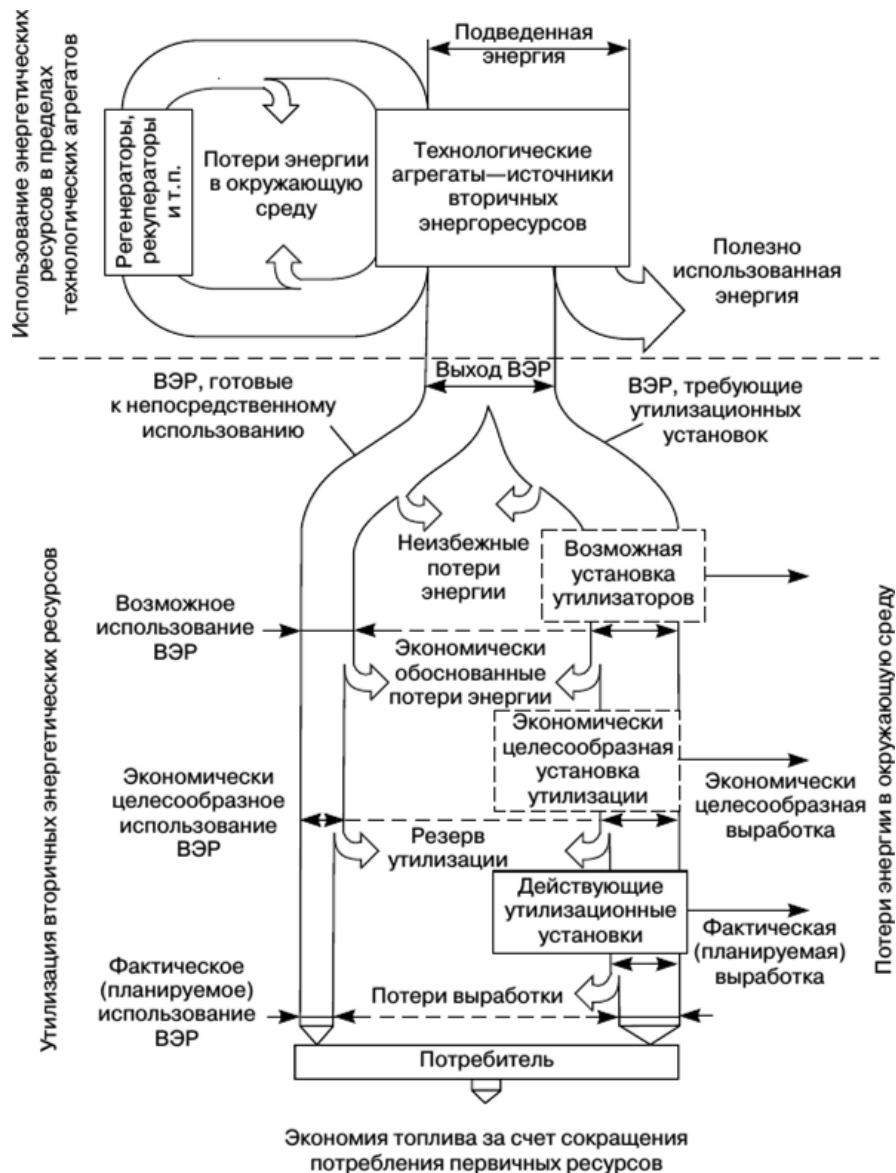


Рисунок 1.1 – Принципиальная схема использования вторичных энергоресурсов

При утилизации ВЭР следует различать следующие термины и понятия:

*Выход ВВИЭ* – количество ВЭР, образующихся в процессе производства в данном технологическом агрегате за единицу времени.

*Выработка за счёт ВЭР* – количество теплоты, холода, электроэнергии или механической работы, получаемых за счёт ВЭР в утилизационных установках.

Различают возможную, экономически целесообразную, планируемую и фактическую выработку за счёт ВЭР:

*Возможная выработка* – максимальное количество теплоты, холода, электроэнергии или механической работы которые могут быть практически получены за счет данного вида ВЭР с учетом режимов работы агрегата ВВИЭ утилизационной установки.

*Экономически целесообразная выработка* – максимальное количество теплоты, холода, электроэнергии или механической работы, целесообразность получения которых в утилизационной установке (в течение рассматриваемого периода) подтверждается экономическими расчётами.

Для проектируемых установок экономически целесообразная «выработка» – это такое количество теплоты, холода, электроэнергии или механической работы, получение которой за счёт ВЭР и использование потребителями даёт наибольший экономический эффект.

Поскольку параметры утилизационных установок выбирают из условия их наибольшей эффективности, то возможная выработка тепловой энергии в данной утилизационной установке экономически целесообразна.

*Планируемая выработка* – количество теплоты, холода, электроэнергии или механической работы, которое предполагается получить за счёт ВЭР при осуществлении плана развития данного производства, предприятия, отрасли, в рассматриваемый период с учётом ввода новых, модернизации действующих и вывода устаревших утилизационных установок.

*Фактическая выработка* – фактически полученное количество теплоты, холода, электроэнергии или механической работы на действующих утилизационных установках за отчётный период.

*Коэффициент выработки за счёт ВЭР* – отношение фактической (планируемой) выработки к экономически целесообразной (возможной).

Коэффициент выработки может определяться для одного агрегата-источника ВЭР, для группы однотипных агрегатов, для цеха, предприятия, отрасли по каждому виду ВЭР.

*Использование ВЭР* – количество используемой у потребителей энергии, выработанной за счет ВЭР в утилизационных установках, а также топлива и теплоты, получаемых непосредственно как ВЭР.

При определении возможного и экономически целесообразного использования ВЭР учитывают наличие разработанных и проверенных методов и конструкций по утилизации ВЭР, наличие места для размещения утилизационных установок, наличие потребителей энергии и пр.

При использовании ВЭР с преобразованием энергоносителя в утилизационной установке возможное использование ВЭР равнозначно возможной выработке за счет ВЭР и численно равно ей.

*Экономия топлива за счет ВЭР* – количество первичного топлива, которое экономится за счет использования вторичных энергетических ресурсов. Экономия топлива, соответственно использованию ВЭР, также может быть возможная, экономически целесообразная, планируемая и фактическая. По величине экономии топлива осуществляют суммирование различных видов ВЭР.

*Коэффициент утилизации ВЭР* – отношение фактической (планируемой) экономии топлива за счет ВЭР к экономически целесообразной (возможной). Коэффициент утилизации может определяться для одного агрегата-источника ВЭР или для групп агрегатов, для предприятия, отрасли по каждому виду ВЭР и суммарно – для всех видов ВЭР.

Вторичные энергетические ресурсы одной группы классифицируются также по источникам их образования. Например, теплота уходящих газов мартеновских печей, теплота уходящих газов нагревательных печей, теплота уходящих газов трубчатых печей нефтепереработки и т.д.

В зависимости от видов и параметров вторичных возобновляемых источников энергии (ВВИЭ) различают четыре основные направления использования вторичных энергоресурсов:



- *топливное* – непосредственное использование горючих ВЭР в качестве топлива;
- *тепловое* – использование теплоты, получаемой непосредственно в качестве ВЭР или вырабатываемой за счет ВЭР в утилизационных установках. К этому направлению относится также выработка холода за счет ВЭР в абсорбционных холодильных установках;
- *силовое* – использование механической или электрической энергии, вырабатываемой в утилизационных установках (станциях) за счет вторичных энергоресурсов;
- *комбинированное* – использование теплоты и электрической (или механической) энергии, одновременно вырабатываемых за счет ВЭР в утилизационных установках (утилизационных ТЭЦ) по теплофикационному циклу.

Классификация ВВИЭ по видам и направлениям использования приведена в таблице 1.

Таблица 1– Классификация ВВИЭ

Вид ВЭР	ВВИЭ	Энергетический потенциал	Выход ВЭР	Способ использования
Горючие	Твердые, жидкие и газообразные горючие отходы	Теплота сгорания	$Q = Q_H^P m_{ВЭР}$ $B = \frac{Q_H^P m_{ВЭР}}{7000}$	Сжигание в топливоиспользующих установках (топливное)
Тепловые	Отходящие газы Охлаждающая вода Конденсат Отходы производства Промежуточные продукты Готовая продукция	Физическое тепло	$Q = c(t - t_0)m_{ВЭР}$	Выработка в теплоутилизационной установке теплоэнергии в виде водяного пара или горячей воды (тепловое)
	Вторичный или отработанный водяной пар	Энтальпия	$Q = c(i_0 - i_1)m_{ВЭР}$	В теплоиспользующих установках (тепловое) либо в утилизационной турбине для выработки электроэнергии (силовое и комбинированное)

ВЭР избыточно- го давления	Газы и жидкости с избыточным давлением	Работа изоэнтропно- го расширения	$W = lm_{\text{ВЭР}}$	Производство электроэнергии или механической работы в утилизационной турбине
----------------------------------	--	--	-----------------------	---

Примечание.  $Q_H^P$  – низшая теплота сгорания;  $m_{\text{ВЭР}}$  – удельное (часовое) количество энергоносителя в виде твердых, жидких или газообразных продуктов;  $l$  – работа изоэнтропного расширения;  $c$  – теплоемкость энергоносителя;  $i_0$  – энтальпия газа перед расширением;  $i_1$  – энтальпия газа в конце изоэнтропного расширения.

## 1.2 Определение выхода вторичного энергетического ресурса

Выход и возможное использование ВЭР рассчитывают в удельных показателях на единицу продукции или единицу времени (1ч) работы агрегата - источника энергии.

Удельные показатели выхода ВЭР, выработки энергии и их использования относят к единице продукции основного производства в случае многопродуктового производства.

Удельный (часовой) выход ВЭР определяют как произведение удельного (часового) количества энергоносителя на его энергетический потенциал. В качестве единиц измерения количества энергоносителя используют единицы массы (килограмм, тонна); для газообразных энергоносителей – единицы объема (кубический метр при нормальных условиях ( $P = 10^5$  Па,  $t = 0^\circ\text{C}$ )).

Энергетический потенциал энергоносителей определяется:

- для горючих ВЭР – низшей теплотой сгорания  $Q_H^P$ ;
- для тепловых ВЭР – перепадом энтальпий  $\Delta i$ ;

- для ВЭР избыточного давления – работой изоэнтропного расширения  $l$ .

В качестве единиц измерения потенциала используют единицы для измерения энергии (килокалория, килоджоуль, киловатт-час).

Таким образом, удельный (часовой) выход ВЭР определяется:

- для горючих ВЭР:

$$q_{\text{ВЭР}}^{\Gamma} = m_{\text{ВЭР}} Q_H^P \quad (1.1)$$

Обычно количество горючих ВЭР выражают в килограммах или тоннах условного топлива, тогда

$$q_{\text{ВЭР}}^{\Gamma} = \frac{m_{\text{ВЭР}} Q_H^P}{Q_y} \quad (1.2)$$

- для тепловых ВЭР:

$$q_{\text{ВЭР}}^{\Gamma} = m_{\text{ВЭР}} c(t - t_0) = m_{\text{ВЭР}} \Delta i; \quad (1.3)$$

- для ВЭР избыточного давления:

$$q_{\text{ВЭР}}^{\Pi} = m_{\text{ВЭР}} l \quad (1.4)$$

где  $m_{\text{ВЭР}}$  – удельное (часовое) количество энергоносителя в виде твердых, жидких или газообразных продуктов;  $Q_y$  – теплота сгорания условного топлива;  $Q_y = 7000$  ккал/кг или 29300 кДж/кг.

Удельное (часовое) количество энергоносителя  $m_{\text{ВЭР}}$  определяют путем расчёта материального баланса агрегата – источника ВЭР или из его энерготехнологических характеристик, регламентов производства, или по показателям соответствующих приборов.

Низшую теплоту сгорания горючего ВЭР определяют экспериментальным путём или по известным в теплотехнике формулам в зависимости от его элементарного состава.

Перепад энтальпий  $\Delta i$  для тепловых ВЭР определяют в зависимости от температуры энергоносителя на выходе из агрегата-источника ВЭР, а также

температуры окружающей среды (которую для простоты расчетов можно условно принять равной 0°C), если энергоноситель выбрасывается в атмосферу, при температуре, до которой должен быть охлажден энергоноситель при поступлении его на следующую стадию технологического процесса в случае его промежуточного охлаждения. В общем случае:

$$\Delta i = c_1 t_1 - c_0 t_0, \quad (1.5)$$

где  $t_1$  – температура энергоносителя на выходе из агрегата-источника ВЭР, °С;  $c_1$  – теплоемкость энергоносителя при температуре (для газов берется теплоемкость при постоянном давлении);  $t_0$  – температура энергоносителя при поступлении его на следующую стадию технологического процесса, либо температура окружающей среды, °С;  $c_0$  – теплоемкость энергоносителя при температуре  $t_0$ .

Для водяного пара энтальпию находят по специальным таблицам. Перепад энтальпий  $\Delta i$  определяется разностью энтальпий водяного пара и питательной воды, поступающей на испарение.

Температуру энергоносителя  $t_1$  на выходе из агрегата-источника ВЭР определяют из расчета его теплового баланса либо из его энерготехнологических характеристик, а также путем замера соответствующими приборами. Теплоёмкость энергоносителя в зависимости от его состава определяют по соответствующим справочникам.

Работу изоэнтропного расширения (кВт·ч/кг) для жидкостей определяют из выражения:

$$l = \frac{0,027 (p_1 - p_2)}{\gamma} \quad (1.6)$$

Здесь  $p_1$  – давление жидкого энергоносителя на выходе из технологического агрегата, Па;  $p_2$  – давление энергоносителя при поступлении на следующую ступень использования или давление окружающей среды при выбросе в атмосферу, Па;  $\gamma$  – удельный вес жидкости, кг/м<sup>3</sup>.

Для газообразных энергоносителей:

$$l = \frac{i_1 - i_2}{860}, \quad (1.7)$$

где  $i_1$  – энтальпия газа перед расширением при давлении  $p_1$  и температуре  $t_1$ , ккал/кг;  $i_2$  – энтальпия газа в конце изоэнтропного расширения до давления  $p_2$  при температуре  $t_2$ , ккал/кг.

Температуру газа  $t_2$  в конце изоэнтропного расширения рассчитывают по формуле

$$t_2 = t_1 \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k-1}{k}}, \quad (1.8)$$

где  $k$  - средний показатель изоэнтропы в интервале температур  $t_1$  и  $t_2$ , определяемый по истинным теплоемкостям газа.

Выход ВЭР определяется рядом факторов технологического характера, поэтому в общем случае суточный график выхода ресурса отличается значительной неравномерностью. В этой связи различают показатели удельного (часового) выхода: максимальный, минимальный (гарантированный) и средний. В расчётах ВЭР обычно определяют средний выход.

Для целей учёта и планирования использования ВЭР необходимо определять объем выхода ВЭР за рассматриваемый период (месяц, год) по формуле:

$$Q_{\text{ВЫХ}} = q_{\text{ВЫХ}}^{\text{уд}} M \quad (1.9)$$

или

$$Q_{\text{ВЫХ}} = q_{\text{ВЫХ}}^{\text{ч}} \tau, \quad (1.10)$$

где  $q_{\text{ВЫХ}}^{\text{уд}}$  – удельный выход ВЭР;  $M$  – выпуск основной продукции (или расход сырья, топлива), к которой отнесён удельный выход ВЭР за рассматриваемый период;  $q_{\text{ВЫХ}}^{\text{ч}}$  – часовой расход ВЭР;  $\tau$  – число часов работы агрегата-источника ВЭР в рассматриваемый период.

Возможное использование горючих ВЭР в качестве топлива, как правило, равно выходу ВЭР. Однако в некоторых случаях имеют место неизбежные потери энергоносителя, обусловленные особенностями

технологического процесса, либо условиями утилизации ВЭР, предварительной его подготовки (очистки, аккумуляции и т.п.). При этом возможное использование ВЭР меньше выхода на величину неизбежных потерь.

Возможное использование ВЭР, утилизируемых с преобразованием энергоносителя, равно возможной выработке энергии за счёт ВЭР в утилизационной установке.

Возможную выработку электроэнергии в утилизационной турбине за счёт ВЭР избыточного давления можно определить по формуле

$$W = M m_{\text{ВЭР}}^{\text{уд}} \ln n_{oi} n_M n_{\Gamma} M \quad (1.11)$$

или

$$W = m_{\text{ВЭР}}^{\text{ч}} \tau \ln n_{oi} n_M n_{\Gamma}, \quad (1.12)$$

где  $n_{oi}$  – относительный внутренний КПД турбины;  $n_M$  – механический КПД турбины;  $n_{\Gamma}$  – КПД электрогенератора.

При выработке механической работы (использование утилизационных турбин для привода рабочих машин) в приведенных выше формулах коэффициент  $n_{\Gamma}$  опускают.

Если в утилизационной, технологической или энергетической установке вырабатывается пар высоких параметров, то он может быть использован по комбинированному направлению в теплофикационных турбинах. Основными характеристиками теплофикационной турбины является: расход теплоты на производство электроэнергии на тепловом потреблении  $q_{\Gamma}$  ккал/(кВт·ч) и удельная выработка электроэнергии на единицу отпущенного тепла  $\varepsilon$  – кВт·ч/ккал. Зная эти характеристики теплофикационной турбины, можно определить отпуск тепла  $Q_0$  и выработку  $W$  в зависимости от количества теплоты  $Q_{\Gamma}$ , поступающего на турбины от теплоутилизационной установки:

$$Q_0 = \frac{Q_{\Gamma}}{1 + \varepsilon q_{\Gamma}} \quad (1.13)$$

$$W = \frac{\varepsilon Q_{\Gamma}}{1 + \varepsilon q_{\Gamma}} \quad (1.14)$$

При поступлении пара высоких параметров от теплоутилизационных установок на конденсационную турбину выработка электроэнергии может быть определена по формуле:

$$W = \frac{Q_T}{q_K} \quad (1.15)$$

Здесь  $q_K$  – удельный расход теплоты на производство электроэнергии в конденсационной турбине.

### 1.3 Определение экономии топлива от использования ВВИЭ

Основой эффективности использования ВВИЭ является достигаемая при этом экономия первичного топлива и обеспечиваемая за этот счет экономия затрат по добыче и транспорту топлива. Важнейшим условием для определения экономической эффективности использования ВВИЭ является определение вида и количества топлива, которое экономится при утилизации ВЭР. Величина экономии топлива зависит от направления использования ВЭР и схемы энергоснабжения предприятия, на котором они используются.

При использовании тепловых ВВИЭ экономию топлива определяют расходом топлива в основных (замещаемых) энергетических установках на выработку того же количества и тех же параметров тепла, что получено за счет ВЭР. При силовом направлении использования ВВИЭ экономию топлива определяют затратами его на выработку в основных энергетических установках количества электроэнергии, равного выработке ее в утилизационных установках.

Экономию топлива за счет использования ВВИЭ определяют по величине утилизированных ВЭР. При тепловом направлении использования ВЭР и отдельной схеме энергоснабжения предприятия экономию топлива определяют по формулам:

- при использовании теплоэнергии, выработанной за счёт ВЭР в утилизационных установках или полученной непосредственно в качестве ВЭР:

$$B_{ЭК} = b_3 Q_T \sigma = b_3 Q_{И} \quad (1.16)$$

- при использовании холода, полученного в утилизационной абсорбционной холодильной установке:

$$B_{ЭК} = b_3 \frac{Q_X}{\varepsilon}, \quad (1.17)$$

где  $Q_T$  – выработка тепловой энергии в утилизационной установке за счёт ВЭР;  $Q_{И}$  – использование тепловых ВЭР;  $\sigma$  – коэффициент использования выработки;  $Q_X$  – выработка холода за счет ВЭР;  $\varepsilon$  – холодильный коэффициент;  $b_3$  – удельный расход топлива на выработку тепловой энергии в замещаемой котельной установке, т у. т./Гкал или т у. т./ГДж:

$$b_3 = \frac{0,143}{n_{ЗАМ}} \text{ или } b_3 = \frac{0,0342}{n_{ЗАМ}} \quad (1.18)$$

Здесь 0,143; 0,0342 – коэффициенты эквивалентного перевода соответственно 1 Гкал и 1 ГДж в тонну условного топлива:  $n_{ЗАМ}$  – КПД энергетической установки, с показателями которой сопоставляется эффективность использования ВЭР. Такого рода энергетические установки именуется обычно «замещаемыми установками». В зависимости от конкретных условий энергоснабжения в качестве замещаемой установки могут рассматриваться промышленные котельные, котельные ТЭЦ с соответственно различными КПД.

Коэффициент  $\sigma$ , представляющий собой долю используемой потребителями выработки тепловой энергии за счет ВЭР, в значительной мере зависит от несовпадения режимов выхода ВЭР и потребления утилизационной тепловой энергии в часовом, суточном и годовом разрезе. Путем соответствующего подбора потребителей и их кооперирования следует обеспечить максимальное использование выработки и повышение значения коэффициента  $\sigma$  до единицы.



При комбинированном энергоснабжении предприятия от заводской или районной теплоэлектроцентрали, использование тепловых ВЭР для теплоснабжения приводит к снижению экономичности работы ТЭЦ вследствие уменьшения тепловой нагрузки отборов турбин. В этом случае экономию топлива за счет ВЭР, определяют с учетом перерасхода топлива на ТЭЦ по формуле:

$$B_{\text{ЭК}} = Q_{\text{И}} [1 - \varepsilon(q_{\text{К}} - q_{\text{Т}})] \frac{0,143}{n_{\text{ТЭЦ}}} \quad (1.19)$$

Здесь  $\varepsilon$  – удельная выработка электроэнергии по теплофикационному циклу турбинами замещаемой ТЭЦ на единицу отпущенного потребителям тепловой энергии;  $n_{\text{ТЭЦ}}$  – КПД котельной ТЭЦ;  $q_{\text{К}}$  – удельный расход тепловой энергии на выработку электроэнергии в энергетической системе или теплофикационной турбиной по конденсационному циклу;  $q_{\text{Т}}$  – удельный расход тепловой энергии на выработку электроэнергии на замещаемой ТЭЦ по теплофикационному циклу.

При силовом направлении использования ВЭР экономию первичного топлива определяют по формуле:

$$B_{\text{ЭК}} = b_{\varepsilon} W \quad (1.20)$$

Здесь  $b_{\varepsilon}$  – удельный расход топлива на выработку электроэнергии в энергетической системе или на замещаемой установке, с показателями которой сравнивается эффективность использования ВЭР;  $W$  – выработка электроэнергии или механической работы утилизационными установками за счет ВЭР.

При комбинированном направлении использования ВЭР и комбинированной схеме энергоснабжения предприятия, экономию топлива за счёт ВЭР можно определять по формуле:

$$B_{\text{ЭК}} = \frac{0,143 Q_{\text{Т}}}{n_{\text{ТЭЦ}}} \frac{1 + \varepsilon q_{\text{Т}} - q_{\text{К}}(\varepsilon - \varepsilon_{\text{У}})}{1 + \varepsilon_{\text{У}} q_{\text{ТУ}}} \quad (1.21)$$

Здесь  $Q_{\text{Т}}$  – количество пара теплоутилизационных установок, поступающего на утилизационную турбину;  $\varepsilon_{\text{У}}$ ,  $q_{\text{ТУ}}$  – удельная выработка

электроэнергии и удельный расход тепловой энергии на выработку электроэнергии на утилизационной ТЭЦ;  $\varepsilon$ ,  $q_T$  – то же на замещаемой ТЭЦ.

При топливном направлении использования горючих ВЭР экономию топлива определяют из выражения:

$$B_{ЭК} = 0,143 Q_{И} \frac{n_{ВЭР}}{n_T} = B_{И} \frac{n_{ВЭР}}{n_T} \quad (1.22)$$

где  $Q_{И}$  – величина использования горючих ВЭР, Гкал;  $B_{И}$  – то же в единицах условного топлива;  $n_{ВЭР}$  – КПД топливо использующего агрегата при работе на горючих ВЭР;  $n_T$  – КПД того же агрегата при работе на первичном топливе.

Величина отношения КПД в формуле (1.22) зависит в основном от физических свойств горючих ВЭР. Для высококалорийных горючих ВЭР это отношение в большинстве случаев может быть принято равным единице. При использовании горючих ВЭР в специальных теплоутилизационных установках для выработки пара (как например, химическая энергия конверторных газов в охладителях с доступом воздуха) – экономию топлива нужно определять по формулам (1.16, 1.19 и 1.21).

Формулы 1.19, 1.21 и 1.22 используют при измерении тепла в Гкал. Если тепловая энергия измеряется в ГДж, то коэффициент в этих формулах необходимо заменить на 0,0342.

По вышеприведённым формулам 1.16 – 1.22 определяют экономию топлива для всех категорий использования ВЭР: возможная, экономически целесообразная, планируемая и фактическая.

По результатам расчётов возможной и фактической (планируемой) экономии топлива за счёт использования ВЭР определяется коэффициент утилизации ВЭР, характеризующий степень использования отдельных видов ВЭР на предприятии, по республике, по экономическому району и отрасли промышленности в целом.

#### **1.4. Технологии использования ВВИЭ и их учёт при проектировании**

Горючие ВВИЭ как дополнительные ресурсы топлива образуются, в основном, в четырех отраслях промышленности: черной металлургии, химической, нефтехимической и целлюлозно-бумажной.

*На предприятиях черной металлургии* к горючим ВВИЭ относят доменные, конвертерные и ферросплавные газы. Из трех видов горючих ВВИЭ, вырабатываемых на предприятиях черной металлургии, наиболее полно используется доменный газ в качестве котельно-печного топлива на ТЭЦ, в котельных и технологических печах. Значительная часть этого газа – (34%) потребляется в самом доменном цехе на отопление воздухонагревателей.

Потери доменного газа в среднем по отрасли составляют 5,5% и приближаются к технически неизбежным, которые оценивают в 5% выхода.

Ресурсы конвертерного газа при охлаждении его без доступа воздуха составляют в настоящее время около 400...450 тыс. т у. т., но в современных условиях ввиду неравномерного выхода и трудности аккумуляции, конвертерные газы практически не используются в качестве топлива, а сжигаются на свечах.

Ферросплавный газ применяется в качестве топлива в энергетических котлах и технологических печах для обжига извести.

В настоящее время на металлургических заводах утилизируется примерно 30% имеющихся ресурсов ферросплавного газа.

*В химической промышленности* горючие ВВИЭ образуются в производствах аммиака, метанола, капролактама, ацетилена, каустической соды, фосфора и в производствах органического синтеза. В производстве аммиака горючими ВЭР являются окси-углеродная фракция, ретурные и продувочные газы, а также жидкие углеводороды. В производстве метанола и капролактама – продувочные газы, в производстве ацетилена – сажевый газ, в

производстве каустической соды – водородный газ, в производстве фосфора – печной газ.

Недостаточный уровень использования горючих ВВИЭ отрасли объясняется тем, что некоторые их виды в силу ряда объективных причин совсем не используются. В настоящее время практически не применяется печной газ производства фарфора из-за его взрывоопасности, не совсем решен еще вопрос об использовании избыточного водорода в производстве каустической соды. С низкой степенью используются продувочные газы в производстве метанола по старым схемам и ретурные газы в производстве аммиака. В отрасли ведутся разработки использования, указанных ВВИЭ в качестве топлива.

***В нефтехимической промышленности*** образуются следующие виды горючих ВВИЭ: абгаз и мототопливо (жидкие углеводороды) производства синтетического каучука, метановодородная фракция (МВФ) производства этилена и отходящие газы производства технического углерода (сажи).

Значительным резервом экономии топлива является использование отходящих газов производства технического углерода.

***В целлюлозно-бумажной промышленности*** горючими ВВИЭ являются: сульфатный и сульфитный щелоки, кора и древесные отходы. Наряду с использованием в качестве топлива, сульфитный щелок, кора и древесные отходы используются также по товарному направлению.

Одним из перспективных направлений энергосбережения, требующим для своей реализации совместных координированных усилий предприятий – с одной стороны, и научно-исследовательских и проектных организаций, обеспечивающих разработку схем теплоснабжения и служб эксплуатации источников теплоснабжения – с другой стороны является комплексное использование ВЭР в схемах теплоснабжения. Хозяйственный механизм до недавнего времени не способствовал проведению таких работ. Часто ведомственные интересы поставщиков тепловой энергии и его потребителей сводится к стремлению, с одной стороны, увеличить мощности источников

теплоты, а с другой, исключить его экономное потребление. По установившейся традиции проектировщики схем теплоснабжения вынуждены и сегодня разрабатывать схемы теплоснабжения на основе выданных предприятиям и потребителям завышенных тепловых нагрузок. Такая практика разработки схем теплоснабжения становится своего рода защитой для предприятий промышленных зон от необходимости проводить энергичную энергосберегающую политику. Выборочная экспертиза проектов промышленных предприятий показывает, что с учетом реальных возможностей энергосбережения тепловые нагрузки многих потребителей могут быть снижены на 20...30% и более.

Если сопоставить потребность отраслей в тепловой энергии без учета энергосбережения, т.е. по заявляемым перспективным нагрузкам, с данными, учитывающими возможности резервов энергосбережения, то в таких теплоемких отраслях как химия и нефтехимия без учета энергосбережения на перспективу обоснованно планируется рост теплопотребления по предприятиям на 20...50%. Анализ показывает, что с учетом реальных резервов энергосбережения потребность в тепловой энергии на тех же предприятиях может быть сокращена на 30...40%.

Данные анализа энергопользования в промышленных зонах показывают, что основным резервом экономии тепловой энергии являются ВЭР. К ним относятся: потери теплоты с отработанным энергоносителем (уходящие газы топливных агрегатов, конденсат теплопотребляющих агрегатов и т.п.), потери теплоты в окружающую среду и потери теплоты, обусловленные особенностями технологии (это потери с отходами производства, полупродуктом и продуктом). Наименьший КПД в промышленности и соответственно наибольший выход ВЭР имеют топливно-использующие агрегаты – различного рода печи во всех отраслях промышленности. Теплота уходящих газов от этих агрегатов представляет собой наиболее распространенный вид ВЭР. Поэтому, чем больше предприятия промышленной зоны потребляют топлива прямого

использования, т.е. для энергоснабжения технологических агрегатов, тем больше выход ВЭР и тем больше возможность покрытия тепловых нагрузок за счет их использования.

По промышленности в целом выход ВЭР, включая низкопотенциальную теплоту уходящих газов, тепловых стоков и выбросов составляет около половины всего их энергопотребления. Следовательно, важнейшей задачей при оценке возможностей энергосбережения в промышленных зонах является анализ их энергопотребления, структуры, характеристики потребителей с целью выявления объемов выхода ВЭР и их возможного использования. Приступая к разработке схем теплоснабжения, целесообразно предварительно провести анализ заявляемых тепловых нагрузок с учетом данных о выходе и возможном использовании ВЭР в промышленной зоне. Технико-экономические расчеты эффективности реализации резервов энергосбережения, сопоставление затрат на энергосбережение с затратами на сооружение дополнительных источников теплоснабжения позволяют обоснованно снижать заявляемые тепловые нагрузки предприятий.

При таких расчетах необходимо учитывать кроме того экологический эффект, как от использования ВЭР (обычно не учитывается), так и от уменьшения мощности источников теплоснабжения. Во многих случаях экологический эффект от использования ВЭР превышает энергетический и является дополнительным важным стимулом в реализации мероприятий по использованию ВЭР.

Проводимые исследования в промышленных зонах показывают, что при анализе резервов экономии тепловой энергии на предприятиях кроме использования ВЭР большой эффект дают такие крупные мероприятия, как:

- регулирование режимов теплоснабжения;
- внедрение систем автоматического контроля и учета за расходом тепловой энергии на стадии потребления;

- анализ возврата конденсата и повышение степени его использования;

- анализ удельных расходов тепловой энергии основного технологического оборудования, сравнение их с современным уровнем и рекомендации по внедрению современного оборудования и технологических процессов;

- обоснованное использование теплоты вентиляционных выбросов.

Учёт этих мероприятий в промышленной зоне должен явиться серьёзным фактором снижения заявляемых нагрузок. Проведение таких технико-экономических расчётов обосновывает не только снижение тепловых нагрузок, но и экономию энергоресурсов, получаемую от разработки оптимизированной схемы с учётом этих мероприятий, экономию капитальных затрат из-за уменьшения количества производимой и распределяемой тепловой энергии и улучшение экологических показателей на предприятиях и источниках теплоснабжения.

Проведение таких технико-экономических расчётов позволит разрабатывать схемы теплоснабжения с учётом реальных возможностей энергосбережения.

### **Вопросы для самоконтроля**

1. Дайте классификацию вторичных энергетических ресурсов.
2. Нарисуйте принципиальную схему использования вторичных энергетических ресурсов.
3. Нарисуйте схему экономии топлива от использования ВВИЭ.
4. Дайте характеристику горючим ВВИЭ как топливным ресурсам, образующимся в чёрной металлургии, в химической, нефтехимической и целлюлозно-бумажной промышленности.

## ГЛАВА 2

### ТВЕРДЫЕ ПРОМЫШЛЕННЫЕ ОТХОДЫ КАК ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЙ ИСТОЧНИК ЭНЕРГИИ

#### 2.1 Использование вторичных горючих энергоносителей

Воспроизводство данного ВВИЭ происходит в огромных масштабах. В лесопильной промышленности бывшего СССР распиловка 100 млн. м<sup>3</sup> древесины ежегодно означала сброс 1/3 этого объёма в отходы. Структура последних показана на рис. 2.1. Каждый год на лесо- и шпалопильных предприятиях накапливалось около 39 млн. м<sup>3</sup> одних лишь кусковых древесных отходов. Аналогичная картина наблюдалась в США. В западных штатах окорка и распиловка превращали в отходы 50,7% массы исходного бревна. Структура американской сбросной древесной массы была иной (мас.%):

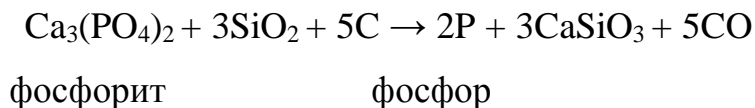
кора .....	24,06
опилки .....	25,64
горбыль, щепа .....	31,95
стружка.....	12,23
торцы.....	6,11

В 80-х гг. XX века ежегодно производилось 82,6 млн. м<sup>3</sup> только опилок. Между тем по величине теплотворной способности 3 кг сухой или 4 кг сырой древесной массы, эквивалентны 1 кг нефтяного топлива.

Угледобыча, шахтная или в открытых разрезах, сопровождается накоплением отходов углепородной массы в терриконах. Последние интенсивно загрязняют окружающую среду в силу пыления и выбросов газов при самовозгораниях. Одна тонна породы в терриконах содержит в среднем — 100 кг угля и сгорает с выделением 3...4 ГДж теплоты. Для сравнения, теплота сгорания тощего донецкого каменного угля — 35 ГДж/т.



При производстве белого фосфора на 1 т товарного продукта приходится 2700 м<sup>3</sup> горючих газов. Горючим компонентом последних является главным образом оксид углерода (II):



Величина низшей теплоты сгорания сбросной газовой смеси соответствует 11 Мдж/м<sup>3</sup>. Сброс образующихся газов в воздушный бассейн недопустим – они содержат токсичные фосфорные пары.

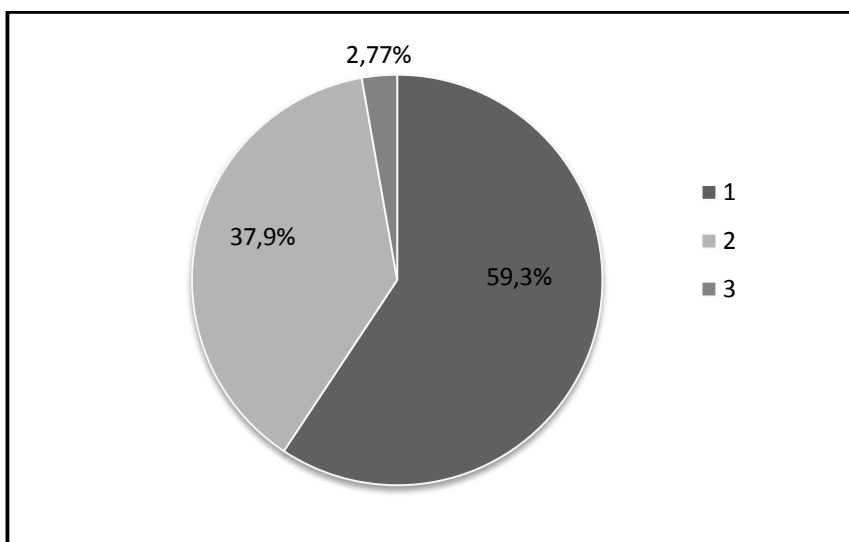


Рисунок 2.1 – Структура сбросной массы отходов лесопиления: 1 – кусковые отходы; 2 – опилки и стружки; 3 – шпон

Перечень примеров подобного рода можно было бы многократно расширить. Суть от этого не изменилась бы: горючие энергоносители вторичного происхождения могут и должны широко использоваться. Направлений этого использования по крайней мере два.

**Прямое сжигание.** Привлекательно простотой технологического процесса. Уже в 1971 г. на ТЭЦ в Финляндии в топливном балансе 2,4% занимали древесные опилки. По опыту ФРГ можно сделать вывод, что

применение в качестве твёрдого топлива опилок почти вдвое выгоднее, чем щепы древесины. При этом 4...6 м<sup>3</sup> сухой древесной массы эквивалентно 1 м<sup>3</sup> сырой нефти.

В США к началу 80-х гг. прошлого века была реализована государственная программа использования древесного топлива. Путём внесения некоторых изменений в конструкцию топок удалось перевести на питание древесной массой котлоагрегаты, ранее потреблявшие жидкое/газообразное углеводородное топливо. При этом цена котельной установки относительно возрастала: до 390 тыс. долларов при паропроизводительности 3,5 т/ч и 530 тыс. долларов при 6...8 т/ч. Однако повышенные капитальные вложения достаточно быстро окупались, и тем быстрее, чем больше была мощность котлоагрегата:

4,4 т/ч ..... 28 месяцев

18,0 т/ч ..... 20 месяцев

Быстрая окупаемость определялась дешевизной древесных отходов, менее 20 долларов за 1 т. Из практики эксплуатации энергоустановок, питаемых этим топливом, следует, что наиболее рационально строительство ТЭС с единичной мощностью 10...30 МВт на расстоянии не более 50...80 км от района лесозаготовок.

Для многих разновидностей вторичных горючих энергоресурсов будут необходимы реконструкция традиционных и освоение принципиально новых котлоагрегатов. Сбросные газы фосфорного производства при конденсации паров воды и свободного фосфора образуют едкие, корродирующие растворы. Сжигание углеродной массы из терриконов может происходить только в топках с «кипящим слоем», большие объемы горючих, в основном состоящих из СО газов сопровождают выплавку стали в конвертерах. Кислород воздействует на расплавленный чугун с образованием оксида железа:  $C + FeO = Fe + CO$ . Но конвертерные газы содержат большое количество пыли и нуждаются или в специальной обработке перед подачей в топку, или в специальных топках.

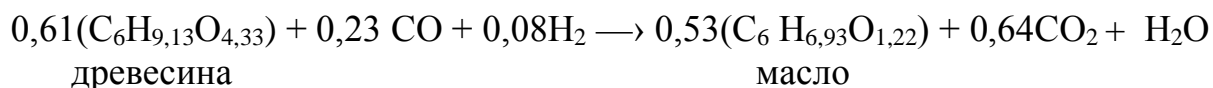
### **Переработка в более энергетически насыщенные топлива.**

Существенным недостатком прямого сжигания является ограничение использования ВВИЭ исключительно местными рамками. Для тех же древесных отходов перевозка «навалом» на расстояние  $> 80$  км нерентабельна. Брикетирование опилок, стружки, древесной пыли и т.п. существенно увеличивает, до 21,2...33,2 ГДж/т, энергоплотность отходов лесопильной и деревообрабатывающей промышленности, но требует значительных начальных капитальных вложений. Поэтому вполне целесообразна переработка горючих вторичных отходов в более богатые топлива, аналогичные по физическому состоянию и применению традиционным нефтяным.

Остановимся на гофрировании древесных отходов, известном с конца 20-х гг. прошлого столетия. Технология заключается в гидрокрекинге биомассы, суспензированной в жидкой среде, в атмосфере водорода (или смеси  $H_2$  и  $CO$ ), с катализатором. В экспериментальном порядке гидрировалась древесная масса дугласовой пихты в тетралине при термобарических условиях 250...290°C и 25...30 МПа. Катализатором служил никель Ренея. При четырёхчасовом воздействии более половины древесной массы преобразовалось в светло-жёлтую, прозрачную углеводородную жидкость. Гидрирование древесины смесью водорода и оксида углерода даёт нефтеподобные масла. В зависимости от технологических условий процесса, в том числе отношения древесина/водород, свойства получаемых масел варьируют:

выход, к массе абсолютно сухой древесины .....	38. . .65%
вязкость .....	5...55000 мПа с
плотность.....	100...1100 кг/м <sup>3</sup>
теплотворная способность .....	23...36 ГДж/т

Химизм процесса описывается уравнением:



Элементарный состав «жидкого дерева» представлен на рисунке 2.2. В целом древесные масла близки по составу и свойствам к тяжёлым остаткам переработки вязкой нефти. Сами по себе они могут быть использованы как заменитель топочного нефтяного мазута. В свою очередь, гидрокрекинг и гидроочистка «жидкого дерева» позволяют получить либо бензин, либо соляр. Древесные нефтепродукты характеризуются однородностью состава. Это смеси аренов (алкилбензолы индены  $\text{C}_9\text{H}_{10}$ ) и циклоалканов (в основном  $\text{C}_5\text{H}_{12}$ ) в соотношении 1:1.

При стоимости и объеме переработки древесных отходов, равных 10 долларам за 1 т и 100 т/сут соответственно, стоимость тонны древесного топлива оценивается около 260 долларов. В настоящее время это весьма дешево.

Гидрирование древесной суспензии в водных средах переводит в раствор 4/5...9/10 от массы исходного сырья. При температуре в пределах 150...360 °С и давлении, равном 23 МПа, преобразуется 85,5 мас. % древесины европейской ели (*Picea abies*) и 94,1 % – осинового тополя (*Populus tremuloides*). Порядка 70% массы жидкости представлено глюкозой. Последняя может быть подвергнута ферментации в топливный этанол.

Газообразное топливо может быть получено в процессе пиролиза. Например, газогенератор «Биомакс» (США) способен перерабатывать с КПД 70% сбросную массу различного состава – от целлюлозы (древесина, бумага) до пластиков. Газ пиролиза, содержащий до 40 об. % горючих компонентов, – в основном СО и водорода, – служит топливом для газомотор-генератора. Сама установка компактна: при размерах 5 х 5 м и мощности 15 кВт её масса равна 1,5 т. Запуск газогенератора длится не более 15 мин.

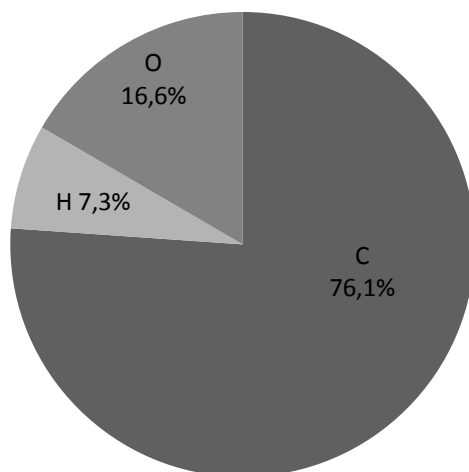


Рисунок 2.2 – Элементарный состав масел, получаемых при гидрировании древесины

Вполне очевидно, что преобразование горючих промышленных отходов в топлива, особенно жидкие, существенно увеличивает ценность этого ВВИЭ.

## 2.2 Использование отходов лесозаготовок

Сегодня в России заготавливается 197 млн. м<sup>3</sup> леса в год, из которых 140 млн. м<sup>3</sup> заготавливается арендаторами (в аренде находится 216 млн. га леса). Арендатор заинтересован только в чистом продукте и совершенно не заинтересован в переработке отходов лесозаготовок. А на 197 млн. м<sup>3</sup> деловой древесины приходится около 53 млн. м<sup>3</sup> отходов: пни, корни, вершины, сучья, ветви, откомлевки, немерные отрезки, обломки хлыстов, кора, хвоя, листья. Если учесть, что 53 млн. м<sup>3</sup> древесины отходов почти в Два раза превышают теплотворную способность 60 млн. тонн торфа, ежегодно добываемого в России, то можно оценить масштаб энергетических потерь. Использование пней и корней является важнейшей задачей лесозаготовительных предприятий, не зависимо от их организационной

формы. Использование только пней и корней позволяет увеличить выход древесины с единицы площади на 15-20%. Основное направление переработка пнёвой древесины – получение соснового и кедрового пнёвого осмола. Технически доказана возможность использования пнёвой и корневой древесины для получения древесностружечных и древесноволокнистых плит.

Древесина вершин деревьев пригодна для получения высококачественной технологической щепы. Древесина сучьев характеризуется повышенной плотностью и высоким содержанием смолы (у хвойных пород), повышенной теплотворной способностью.

Наиболее целесообразный путь использования сучьев и ветвей – использование их как топливо в различных энергетических установках для получения тепла и электроэнергии.

Основной путь использования немерных отрезков и обломков стволов деревьев, образующихся в процессе их падения при валке – получение балансовой древесины и технологической щепы или использование их как топлива.

Кора, как составная часть дерева – естественное органическое удобрение. При её медленном разложении в почве органически связанный азот становится доступным для питания растений. Из коры можно готовить кормовую муку, грубый корм, различные добавки для кормосмесей.

Кора – хорошее топливо. Главными теплотворными элементами при сжигании коры являются углерод и водород. Для использования коры как топлива необходимо, чтобы она имела небольшую влажность (10-20%), относительно мелкий и однородный фракционный состав и достаточно плотную массу. Для выполнения этих требований осуществляют обезвоживание коры различными способами, измельчение её на мелкую однородную массу.

Древесная зелень (хвоя и листья) богата витаминами углеводами, протеинами и аминокислотами, поэтому она является независимым сырьем

для производства витаминной муки, которая добавляется к комбикормам для животных.

Из хвои извлекают хлорофилл, каротин и эфирные масла, которые используют в фармацевтической промышленности и медицине.

Все вышесказанное говорит о том, что отходы лесозаготовок — это не только возобновляемый источник энергии, но и ценное сырье для многих направлений производства.

Если на лесозаготовительном предприятии не организован процесс вывоза отходов с делянки на переработку, то самым оптимальным вариантом будет переработка отходов лесозаготовки прямо на делянке с помощью мобильной мини-ТЭЦ и мобильной установки по производству водорода. Отходы распиливаются до необходимых размеров, загружаются в дереводробилку, из дробилки загружаются в пиролизную печь из которой газ поступает в двигатель внутренней сгорания, приводящий в действие электрогенератор, электрический ток, выработанный электрогенератором поступает на установку электролиза воды для выработки водорода. Водород закачивают в ёмкости и отправляют потребителю. Мини-ТЭЦ и установки по производству водорода уже выпускаются в промышленном масштабе.

### **2.3 Тара, упаковка, технологические прокладки производственных предприятий как возобновляемый источник энергии**

При производстве изделий предприятия делают из дерева и картона упаковку, транспортный крепеж, технологические прокладки и т.д. Некоторые виды сырья, покупные детали и узлы поступают на предприятия в деревянной, фанерной и картонной упаковке укрепленной деревянными брусками.

В течение года такой упаковки на предприятие поступает сотни тонн, и предприятие вывозит упаковку и её детали на свалку бытовых отходов. А дерево и картон это высокоэнергетичные материалы, от которых необходимо

взять их потенциальную энергию в виде тепла, электроэнергии, водорода, кислорода.

Если двадцать лет назад не было ни оборудования, ни технологий для этого, то теперь они разрабатываются. Это мини-ТЭЦ и установки по производству водорода и кислорода посредством электролиза воды. Это даёт возможность предприятию перерабатывать на месте (на предприятии) все отходы от тары и упаковки. Это даст предприятию дополнительную возможность не возить на свалку отходы своего производства, картонные и бумажные отходы, протирочные материалы и ветошь, в том числе промасленную бумагу, картон, тряпьё. Всё это успешно может быть переработано с минимальными отходами в электроэнергию, тепло, водород, кислород для производственных нужд и как товар для реализации.

### **Вопросы для самоконтроля**

1. Перечислите методы использования вторичных горючих энергоносителей.
2. Дайте характеристику этим методам.
3. Дайте характеристику методам использования отходов лесозаготовок.
4. Перечислите направления использования тары, упаковки, технологических прокладок как возобновляемого источника энергии.



## ГЛАВА 3

# ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЖИДКИХ ПРОМЫШЛЕННЫХ И БЫТОВЫХ ОТХОДОВ

### 3.1. Переработка жидких бытовых отходов

Твердая фаза сточных вод канализационных отстоев (КО), представляет собой высококонцентрированную органоминеральную массу. В бывшем СССР в 1980 г. масса КО в пересчете на сухое вещество составляла 4 млн.т при исходной же влажности, равной 96%, объем отстоя измерялся 100 млн.м<sup>3</sup>. В этой невероятно богатой смеси химических веществ органического происхождения редко наличествуют смертельно ядовитые примеси. Поэтому КО неоднократно и в огромных объемах пытались сбрасывать в моря. Результаты неизбежно оказывались сугубо отрицательными.

В 1974 г. во внутреннюю часть Нью-Йоркской бухты сбросили ~4 млн. м<sup>3</sup> КО. Его аэробное бактериальное разложение привело к лишению придонных вод растворенного кислорода. Следствием был замор двустворчатых моллюсков, креветок и рыб. У добытых вблизи подводных свалок омаров и крабов отсутствовала регенерация конечностей: утраченные клешни и ноги не восстановились.

Как показали исследования, в слитом отстое еще полгода спустя сохраняются жизнеспособные бактерии, в том числе кишечная палочка (*Escherichia coli*). Соответственно живые патогенные микробы и вирусы (полиомиелита, гепатита) могут накапливаться в организмах двустворчатых моллюсков-мидий, устриц т.д. Употребление последних в пищу грозит вспышкой эпидемии.

Переработка, в наилучшем варианте полная, бытовых сборных вод (БСВ) необходима во избежание массированного загрязнения окружающей среды. Это – задача непреходящего значения, которая будет стоять перед

людьми до тех пор, пока существует человечество. Если же переработка БСВ получает энерготехнологическую направленность, то в эксплуатацию входит очередной возобновляемый источник энергии.

**Утилизация физической теплоты БСВ.** В данном аспекте мы имеем дело с источником низкопотенциальной тепловой энергии. Её «съем» требует использования мощных тепловых насосов. С другой стороны, этот источник постоянен и богат. Согласно оценке специалистов, если 3% сборной теплоты стоков на одной только Люберцкой аэроционной станции (г.Москва) подвергнется утилизации, то годовая экономия условного топлива достигнет 8 тыс.т. Для этого необходимо установить ТНУ с мощностью электропривода 25 МВт.

По сообщению авторов, к концу 80-х гг. прошлого века в Швеции работало 90 ТНУ с общей тепловой мощностью ~1 ГВт. Они эксплуатировали следующие низкопотенциальные теплоэнергосистемы ( в процентном отношении):

БСВ.....	51
Промышленные сбросные воды.....	15
Воды озер и морей.....	6

Так, в г. Упсала теплота БСВ утилизировалась ТНУ с тепловой мощностью 0,39 ГВт. Тепловой насос вырабатывал горячую воду, используемую в системах отопления и горячего водоснабжения.

**Выработка биогаза.** Известно, что анаэробное сбраживание биомассы любого состава может быть реализовано в двух вариантах – мезофильном и термофильном. Оптимальная температура содержимого метантенка должна соответствовать 35,0...37,8 °С в мезофильном варианте и 54,4...57,2 °С в термофильном. Ферментацию КО желательнее проводить в термофильных условиях для уничтожения патогенной микрофлоры и яиц гельминтов. При этом часть биогаза затрачивается на обогревание метантенков (впервые

реализовано в США в 1915 г.). Но в целом термофильное сбраживание энергетически выгодно.

Приняв выход биогаза с 1 м<sup>3</sup> отстоя равным 12 м<sup>3</sup>, а затраты тепловой энергии на нагревание того же количества КО за ~103 МДж, получим объем теплоты при сжигании биогаза 149 МДж. Уже на небольшой очистной станции, перерабатывающей ~1,5 т/сут КО, ежедневный выход биогаза варьирует между 1000 и 1600 м<sup>3</sup>/сут. Полное сжигание биометана обеспечит получение 22,2...39,4 ГДж/сут тепловой энергии. Столько же тепла в тот же срок даст употребление на топливо 0,6...1,06 т дизельного топлива. Ферментация 1 т сухого отстоя приводит к образованию от 686...748 до 1060...1120 м<sup>3</sup> биогаза. Теплота сгорания последнего в США находится в пределах 20,5...24,2 МДж/м<sup>3</sup> при среднем значении 22,35 МДж/м<sup>3</sup>. Для дальнейшего употребления биогаз освобождают в специальных фильтрах (скрубберах) от примесей сероводорода. Предел допустимой концентрации H<sub>2</sub>S установлен в 0,013 кг/м<sup>3</sup>. Топливное использование 1 млн. м<sup>3</sup> биогаза в год обеспечивает экономию 500 т нефти.

На рис. 3.1 показаны состав и теплотворная способность газа из метантенков на одной украинской аэрационной станции. В данном случае 1 м<sup>3</sup> биогаза может заместить 0,7...1,0 кг условного топлива.

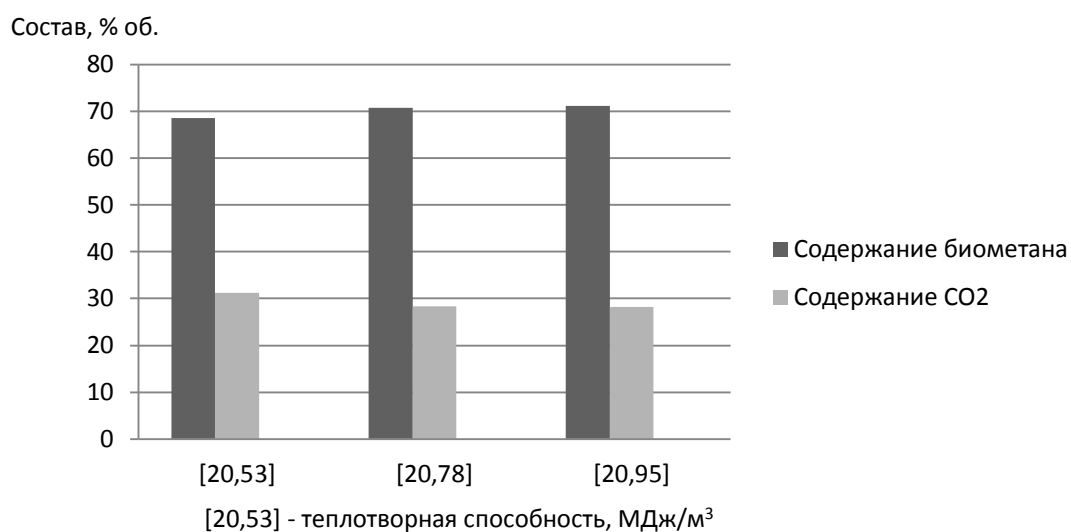


Рисунок 3.1 – Характеристика биогаза из БСВ

Очевидными недостатками технологии анаэробного сбраживания твердой фазы БСВ являются периодичность процесса, вариации состава и теплотворной способности получаемого газа. Крупнейшим преимуществом является возможность создания экологически замкнутой системы (рис. 3.2) утилизации КО. В результате все продукты ферментации найдут применение в промышленности и сельском хозяйстве. При этом все технологические этапы процесса достаточно просто автоматизируются и не нуждаются в большой численности производственного персонала.

Если твердый остаток сбраживания не используется, то может пойти на сброс без причинения окружающей среде существенного вреда. Согласно данным, сброс в Атлантический океан (22 км от г. Филадельфия (США)) ~ 400 тыс. м<sup>3</sup> остатка с 90 %-ной влажностью ежегодно не приводит к уменьшению содержанию водорастворенного кислорода и не влияет отрицательно на состояние морской фауны. Впрочем, Дж. Куллини справедливо считает любое захоронение на континентальном шельфе сбросных органических масс – потенциальных удобрений – чрезвычайно расточительным.

Возвращаясь к энергетическому аспекту переработки твердой фазы БСВ, небезынтересно привести некоторые примеры промышленного производства и использования на топливо биогаза.

В Индии, в г. Нью-Дели завод по переработке КО имел 15 метантенков общим объемом 85,5 тыс. м<sup>3</sup> и производил 17143 м<sup>3</sup>/сут биогаза. Меньшее по мощности предприятие аналогичного назначения в Бомбее (Мумбаи) вырабатывало 2860 м<sup>3</sup> биогаза ежесуточно. Газ брожения подавался в городские трубопроводные сети газоснабжения. Так, в Бомбее биогаз обеспечивал потребности в газообразном топливе 500 жилых домов и офисов.

В Испании годовое производство биометана соответствует 15...17,5 млн. м<sup>3</sup> в год. Здесь за счёт биометана покрывается 70...80 % потребностей в электроэнергии городских очистных станций. Полная утилизация

канализационных сбросных масс привела бы к ежегодному получению 87...101,5 млн. м<sup>3</sup> биометана.

Стокгольм, шведская столица, имеет свыше 3000 автомобилей, потребляющих газообразное топливо – биометан из КО.

Следует отметить, что производство биогаза, независимо от происхождения и состава исходной биомассы, наиболее рентабельно в регионах с субтропическим/тропическим климатом. Действительно, при температуре атмосферного воздуха 15°C поддержание мезофильного процесса брожения – с температурой в метантенках 35°C – требует сжигания в целях отопления 70% объема производимого газа. В условиях низких, но положительных температур скорость ферментации резко сокращается. При +2,6°C и прочих равных условиях выход биогаза составляет 35,7 % от наблюдаемого при +30,3°C. В жарких тропических странах, напротив, среднегодовая температура высока, тогда как интервал между максимальным и минимальным температурными показателями мал. В частности, на о. Тринидад (Карибский регион), лежащем в поясе южных пассатов, годовые температуры следующие (°C):

Минимальная.....	19
Максимальная.....	33
Средняя.....	25

В подобных климатических условиях возможна реализация наиболее динамического варианта ферментации КО при минимальных расходах производимого газа на обогревание метантенков.

**Жидкофазное окисление канализационного отстоя.** Первая (1959 г.) полупромышленная установка для жидкофазного окисления отстоя была введена в эксплуатацию по инициативе инженера С. Драга. На ней перерабатывалось 4 т/сут КО.

Последний подогревался в резервуарах (рис. 3.3) до температуры 80 °C. С помощью питательного насоса низкого давления подавался на прием насосом высокого давления. Насос высокого давления прокачивал отстой со

скоростью 0,9 м<sup>3</sup>/ч при давлении 8,4 МПа на смешивание с воздухом, нагнетаемым компрессором. Водоотстойная смесь проходила два теплообменника: первой ступени, нагреваемый паром, и второй ступени, нагреваемый отходящим парогазом. На выходе температура смеси, поступающей в реактор, достигала 238 °С. Получаемый в реакторе парогаз с температурой 270 °С последовательно охлаждался в двух теплообменниках (°С):

Третьей ступени.....	260
Второй ступени.....	225

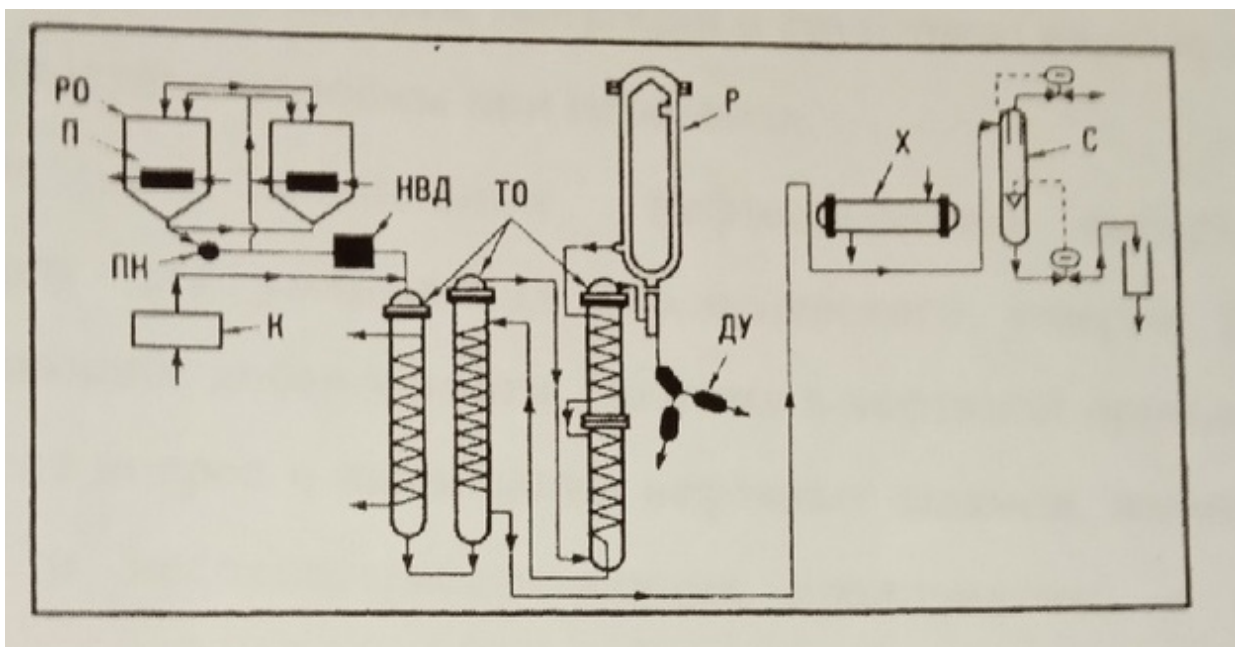


Рисунок 3.3 – Схема установки для жидкофазного окисления КО: РО – резервуар отстоя; П – подогреватель КО; ПН– питательный насос низкого давления; НВД – насос высокого давления; К– компрессор; ТО – теплообменники; Р – реактор; ДУ– дренажные устройства; Х– холодильник для парогаса; С– сепаратор.

Дальнейшее охлаждение парогазовой смеси до 65 °С происходило в водяном холодильнике. Сепаратор осуществляет разделение фаз: газы выпускаются на воздух, вода сбрасывается. При этом ни вода, ни газы, ни твердый остаток переработки КО не обладают характерным запахом.

### 3.2 Переработка жидких нефтесодержащих отходов

В условиях растущего дефицита природных ресурсов, увеличения числа и масштабов техногенных аварий и катастроф проблема утилизации нефтесодержащих отходов стоит наиболее остро.

Анализ существующего положения показал, что на данный момент основная часть образующихся нефтезагрязненных отходов размещается в шламонакопителях нефтяных амбаров.

Нефтешламонакопители являются долговременными источниками загрязнения окружающей среды нефтепродуктами за счет испарения их с открытых поверхностей накопителей, миграции в грунтовые воды при миграции в грунте и в поверхностные водоемы при переливах.

Существование уже заполненных нефтешламовых амбаров требует значительных затрат для уменьшения экологического ущерба и является фактором, сдерживающим добычу нефти. Поэтому в нефтяной промышленности особенно остро стоит вопрос о ликвидации нефтяных шламов, накопленных на нефтедобывающих и нефтеперерабатывающих предприятиях с начала их эксплуатации.

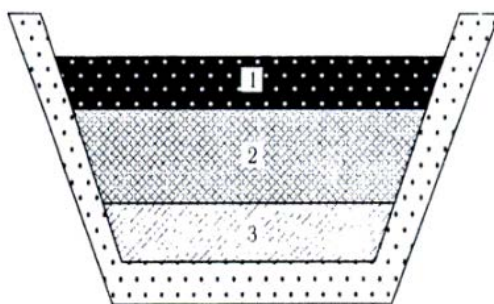


Рисунок 3.4 – Схема разделения нефтешламов методов отстаивания: 1– нефтэмульсионный слой; 2 – водэмульсионный слой; 3– нижний слой с высоким содержанием механических примесей.

Переработка нефтесодержащих отходов представляет собой сложную техническую и технологическую задачу, обусловленную прежде всего устойчивостью нефтяной эмульсии, значительным содержанием механических примесей, неоднородностью перерабатываемого сырья, и направлена на разделение его на углеводородную часть, воду и механические примеси.

В целом все методы переработки нефтешламов можно классифицировать по принципу, на котором основано разделение нефтешламов на составляющие компоненты:

- механические;
- физико-химические;
- термические;
- биохимические;
- комбинированные методы, основанные на сочетании вышеперечисленных методов.

**Механические методы переработки нефтешламов** – это отстаивание, центробежное разделение и гидроциклический метод.

Метод отстаивания (рис. 3.4) основан на разделении компонентов нефтешлама, происходящем из-за различной плотности. Под действием гравитационных сил нефтешлам разделяется на три слоя:

- нефтеэмульсионный слой (содержание нефтепродуктов до 60-80%);
- слой воды с незначительной концентрацией нефтепродуктов (до 10-15%) и механических примесей;
- нижний слой с высокой концентрацией механических примесей (до 70-75%).

Гидрообработка нефтешламов при нагревании – это метод отстаивания нефтешламов с разделением на составляющие компоненты, интенсифицируемый процессом десорбции нефтепродуктов, скорость которого увеличивается при нагревании, а также при перемешивании.



Методы центробежного разделения основаны на работе центробежных сил, под действием которых нефтешламы разделяются на составляющие их компоненты. Центробежные силы могут превосходить гравитационные силы в сотни и тысячи раз, соответственно увеличивая скорость осаждения частиц, сокращая продолжительность процесса и уменьшая необходимый объем аппарата.

В качестве интенсификаторов процессов центрифугирования могут использоваться физико-химические методы – флокуляция, экстракция легкими фракциями нефтепродуктов, отпаривание и т.п.

Обезвреживание нефтяных шламов возможно с помощью гидроциклонной установки.

Гидроциклон представляет собой конический сосуд, который заканчивается цилиндрической частью, закрытый сверху крышкой.

Очистка нефтешламов в декантере. Технология предполагает подогревать нефтяные шламы и направлять в двухфазный декантер, где шлам освобождается от твердых частиц с последующим сепарированием и разделяется на два потока – поток нефти с остаточной водой и поток воды с остаточной нефтью.

**Биохимический метод переработки нефтешламов** основан на способности нефтеокисляющих микроорганизмов разлагать нефтепродукты, рекультивация загрязненной почвы с помощью микроорганизмов осуществляется по двум направлениям.

Активизация метаболической активности естественной микрофлоры почв. Метод применяется при относительно низком загрязнении почвы нефтепродуктами. Основан на том, что в почве содержатся нефтеокисляющие бактерии, способные размножаться при внесении нефтепродуктов. Нефтешламы вносят в почву, где они под воздействием микроорганизмов подвергаются биологическому разложению. Для ускорения процесса биологического размножения изменяют физико-химические

условия (влажность, режим аэрации, введение питательных веществ, рН и т.д.).

Внесение специально подобранных штаммов активных веществ нефтеокисляющих микроорганизмов в загрязнённую почву. Появляется необходимость внесения специально выведенных нефтеокисляющих штаммов организмов в почву. На данный момент разработано много препаратов, предназначенных для микробиологической переработки нефтезагрязнённых земель.

Основные недостатки методов биохимического разложения нефтешламов при внесении их в почву следующие. В результате микробиологических процессов минерализуется лишь часть органических компонентов нефти, которые трансформируются при этом в другие органические соединения, характер действия которых и природный биоценоз пока не изучены. Необходимо проводить биохимическую переработку длительное время в узком температурном диапазоне (что является лимитирующим фактором для регионов с низкими среднегодовыми температурами). Данный метод можно использовать для переработки нефтезагрязнённого грунта при низком содержании нефтепродуктов или как метод окончательной очистки нефтешламов после применения других методов.

**Физико-химические методы переработки нефтешламов** — это экстракция, флотация и сбор нефтепродуктов барабанными сепараторами.

Из физико-химических методов переработки нефтешламов широкое применение получили методы экстракции, основанные на взаимном растворении полярных соединений (нефтепродукты и растворитель). Общая схема проведения переработки нефтешламов методом экстракции показана на рис 3.5. Экстракция нефтепродуктов интенсифицируется при нагревании. Далее происходит разделение твёрдой и жидкой фазы фильтрацией, последующее разделение полярных (нефтепродукты и растворитель) соединений и неполярных и регенерация растворителя.

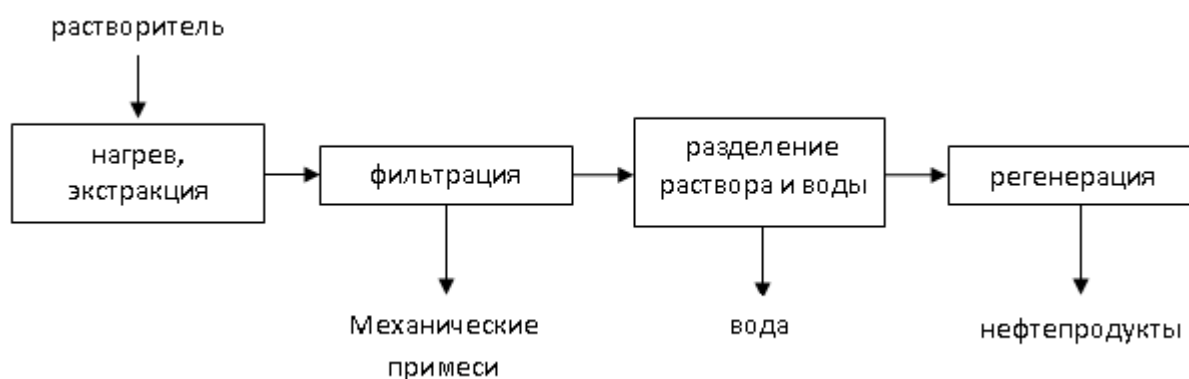


Рисунок 3.5 – Общая схема переработки нефтешламов методом экстракции

Процессы экстракции разделяются по типам применяемых растворителей:

- экстракция органическими растворителями;
- экстракция нефтешламов смесью жидких отходов производства ацетилена и этилена;
- экстракция сжиженными газами;
- метод паровой экстракции.

Основными недостатками любого вида экстракции является необходимость интенсификации процесса. Часто возникают: необходимость замены или регенерации фильтров, неизбежные потери дорогостоящего растворителя, высокие энергозатраты из-за необходимости многократной регенерации растворителя, а также необходимость очистки остатка от самого растворителя.

Обезвреживание нефтяных шламов возможно путём *флотационной очистки горячей водой* (принципиальная технологическая схема представлена на рис.3.6.).

Сбор нефти с поверхности шламонакопителей может производиться при помощи *барабанных сепараторов* (скиммеров), применяемых для ликвидации нефтяных разливов на поверхности водных объектов.

Барабанная скиммерная установка выполнена в виде плавучего бота, которая устанавливается на водную поверхность. Плавучий бот имеет два или более барабанов. Барабаны выполнены из специального материала, притягивающего и удерживающего нефть и нефтепродукты.

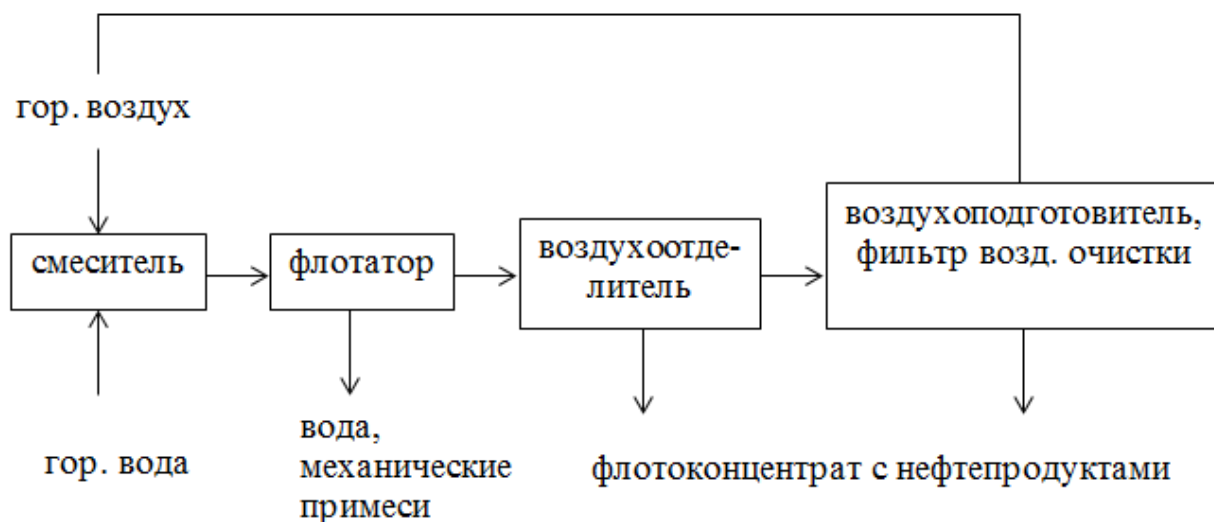


Рисунок 3.6 – Принципиальная схема переработки нефтешламов методом флотации

Способность сбора и удерживания нефти основана на свойствах материала барабана притягивать и удерживать на своей поверхности нефтепродукты, что достигается посредством молекулярной адсорбции и адгезии.

**Термические методы переработки нефтешламов** основаны на процессах термического разложения нефтепродуктов. Полное термическое разложение нефтепродуктов происходит до образования конечных продуктов деструкции —  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$ .

Термические методы деструкции нефтепродуктов разделяются на сжигание (термическое разложение в бескислородной среде).

Наиболее распространён метод обезвреживания нефтезагрязнённых грунтов организованное сжиганием в печах.

### **Сжигание нефтешламов в печах с псевдосжиженным слоем.**

Большое распространение для сжигания нефтешламов получили печи, работающие по принципу кипящего слоя. В печах с кипящим слоем продукт взвешивается в реакционной камере потоком воздуха, проходящего через слой сыпучего материала, не перемешиваясь по направлению этого потока, при этом достигается повышенная теплопроизводительность вследствие интенсивного тепло- и массообмена, сжигание происходит значительно эффективнее, чем в стационарном слое. Скорость газового потока должна быть достаточной для того, чтобы частицы находились во взвешенном состоянии и вихревом турбулентном движении, напоминающем движении кипящей жидкости.

**Пиролиз** — это высокотемпературный процесс глубокого бескислородного термического превращения нефтяного или газового сырья, заключающийся в деструкции исходных веществ с образованием продуктов меньшей молекулярной массы (в т.ч. простых веществ  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$ ). В процессе бескислородного термического разложения образуются жидкие (смола пиролиза) и газообразные (пирогаз) продукты. Пиролиз наиболее приемлем в экологическом отношении, чем сжигание, т. к. позволяет органическую часть отходов не превращать в токсичные продукты сгорания, а использовать как дополнительное топливо для сжигания отходов или конденсировать с получением побочных продуктов.

**Комбинированные методы обезвреживания нефтешламов** получили широкое распространение из-за возможности переработки нефтешламов с различными физическими и физико-химическими свойствами.

Многие применяемые на практике схемы переработки нефтешламов можно отнести к комплексным методам, это сочетание механических методов и методов центробежного разделения с физико-химическими методами, технологические схемы которых были рассмотрены выше.

Универсальная технология переработки нефтяных шламов представляет комплексную задачу, которую необходимо разделить на три составляющие:

- переработка нефтеэмульсионного слоя с утилизацией нефтепродуктов;
- переработка водозэмульсионного слоя с утилизацией или обезвреживанием нефтепродуктов;
- обезвреживание осадочного слоя, близкого по своим свойствам к нефтезагрязненным грунтам.

Для решения такой задачи перспективными являются комплексные методы переработки, т.к. ни один индивидуальный метод не позволяет решить такую задачу во всём объёме.

Существует большое количество методов, пригодных для переработки нефтеэмульсионного слоя нефтешламов, т.к. в нефтеэмульсионном слое образуется высокая концентрация нефтепродуктов (до 50-85%), и утилизация этого слоя с получением товарной нефти представляет собой прибыльное производство.

Водозэмульсионный слой с низким содержанием нефтепродуктов и механических примесей возможно перерабатывать как нефтеэмульсионный слой (задача не является экономически целесообразной), также можно отводить его на очистные сооружения, подвергать термическому разложению, закачивать в нефтеносные слои. Задачу необходимо решать на месте переработки.

Переработка осадочного слоя представляет собой сложную задачу, т.к. он содержит большое количество механических примесей, выделение нефтепродуктов из этого экономически нецелесообразно, к тому же необходимо достижение нормативных допустимых уровней содержания нефтепродуктов в обезвреженном грунте. К осадочному слою близки по свойствам нефтезагрязнённые грунты, образующиеся в результате аварийных разливов нефтепродуктов, а также твёрдая фаза, образующаяся при

переработке нефтэмульсионного (водоэмульсионного) слоя нефтешламов и требующая дополнительного обезвреживания.

Описанные факторы явились основанием создания метода, приемлемого для переработки осадочного слоя нефтешламов, который можно использовать как индивидуальный метод переработки, так и как часть комплексного метода переработки для обезвреживания твёрдой фазы, образующейся в результате переработки нефтешлама.

Для переработки нефтешламов с высоким содержанием механических примесей, нефтезагрязнённых грунтов и твердой нефтезагрязнённой фазы, образующейся при переработке нефтешламов, пригодны термические методы – сжигание (во вращающихся печах) и пиролиз. Процесс сжигания нефтешламов сопровождается выделением большого количества вредных примесей, к тому же необходима подача дополнительного топлива для осуществления процесса сжигания. Пиролиз нефтешламов более приемлем в экологическом отношении, т.к. позволяет сжигать токсичные продукты деструкции нефтешламов и использовать их как топливо. При использовании метода пиролиза возможно получение побочных продуктов обезвреживания - пиролизной смолы и пиролизного газа, возможно утилизировать тепло отходящих газов. Производственные предприятия уже выпускают оборудование на основе вышерассмотренных методов.

Московское предприятие ООО «Линдо» разработало и производит печь по сжиганию отходов — Инсениратор ИН-50.2. Это целый комплекс, предназначенный для сжигания отходов при температуре 850-900°C и дожигания отходящих газов при температуре 1100-1200°C продолжительностью более 2 сек., что обеспечивает полное разложение сложных органических соединений до простейших компонентов. Рекомендуются для утилизации «не чистых» твердых бытовых отходов. Под ними понимаются: отходы, содержащие нефтепродукты (масляные фильтры, ветошь, фильтры промышленных сооружений); отходы ветеринарных учреждений и учреждений здравоохранения; отходы таможенных

терминалов, продовольственных оптовых баз и магазинов в том числе продукты питания с просроченным сроком годности, подлежащие уничтожению. Инсениратор имеет полное нормативно-техническое обеспечение.

Украинское ОАО «Измеритель» предлагает экономные печи на отработанном машинном масле для отопления промышленных зданий, гаражей, автомастерских, теплиц, подсобных помещений и так далее. Основные характеристики: размеры 700x330 мм. (без дымохода), диаметр выхлопной трубы – 80 мм, вес 15 кг. Расход масла – 0,5... 1,5 литра в час. Цена – порядка 50 долларов. Визуально масло сгорает без копоти и дыма за счёт оригинальной конструкции печи.

Машиностроительный завод ООО «фирма ЛАККК» из Санкт-Петербурга предлагает печь, топливом для которой служат отработанное масло гидравлических систем, отработанное масло бензиновых и дизельных двигателей, отработанное трансмиссионное масло, отработанное дизельное топливо или любые смеси указанных масел. Принцип действия печи основан на принудительной циркуляции воздуха. При помощи электрического насоса малой мощности топливо подаётся в камеру сгорания. Продукты сгорания проходят через теплообменник и выводятся наружу через дымоход. На задней стенке печи расположены два вентилятора, один из которых – нагнетательный – подает необходимое количество воздуха для горения, второй – основной, – забирая воздух из окружающей среды, прогоняет его через теплообменник. Проходящий воздух снимает дополнительное тепло с поверхности камеры сгорания и выходит нагретым до определенной температуры. Параметры топливного насоса, нагнетательного и основного вентиляторов подобраны таким образом, чтобы обеспечивать максимальную производительность печи и наибольший КПД.

В ЗАО «Техносфера» из Курска разработано и производится оборудование, позволяющее готовить печное топливо или добавки к печному топливу.



Оборудование рассчитано для использования на нефтебазах, автотранспортных предприятиях, предприятиях машиностроения, в речных и морских портах, локомотивных депо.

Принципиально технологический процесс заключается в удалении грубых механических примесей, обезвоживании смеси отходов, гомогенизации смеси и снижении вязкости.

Предлагается четыре модели установки ТС.УПШТ производительностью от одного до двадцати кубических метров в час.

Эти установки можно также применять для извлечения технического жира или масел из сточных вод предприятий пищеперерабатывающей промышленности (мясокомбинаты, заводы по производству растительных масел, цеха по производству майонеза, мыловаренные заводы и др.) с получением продуктов пригодных для вторичного использования.

Американская компания Global Energy Recovery Corporation представляет установку, преобразующую отработанное масло (моторное, трансмиссионное, гидравлическое, промышленное, трансформаторное, синтетическое) в состояние, которое позволяет полностью использовать его в качестве дизельного или печного топлива. Установка подмешивает высокоочищенные (в установке) масла в соответствующее топливо в точно заданной пропорции с образованием стабильной, неразделяемой топливной смеси. Полученная смесь имеет более высокие параметры по чистоте, обезвоживанию и теплотворной способности, чем топливо до его модификации в установке. Примечательно и название установки — WOTEC (Waste-Oil-To-Energy Converter, то есть преобразователь отработанного масла в энергию).

Установка позволяет: достичь глубокой фильтрации отработанного масла, обеспечить смешивания компонентов стабильно-однородного состояния, реализовать систему электронно-программного управления и контроля точности смешивания масла с топливом, определять приемлемые соотношения смешивания масла с разными вилами топлива для всех

существующих дизелей и котельных установок. При этом имеет приемлемые стоимость и габариты. По заявлению компании, топливо WOTEC полностью соответствует спецификациям самых известных производителей дизельных двигателей в мире, таких, как Caterpillar, Cummins, Detroit Diesel, Perkins.

В качестве базовой модели компания Global Energy Recovery Corporation выпускает машины производительностью 57 литров в минуту (модель 15 S) с возможностью подмешивания масла: до 5% – в дизельное топливо и до 10% – в печное топливо.

ООО «Новые технологии» из Перми разработало установку для переработки отработанных масел, а также газового конденсата и тяжелых нефтяных остатков для получения легких углеводородов с температурой кипения 360°, которые используются в качестве печного топлива. Это топливо предназначено для паровых и водогрейных котлов, теплогенераторов, зерносушилок, дизельных двигателей сельхозтехники, установок для коммунально-бытовых нужд. Оставшиеся тяжелые фракции (гудроны) могут быть использованы в дорожно-строительных работах.

Принцип работы установки заключается в следующем — сырье, проходя через ряд теплообменников, поступает в печь для нагрева до необходимой температуры, где интенсивно перемешивается и активизируется. Далее через блок ректификационных колонн поступает на блок конденсаторов-холодильников. Каждая фракция в зависимости от ее состава, самотеком поступает в отводящий трубопровод, доводится до допустимой температуры и поступает в промежуточные емкости, откуда откачивается в резервуарный парк. Печь работает на жидком топливе (мазут, печное топливо, отработанное масло). Конденсаторы-холодильники охлаждаются воздухом. Резервуарный парк в комплект установки не входит.

Отличительные особенности установки:

- компактность и небольшой вес;
- возможность перевозки автомобильным транспортом;
- монтаж, демонтаж установки – 2 суток (при минимальном объеме работ по подготовке площадки);

- вывод на заданный режим, в зависимости от вида сырья, в течение 1-2 суток;
- в конструкции установки нет дефицитных материалов и узлов следовательно, установка проста в обслуживании и ремонте;
- для обслуживания установки не требуется высококвалифицированный персонал;
- возможность автоматизации процессов.

Московская компания «Новые технологии» производит оборудование, позволяющее из отходов делать печное топливо. Аналогов оборудования заводской готовности комплексно решающих задачу утилизации отходов нет.

Установка предназначена для переработки нефтемаслоотходов и замазученных стоков в добавки к печному топливу или в печное топливо. Установка позволяет очистить сточные воды от нефтепродуктов до степени нефтеловушек с тонкослойным отстаиванием и может заменить существующие или проектируемые нефтеловушки.

Технологический процесс включает предварительную фильтрацию, разделение нефтепродуктов и воды, гомогенизацию полученного топлива, автоматическую откачку полученного топлива в резервуар-накопитель. В случае высокого содержания в нефтепродукте эмульгированной воды, установка работает с введением специальных недорогих деэмульгаторов.

Установка может применяться на нефтебазах, автотранспортных предприятиях, в машиностроении, речных и морских портах, также на пищеперерабатывающих предприятиях для извлечения из сточных вод других ценных компонентов – растительного масла, жиров и т.п. для их повторной переработки.

Оснащение:

- фильтр предочистки (сетчатый);
- блок разделения нефтепродуктов и воды;
- блок гомогенизации;
- промежуточная емкость нефтепродуктов;
- откачивающий насос нефтепродукта;
- блок автоматики и контроля уровней воды и нефтепродуктов.

Всего предлагается четыре модели Т-1, Т-5, Т-10, Т-20 производительностью соответственно 1, 5, 10 и 20 м<sup>3</sup>/ч.

Содержание нефтепродуктов в исходной смеси не ограничено. Содержание нефтепродуктов в сточной воде после переработки – до 300 мг/л. При исходной обводненности до 60% с содержанием смолистых включений удается получить жидкую гомогенную смесь с обводненностью от 1 до 10% (в зависимости от применяемого режима), при этом теплотворная способность возрастает в 2-4 раза и обеспечивает устойчивое горение полученного продукта.

По мнению компании, срок окупаемости капитальных затрат на установку предлагаемого оборудования при непрерывной работе составляет от 5 до 20 дней.

#### **Вопросы для самоконтроля**

1. Какие виды промышленных отходов относят к ВИЭ?
2. Какие виды отходов лесозаготовок относят к ВИЭ?
3. Какие виды отходов деревообрабатывающего производства относят к ВИЭ?
4. Какие отходы относят к жидким бытовым отходам?
5. Какие виды отходов относят к жидким промышленным отходам?
6. Нарисуйте схему экологически замкнутой системы утилизации коммунальных отходов.
7. Нарисуйте схему установки для жидкофазного окисления коммунальных отходов.
8. Нарисуйте схему разделения нефтешламов методом отстаивания.
9. Дайте характеристику методам переработки нефтешламов: механическому, биохимическому, физико-химическому, термическому, комбинированному.
10. Нарисуйте схему экстракции нефтешламов.
11. Нарисуйте схему флотации нефтешламов.

## **ГЛАВА 4**

### **ВТОРИЧНЫЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОМ ПРОИЗВОДСТВЕ**

#### **4.1 Использование отходов сельскохозяйственного производства**

Современное сельское хозяйство является, по сути, своеобразной отраслью промышленности, направленной на возделывание земель, получение продуктов питания и технических культур. Известное и вполне объективное (объясняемое, среди иных причин, неравномерным плодородием почвы и его истощением на перспективу, влиянием труднопредсказуемых климатических факторов, сезонностью работ и пр.) технологическое отставание сельского хозяйства от индустрии в той или иной мере возмещается комплексной механизацией, химизацией и биотехнологическими новациями. Так, аграрный сектор КНР, справедливо прозванный «агрохимической Меккой», ежегодно потребляет 40...42 млн. т минеральных удобрений. Это более половины годового производства удобрений в мире. О технической вооружённости сельского хозяйства различных стран (в расчете на 1000 га пашни) в середине 80-х гг. XX века даёт представление табл. 4.1.

Другим рычагом увеличения эффективности аграрного сектора являются бюджетные ассигнования. В США и Японии в те же времена ежегодные дотации сельского хозяйства были практически равными, измеряясь для каждой страны – 65 млрд. долларов США.

Рост сельскохозяйственного производства сопровождается увеличением энергопотребления в аграрном секторе. Поэтому необходимость широкого производства энергии для аграрного сектора на базе вторичных возобновляемых энергоисточников в самом сельском хозяйстве бесспорна.

Таблица 4.1 – Техническая вооружённость сельского хозяйства различных стран (в расчёте на 1000 га пашни) в середине 80-х гг. XX века

Страна	Сельскохозяйственные машины	
	Тракторы, ед.	Зерновые комбайны, ед.
СССР	9,6	5,7
Великобритания	82,0	14,0
США	36,0	19,0
Япония	488,0	463,0

Сельскохозяйственные ВВИЭ связаны главным образом со сбросной массой отходов выращивания/переработки растительной продукции и содержание скота. Объем сбросной биомассы велик. Для бывшего СССР в 1985 г. общая сбросная масса составляла 515 млн. т, и 48,5% её приходилось на отходы зерноводства. Ежегодное накопление одной только соломы злаковых исчислялось 180..200 млн. т, причем 80...100 млн. т не находило применения. В странах Европы годовой прирост соломы также значителен (млн. т):

Великобритания.....	18
ФРГ.....	25

Порядка 3/5 объема английской соломы бесполезной с точки зрения производства энергии сжигалось на полях. Между тем в среднем 1 тонна сухих растительных отходов замешает 500 кг УТ. Таким образом, полное использование сельскохозяйственных отходов как твердого топлива должно было ежегодно сэкономить до 180 млн. т нефтепродуктов. Следует отметить, что переработка всего объёма жидкостей фазы БСВ крупных городов Советского Союза в биогаз обещала сэкономить лишь 7,0...8,3 млн. т нефтепродуктов.

Крупнотоннажным отходом животноводства является навоз. Представители различных пород домашних животных ежегодно производят в процессе жизнедеятельности до 10 тонн сухого навоза с головы.

В частности, в Индии ежегодное сжигание сухого навоза КРС, главным образом буйволов, эквивалентно – 40 млн. т нефтепродуктов. Самоочевидно,

что более эффективно анаэробное сбраживание экскрементов в биогаз с использованием твёрдого остатка ферментации как насыщенного азотнофосфорного удобрения. По представлениям А.А. Саламова, ферментация 3/4 массы ежегодно образующегося в той же Индии навоза (170 млн. т сухого) дала бы объём биогаза, равный по теплотворной способности 100 млн. т угля. Как показывает филиппинский опыт, твердый остаток после сбраживания может служить для удобрения почвы при выращивании латука, фасоли, томатов, китайской капусты и пр. Ежедневно из 50 кг навоза от пяти голов КРС и 0,05 м<sup>3</sup> воды выделяется 3 м<sup>3</sup> биогаза. Последний обеспечивает бытовым топливом семью из 6...8 человек.

#### 4.2 Топливный биогаз из сельскохозяйственных отходов

Анаэробная ферментация сборной биомассы сельского хозяйства технологически ничем не отличается от реализации процесса метанового сбраживания органических веществ иного происхождения. Выход биогаза и содержание в нем полезного компонента – метана – варьирует в довольно широких пределах (табл. 4.2).

Таблица 4.2 – Выход биогаза и содержание в нём метана

Исходное сырьё	Выход биогаза с 1 тонны сухого сырья, м <sup>3</sup>	Содержание метана в газовой смеси, %
Трава	630	70
Картофельная ботва	420	60
Кукурузные стебли	420	53
Навоз КРС	200...300	60
Свиной	300	60
Птичий помёт	400	65

Теплотворная способность биогаза закономерно варьирует сообразно изменениям содержания в нем метана (рис. 4.2). В составе газа метанового брожения сельскохозяйственных отходов в небольших количествах присутствует сероводород (в процентах по объему, не более):

H<sub>2</sub>S .....3  
H<sub>2</sub> .....1

В среднем 1 м<sup>3</sup> биогаза при концентрации СН<sub>4</sub> 60% эквивалентен по теплотворной способности – 0,5 кг соляра. Авторы определяют выработку электроэнергии газомотор-генератором при потреблении 1 м<sup>3</sup> биогаза в интервале значений 1,5... 1,9 кВт\*ч в зависимости от КПД двигателя.

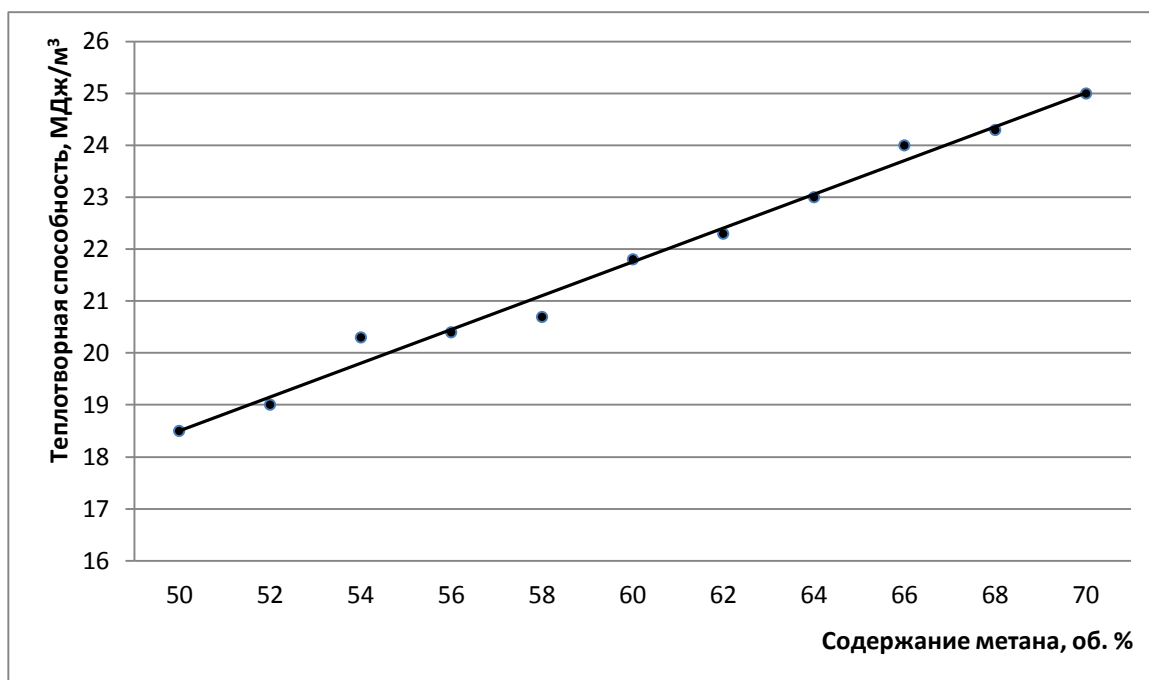


Рисунок 4.2 – Зависимость теплотворной способности биогаза от содержания СН<sub>4</sub>

Роль биогаза, полученного из сбросной биомассы в сфере птицеводства, наглядно показывает следующий расчет. Птицефабрика, насчитывающая 600...650 тыс. голов, производит такой объем помета, который обеспечивает выработку до 120 тыс. м<sup>3</sup>/сут газа. Последний может заместить суточный расход 96 м<sup>3</sup> автомобильного бензина или питать ДВС на электростанции мощностью более 6 МВт.



Не меньший энергетический потенциал в производстве газообразного топлива имеют биологические отходы животноводства. В США данная отрасль сельского хозяйства ежегодно производила (1975 г.) 240 млн. т навоза. Ферментация последнего в полном объеме обещала годовое производство 113 млрд. м<sup>3</sup> биометана. Биометан тогда покрыл бы порядка 18% объема ежегодно потребляемого Соединенными Штатами топливного газа. В частности, обеспечение единичной кухонной плиты требует 79... 100 м<sup>3</sup>/год метана.

К настоящему времени накоплен достаточно богатый опыт промышленного производства биогаза из сельскохозяйственных отходов.

**Куба.** Анаэробному сбраживанию здесь подвергают жидкие/твердые отходы сахарной промышленности:

- твердый остаток фильтрации сока сахарного тростника;
- сусло спиртового брожения;
- отходы дрожжей.

Теплотворная способность 1 м<sup>3</sup> получаемого биогаза аналогична таковой для 1,5 м<sup>3</sup> нефтяного газа. Кубический метр биогаза в состоянии заместить 0,5 литра мазута или 0,8 литра топливного этанола. В опытном порядке на газообразное биотопливо перевели несколько тракторов. Эксперимент оказался успешным.

**Индия.** Крестьянство, составляющее большинство (600 млн. из 1,1 млрд. человек) населения этой страны, проживает в условиях массовой нищеты и технической отсталости. В частности: лишь 1% сельского населения обладает телефонами; 35% деревень не связаны проезжими дорогами; об электростанции на селе говорится как о редком исключении. В данном случае перспективна децентрализованная выработка биогаза из сборной биомассы, позволяющая обеспечить энергией в быту отдельные крестьянские семьи и хозяйства. Средние показатели расхода биогаза на различные бытовые нужды в условиях Азии следующие:

приготовление пищи для одного человека, м<sup>3</sup>/сут ..... 0,28 -0,42

производство электроэнергии при помощи газомотор-генератора,  
 $\text{м}^3/\text{кВт}\cdot\text{ч}$ .....0,6 - 0,7

В то же время усредненная по численности жителей (а именно 114 семей) деревня ежедневно получает от рабочего скота 0,5 т навоза. Сбраживание последнего даёт в среднем  $151 \text{ м}^3/\text{сут}$  биогаза.

В больших городах реализовано централизованное производство газообразного биотоплива на относительно крупных ферментационных предприятиях. В г. Канпур биогазовый завод имеет 12 метантенков по  $50 \text{ м}^3$  каждый. В единичный биореактор загружается 14 т сырья (смеси отходов сахарной промышленности с навозом КРС в соотношении 10:1) и 28 т воды.

**Этапы ферментации приведены в табл. 4.3.**

Цикл ферментации длится 60 сут. За это время отбирается  $168 \text{ тыс. м}^3$  биогаза с концентрацией  $\text{CH}_4$ , равной в среднем 60%. Газ подаётся в городскую газораспределительную сеть.

Таблица 4.3 – Этапы ферментации

Этап	Продолжительность, сут
Брожение без выделения биогаза	10
Брожение с отбором газа	45
Очистка метантенков для новой загрузки сырья	5

**КНР.** В сельском быту расположены мелкие биогазовые реакторы обеспечивающие топливом отдельные семьи, и более крупные установки, питающие деревенские газомотор-генераторы. Деревня, в которой проживает 90 семей, оборудована 84 мелкими реакторами и 7 более крупными. Суточная производительность единичной установки метанового брожения измеряется ( $\text{м}^3$ ):

мелкая семейная..... 4 - 6  
 более крупная коммунальная..... 30 - 33

Газ из более крупных реакторов поступает в газомотор-генератор мощностью 12 кВт. За счет биогаза покрывалось 2/5 от необходимого в деревне объема электроэнергии. Постройка же мелкой семейной установки обходится в 60 долларов США и 12 человеко-дней труда. Более 5 млн. подобных реакторов ежегодно продуцируют порядка 1,3 млрд. м<sup>3</sup> газообразного топлива и снабжают бытовым газом > 35 млн. крестьян.

В городском хозяйстве имеется – 190 электростанций, ДВС которых потребляют биогаз. Выработка биометана осуществляется при сбраживании органических отходов животноводства, птицеводства и виноделия. Например, 1 т сухого органического вещества сбросной биомассы винокурения даёт 468 м<sup>3</sup> биогаза. С 1 м<sup>3</sup> полезного объёма метантенка, в котором ферментируются отходы винокурения, при термофильном (54 °С) брожении выделяется 3 м<sup>3</sup>/сут газа. Суммарная электрогенерирующая мощность при использовании биогаза как топлива составляет 3 ГВт. В целом же по стране энергопотенциал ежегодно производимого газа метанового брожения оценивается в 33000 ТДж, т. е. 1,13 млн. т УТ.

Технологией анаэробного сбраживания не исчерпываются, конечно, возможности преобразования сбросной сельскохозяйственной биомассы в энергетические газы. В частности, пиролиз сухих кукурузных кочерыжек при температуре 360°С позволяет получать газ с теплотворной способностью 18 МДж/м<sup>3</sup> (рис. 4.3). В США в 1968 г. масса кочерыжек превысила 30 млн. т, использовано же было менее 3,5%.

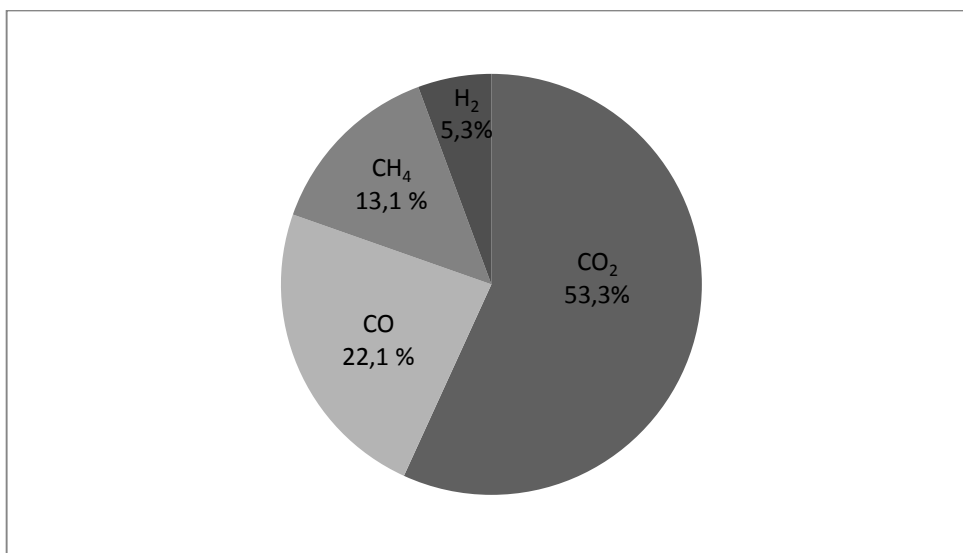


Рисунок 4.3 – Объёмный состав газа пиролиза кукурузных кочерыжек (США)

Однако в условиях США генерирование тепловой энергии при сжигании биогаза (с концентрацией метана до 60 %), полученного из отходов животноводства, обходится вдвое дешевле, чем если бы использовался газ пиролиза ТБО.

Иное положение складывается в развивающихся странах, где на селе оправдывает себя применение передвижных газогенераторов, производящих газ для питания ДВС, приводящих в движение электрогенераторы. Агрегат фирмы «Рино Энерджи» состоит из двух газогенераторов (диаметр и высота каждого составляют 8 и 15 дм) и газомотор-генератора мощностью 25 кВт. Из сельскохозяйственных отходов газогенераторы способны перерабатывать солому и подсушенный навоз. Через 10...15 мин после воспламенения топлива начинает поступать газ, и разовой загрузки газогенератора хватает на 4...6 часов работы. Газовый ДВС шестицилиндровый, объёмом 6 дм<sup>3</sup>. В среднем 2,5...3,5 кг взятой для пиролиза биомассы эквивалентны одному литру нефтепродуктов.

### 4.3 Производство топливного этанола. Гидролиз и аэробное сбраживание

Технология выработки из отходов сельскохозяйственного производства винного спирта в топливных целях обуславливается составом сбросной биомассы. Сухая биомасса, представленная древесиной, нуждается в гидролизе до моносахаридов. Последние затем подвергаются спиртовому брожению. На гидролизных предприятиях бывшего СССР степень использования древесины не превышала 45% при выходе спирта порядка 16... 17 мас. % к исходному сырью. Сахарная биомасса способна к непосредственному спиртовому сбраживанию. Затем жидкость, содержащую 4,5...5,0 об. %  $C_2H_5OH$ , перегоняют с повышением концентрации этанола последовательно до 50...70 и 90...95 об. %. В производстве этанола из сахарной биомассы по технологии непосредственного сбраживания наиболее энергоёмок этап перегонки. Так, получение 1 т спирта из биомассы кассавы (юкки) требует затраты энергии, равной 53,4 ГДж. При этом перегонка занимает в балансе энергорасходов 32%, тогда как собственно ферментация только 8%.

Небезынтересно сопоставить величины энергозатрат на производство этанола и объёма тепловой энергии, полученного при сжигании выработанного спирта. Расход энергии на выработку 1 т этанола из различного биосырья варьирует от 22,6 до 84 ГДж (табл. 4.4).

Таблица 4.4 – Расход энергии на выработку 1 т этанола из различного биосырья

Биомасса	Технология	Энергозатраты, ГДж/т
Сахарный тростник	Непосредственное тепловое брожение	22,6...47,0
Юкка		53,4
Древесная целлюлоза	Гидролиз и аэробная ферментация	84,0

Между тем произведённая тонна  $C_2H_5OH$  выделяет при сгорании 27 ГДж тепловой энергии. Как видно, преобразование цельного сельскохозяйственного сырья и отходов аграрного сектора в топливный спирт далеко не всегда оказывается рентабельным. Очевидно, что наиболее благоприятные условия для такого производства складываются в регионах с тропическим/субтропическим климатом, наделённых плодородными землями и значительными ресурсами дешёвой первичной энергии. Не случайно действительно крупномасштабная переработка биомассы – сахарного тростника, маниока и древесины эвкалиптов – в топливный этанол организована только в тропической и богатой гидроэнергией ФРБ. Что же касается, например, Японии, то здесь производство биоэтанола из риса будет экономически выгодным не раньше снижения цены на последний от 3000 до 170 долларов США за 1 т.

Принципиальная возможность переработки на топливный биоэтанол имеется для многих разновидностей сельскохозяйственных отходов. Рассмотрим только два – багассу сахарного производства и стебли хлопчатника (гуза - паи) (табл. 4.5)

Таблица 4.5 – Компонентный состав некоторых видов сельскохозяйственных отходов

Вид отходов	Компонентный состав, %				
	целлюлоза	лигнин	легкогидро- лизуемые	пентозаны	прочее
Кубинская	26,0	22,2	21,4	28,5	1,9
Гуза-пай	40,0	20,0	-	20,7	13,3

О масштабах ежегодного образования багассы уже шла речь. Ежегодно возобновляемый ресурс биомассы (гуза – пай) в бывшем СССР оценивается в 8 млн. т. причем 3/4 приходится на Узбекистан. Анаэробной ферментацией

всего объема этого отхода хлопководства можно было бы получить 2 млрд. м<sup>3</sup> биометана, снабдив бытовым газом 20 млн. человек.

В свою очередь, гидролиз багассы с последующим сбраживанием позволит вырабатывать следующие полезные продукты (в процентном отношении к массе растворимой части сырья):

этанол.....	52,1
дрожжи.....	59,6

Лигнин, химический состав которого для жома сахарного тростника отображается формулой  $C_{22...120}H_{10...38}O_{3...35}$ , не разлагается при гидролизе. Но он представляет достаточную ценность как твёрдое котельное топливо, тонна которого по теплотворной способности эквивалентна 0,2 т топочного мазута.

Необходимо отметить известную относительность выводов о рентабельности/нерентабельности переработки сельскохозяйственных отходов. Переработки до 15 млрд. м<sup>3</sup> метана, что в сумме может обеспечить экономию органического топлива в размере до 24 млн. т у т. в год. Одновременно будет возвращено в почву около 1,5 млн. т высококачественных удобрений.

#### **4.4. Комплексное энерго - технологическое обеспечение агропромышленных предприятий.**

В 1990 г. при Мосгорисполкоме зарегистрировано государственное межотраслевое научно - производственное объединение «Экоэнергетика» по созданию и освоению экологически чистых технологий в промышленности, энергетике и агрокомплексе (акционерное общество «Экоэн»). В рамках НПО работает несколько научно-исследовательских институтов и научно-инженерных центров; Научно-инженерный центр «Биомасса» разрабатывает, проектирует, строит биогазовые установки и станции под все типоразмерные животноводческие фермы, комплексы птицефабрики, установки индивидуального (семейного типа) для фермерских хозяйств и арендаторов.

Работы в области биогазовых технологий проводятся по полному инновационному циклу, включая НИОКР, разработку сметной документации, исполнение строительно – монтажных и наладочных работ вплоть до сдачи объектов «под ключ». На основе разработанных биогазовых технологий строятся биоэнергетические установки в городах Саратове, Кимрах и Подмосковье

На рис 4.4 представлена схема комплексного энерготехнологического обеспечения фермы – комбината, гарантирующая ее полную автономность и экологическую чистоту, достигаемую за счет безотходного характера хозяйственного цикла. В производственно – технологический цикл включаются: животноводческий объект (коровник), цех молочной продукции, теплично – парниковое хозяйство, земельный участок под зерновые, кормовые и овощные культуры, фрукто-овощехранилище с регулируемой газовой средой, биогазовая установка, водонапорная башня, энерготехнологический комплекс и жилая зона.

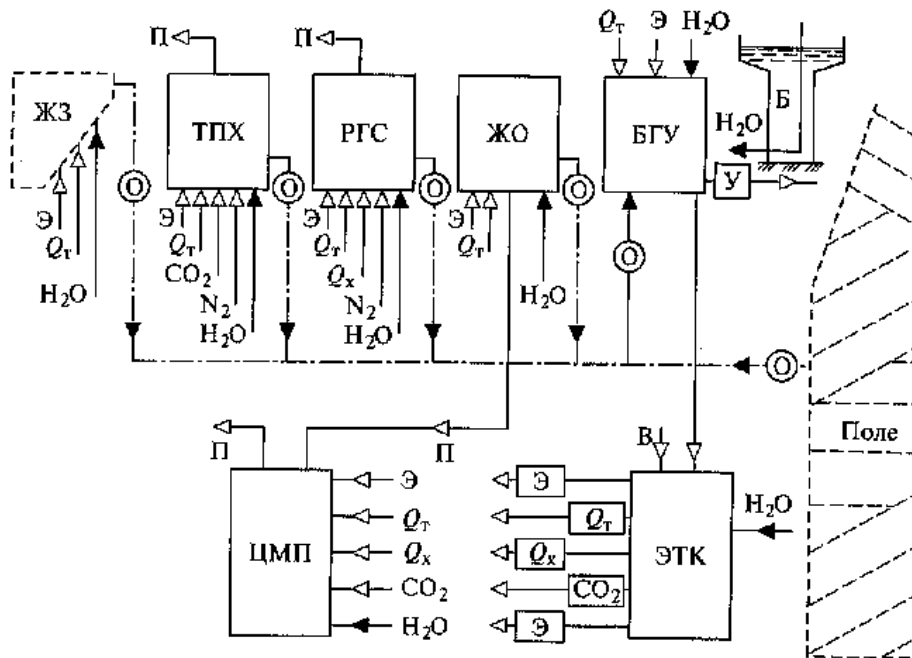


Рисунок 4.4 – Схема комплексного энерготехнологического обеспечения агропромышленного объекта: ЖЗ – жилая зона; БГУ – биогазовая установка; ЭТК – энерготехнологический комплекс; Э - электроэнергия; Q<sub>т</sub> – тёплый воздух; ТПХ– теплично-парниковое



хозяйство; ЖО – животноводческий объект; РГС – регулируемая газовая среда; Б – башня водонапорная; ЦМП – цех молочной продукции; П – пар; В – воздух

Биогазовая установка (БГУ) предназначена для выработки горючего газа, состоящего на 70...80 % объема из метана ( $\text{CH}_4$ ) и на 20...30 % объема из  $\text{CO}_2$ , а также высококачественного удобрения. Производимый в БГУ горючий газ по своей теплотворной способности (5...6 тыс. ккал/ $\text{м}^3$ ) сопоставим с керосином, углем и бутаном, будучи экологичнее их и в 1,5-3 раза дешевле их по стоимости. С помощью БГУ не только производится необходимое топливо, но и утилизируются разнообразные хозяйственные отходы (навоз и стоки животноводческих объектов, отходы жилой зоны, растениеводства), вследствие чего делаются ненужными очистные сооружения, а также другие меры, связанные с защитой окружающей среды. Нуждаясь в электроэнергии, теплоэнергии и воде, биогазовая установка «переваривает» практически все отходы биологического происхождения, вырабатывая топливо и высококачественные удобрения для поля и тепличного хозяйства.

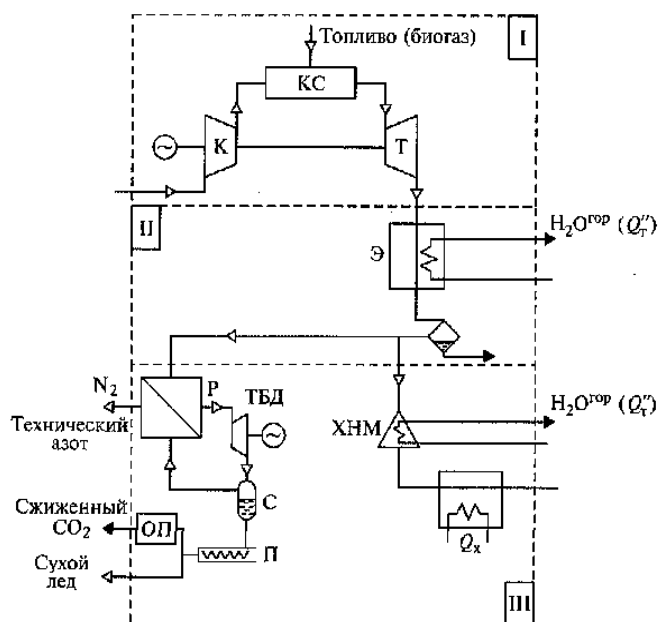


Рисунок 4.5 – Принципиальная технологическая схема комплексной теплохладоэнергетической установки: КС – камера сгорания; Т – газовая турбина; К – компрессор; Э – теплообменный аппарат; ХНМ – холодильно-

нагревательная машина; ТБД – турбодетандер; Р – регенератор; П – прессователь; С – сепаратор; ОП – оживительная приставка.

Энерготехнологический комплекс (ЭТК) предназначается для сжигания биогаза с целью выработки широкого ассортимента энергоресурсов (электроэнергии Э, тепла  $Q_T$ , холода  $Q_X$ ), а также «сухого» льда или сжиженной углекислоты ( $CO_2$ ) и газообразного технического азота путем утилизации образующихся продуктов сгорания. Принципиальная схема комплексной теплохладоэнергетической установки представлена на рис. 4.5.

Схема состоит из трех ступеней: I - сжигания биогаза и генерации продуктов сгорания; II - выработки теплоты  $Q'_T$  или пара; III - выработка тепла  $Q''_T$ , холода  $Q_X$  и  $CO_2$ . В камере КС осуществляется сжигание биогаза в среде подаваемого компрессором К, сжатого атмосферного воздуха. Образующиеся здесь продукты сгорания при повышенном давлении и температуре направляются в газовую турбину Т, используемую для привода компрессора К. В турбине продукты сгорания расширяются до промежуточного давления и температуры 500...550 °С. Теплообменный аппарат Э служит для выработки горячей воды (60...90 °С), либо пара (110...150 °С), подаваемых в систему горячего водоснабжения.

Задача выработки электроэнергии и холода может решаться с использованием различного вида оборудования. На рис. 4.5 показан наиболее общий случай. Согласно схеме холод вырабатывается посредством двух технологических линий. Первая из них снабжена холодильно-нагревательной машиной волнового типа (ВРМ), с помощью которой вырабатывается холод  $Q_X$  на уровне 0...+1°С и тепло  $Q''_T$  на уровне 60...80°С. Производимый холод используется для охлаждения холодильной камеры в цехе молочных продуктов, а тепло  $Q''_T$  – для подогрева воды в системе теплоснабжения.

Вторая технологическая линия ступени III снабжена турбодетандером (ТБД) в комплекте с электрогенератором. Будучи включенным в цикл после регенератора Р, турбодетандер обеспечивает охлаждение продуктов

сгорания в процессе расширения до конечного давления. Посредством электрогенератора ЭГ работа расширения продуктов сгорания преобразуется в электроэнергию, которая расходуется на технологические и бытовые нужды хозяйства.

Достигаемые после турбодетандера температура и давление достаточны для осуществления процесса вымораживания  $\text{CO}_2$ . Хлопья этого вещества брикетируют с помощью прессователя П и отгружают потребителю в виде «сухого» льда. При необходимости в состав установки включается ожижительная приставка ОП, позволяющая производить сжиженную углекислоту. Отводимые из сепаратора С через регенератор Р остаточные газы, состоящие на 95...97 % объема из азота, направляются в качестве консервирующей среды во фрукто-овощехранилище (или хранилище зерна, комбикормов) в целях сохранения качества продукции.

Преимуществами предлагаемого энерготехнологического обеспечения являются его широкие функциональные возможности, экологическая чистота и высокая экономичность. Экономия условного топлива по сравнению с отдельной выработкой энергоресурсов и  $\text{CO}_2$  составляет 40...45% только благодаря отсутствию потерь теплоты с уходящими газами, утилизации высшей теплотворной способности биогаза, использованию теплонасосного эффекта.

Технико-экономические показатели биоэнергетической установки, рассчитанной для ферм среднего размера с численностью в 400 голов крупного рогатого скота (КРС) приведены ниже:

Основные технико-экономические показатели:

Количество голов КРС .....	300-400
Суточный выход навоза, т .....	15-20
Суточный выход биогаза, м <sup>3</sup> .....	1100-1400
Суточный выход экологически чистых органических удобрений при влажности 30%, т.....	26...35

Суточное количество добавляемого торфа, т .....	11-15
Суммарная стоимость объекта, млн. усл. ед. ....	6,62
Окупаемость капитальных вложений, лет .....	1
Стоимость эксплуатационных расходов (фонд оплаты труда, электроэнергия, торфит.д.), млн. усл. ед. ....	1,0
Общие затраты в год окупаемости, млн. усл. ед. ....	7,62
Годовой объем биогаза, тыс. м <sup>3</sup> .....	300
Годовой объем органических удобрений, т.....	8500-11500
Себестоимость 1 т удобрений, усл. ед. ....	900
Ориентировочная рыночная стоимость 1 т удобрений, усл. ед.....	2000
Предполагаемая чистая прибыль от реализации 1 т, усл. ед.....	1100
Годовая прибыль, млн. усл. ед.....	9,4
Ресурс эксплуатации установки (лет).....	10

В Москве в институте ВНИИГАЗ разработаны электростанции мощностью от 3,5 до 48 и 100 кВт. Это модульный тип электростанции, оборудование которой смонтировано в вагоне, что предполагает сооружение только фундамента-платформы. Биогаз экономически выгодно применять для получения электроэнергии на свиноводческих и молочных фермах.

Процесс анаэробной ферментации лежит в основе переработки осадков сточных вод ряда отраслей промышленности, преимущественно пищевой, мясомолочной сахарной и т. д., которые являются крупными потребителями воды и источником ее загрязнения. Так, средний мясокомбинат даёт 4 тыс. м<sup>3</sup> сточных вод в сутки. Выход биогаза из каждого кубометра составляет около 5 м<sup>3</sup>. Всего за сутки может быть получено более 20 тыс. м<sup>3</sup> биогаза.

Большие возможности по экономии энергии и затрат имеются в спирто-дрожжевой промышленности, сахарной, крахмало-паточной и др. Во всех случаях при использовании анаэробной ферментации предприятия

могут экономить до 20% жидкого и газообразного топлива. Однако работы в этом плане ведутся слабо.

Объем использования биогаза, полученного из осадков коммунальных сточных вод, составляет около 50 тыс. т у. т.

Научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы по созданию эффективных установок по использованию биогаза и сокращению энергозатрат на технологические процессы очистных сооружений ведутся рядом организаций.

Разработаны принципиально новые газогорелочные устройства, позволяющие организовать оптимальный режим работы котельной с учетом неравномерности выхода биогаза и изменяющейся тепло- потребности станции аэрации, а также теплоизоляционные установки к биогазовым двигателям, блоки КИП и автоматики.

Оборудование для переработки вторичной биомассы в сельскохозяйственном производстве по данным на 2005 г., общее количество органических отходов составило 624,2 млн. т (225 млн. т сухих веществ) с общим валовым энергосодержанием 80,6 млн. т.у.т.

#### **4.5 Оборудование для переработки вторичной биомассы в сельскохозяйственном производстве**

По данным на 2005 г., общее количество органических отходов АПК составило 624,2 млн. т (225 млн. т сухих веществ) с общим валовым энергосодержанием 80,6 млн. т у.т.

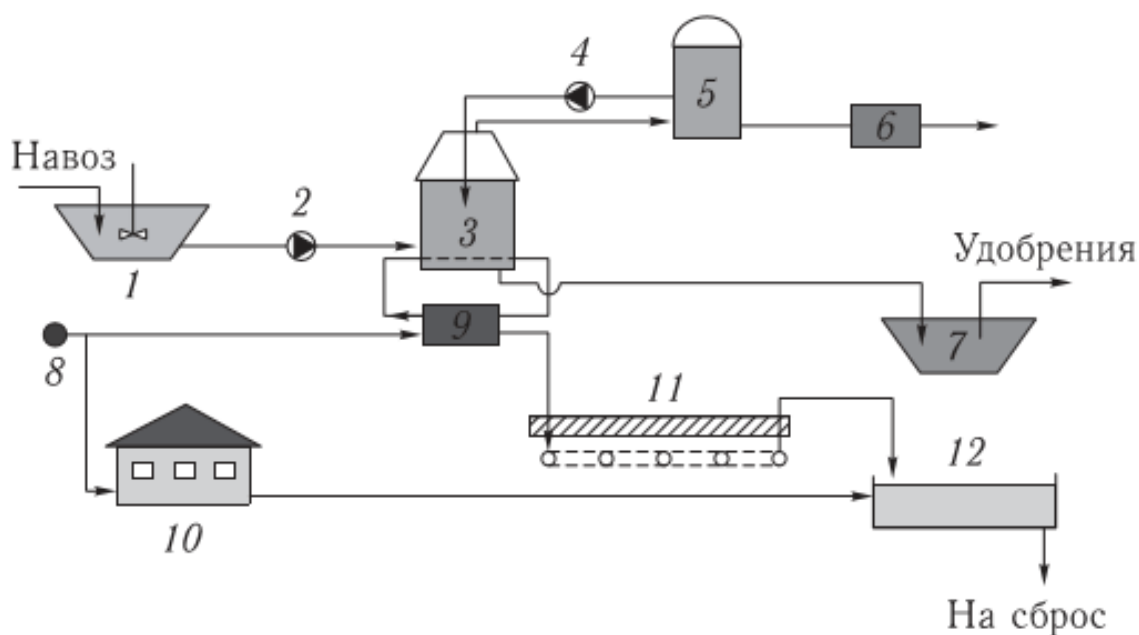


Рисунок 4.6 – Схема комплексного использования термальных вод: 1 – резервуар для подготовки сырья; 2 – дозирочный насос; 3 – метантенк; 4 – компрессор; 5 – газгольдер; 6 – аппараты очистки биогаза; 7 – сборник удобрений; 8 – геотермальная скважина; 9 – теплообменник; 10 – тепличный комбинат; 11 – система подпочвенного обогрева грунта с трубами, уложенными на некоторой глубине; 12 – рыборазводный бассейн

Таблица 4.6 – Биоэнергетический потенциал России

Древесина	800 млн. т	Осадки сточных вод	10 млн. т
Сельскохозяйственные отходы	250 млн. т	Отходы животного происхождения	10 млн. т
Древесные отходы	70 млн. т	Возобновляемые ресурсы торфа	60 млн. т
Твердые бытовые отходы (ТБО)	67 млн. т	Энергетический потенциал	200 млн. т

С появлением в России фермерских хозяйств возникла необходимость в создании достаточно простых в использовании комплексов по производству биогаза из органических отходов.

Индивидуальная биогазовая установка ИБГУ-1, разработанная Центром «ЭкоРос» (Москва), предназначена для безотходной переработки любых органических отходов, образующихся в фермерских хозяйствах, с получением биогаза и экологически чистых органических удобрений. Эти удобрения богаты азотом, фосфором, калием и другими необходимыми для жизнедеятельности растений макро- и микрокомпонентами. Одна тонна таких удобрений соответствует примерно 80—100 тоннам органических отходов (навоза). Суточный объем обрабатываемых органических отходов примерно равен 50 – 200 кг при влажности до 85 %. Суточный объем выделяемого биогаза, в зависимости от объема загружаемого органического сырья, колеблется 3 – 12 м<sup>3</sup>. Биогаз содержит метан (55 – 60%) и диоксид углерода; его теплота сгорания достигает 25 МДж/м<sup>3</sup>, что эквивалентно 0,7 л мазута или 3,5 кг дров. Биогаз можно использовать в быту для приготовления пищи, отопления помещений, сжигать в топках котельных.

Биогазовая установка состоит из биореактора (рис. 4.7) объемом 2,2 м<sup>3</sup> и газгольдера мокрого типа объемом 3 м<sup>3</sup> (рис. 4.8). Установка перерабатывает в сутки навоз крупного рогатого скота от двух до шести голов (до 200 кг в сутки) или навоз 20 – 60 голов мелкого рогатого скота и свиней.

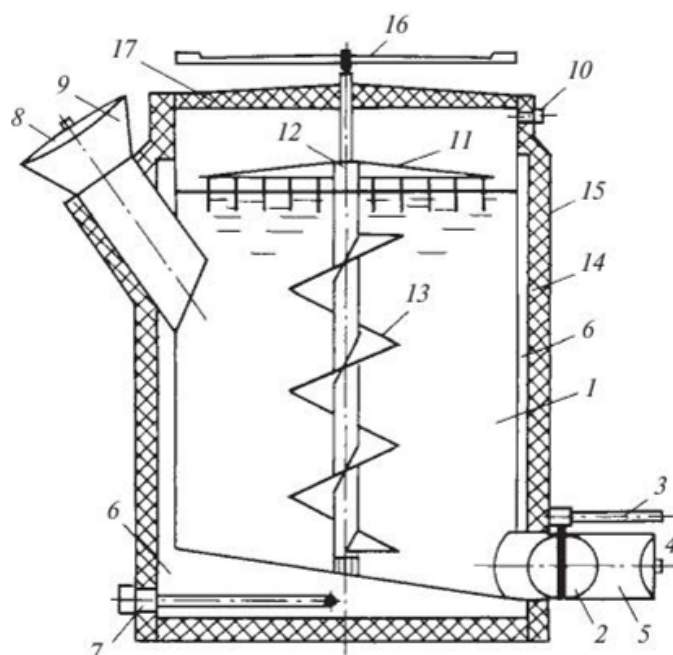


Рисунок 4.7 – Схема биореактора-метантенка ИБГУ-1: 1 – корпус биореактора; 2 – диафрагма; 3 – рукоятка; 4,8 – затворы; 5 – шлюз для выгрузки сброженной массы; 6 – корпус тепловой рубашки; 7 – электронагреватель (ТЭН); 9 – загрузочный люк; 10 – газовый штуцер; 11 – гребенка; 12 – вал мешалки; 13 – шнек; 14 – облицовка теплоизоляции; 15 – теплоизоляция; 16 – рукоятка-крестовина мешалки; 17 – крышка биореактора

Кроме того, в качестве сырья можно использовать отходы растительного происхождения, такие как капусту, солому, стебли кукурузы и подсолнечников, а также пищевые отходы.





Рисунок 4.8 – Индивидуальная биогазовая установка ИБГУ-1 (на переднем плане – газгольдер, на дальнем – биореактор)

Применение таких технологий дает возможность одновременно решить следующие проблемы:

- санитарно-экологическую (ликвидация и обеззараживание отходов)
- энергетическую (получение качественного топлива — биогаза и, следовательно, тепловой и электрической энергии);
- агрохимическую (получение высокоэффективных органических удобрений);
- социальную (улучшение условий труда и быта населения, увеличение урожайности сельскохозяйственных культур при сокращении применения химических удобрений, ядохимикатов и средств защиты растений).

Комплект ИБГУ-1 производится серийно и в полной заводской готовности транспортируется на одном КАМАЗе с полуприцепом. Она рассчитана для работы в любых климатических условиях.

Биогазовые установки ИБГУ-1 и БИОЭН-1 выпускают АО Центр «ЭкоРос», АО «Стройтехника – Тульский завод», АО «Юргинский машиностроительный завод», АО «Заволжский авторемонтный завод».

Автономный биоэнергетический модуль для среднего фермерского хозяйства (БИОЭН-1) предназначен для безотходной, экологически чистой переработки органических отходов сельскохозяйственного производства (навоза, помета, твердых бытовых отходов, пищевых отходов, растительных остатков) в газообразное топливо – биогаз, конвертируемый далее в электрическую и тепловую энергию, и экологически чистые органические удобрения.

Состав оборудования модуля: состоит из двух биореакторов-метантенков по 5 м<sup>3</sup> каждый и газгольдера мокрого типа на 12 м<sup>3</sup>. Модуль может быть также укомплектован биогазовым теплогенератором мощностью 23 кВт, электрогенератором мощностью 4 кВт, бытовой конфорочной биогазовой плитой; инфракрасными горелками на биогазе мощностью 5 кВт. Площадь помещения, отапливаемого БИОЭН-1, составляет от 150 до 200 м<sup>2</sup>; суточное количество перерабатываемых отходов при влажности 85 % – до 1 т; количество вырабатываемого биогаза (60 % метана) – до 40 м<sup>3</sup>/сут; количество вырабатываемой электрической энергии – 80 кВт\*ч/сут, тепловой энергии – 230 кВт\*ч/сут; количество вырабатываемых органических удобрений – 1 т/сут; собственные потребности в энергии на поддержание термофильного процесса – 30%.

Модуль «БИОЭН-1» может быть собран в батарее из двух, трёх и четырёх комплектов.

Биогазовые технологии используются в любых климатических регионах России. Причем они дают возможность производить не только газообразное топливо, но и высокоэффективные органические удобрения, получившие торговую марку БИОУД. Высокая эффективность удобрений БИОУД объясняется действием ауксинов (биологических стимуляторов роста растений), которые повышают биологическую активность растения,

ускоряют усвоение углекислого газа и увеличивают накопление зеленой массы. Для обработки 1 га угодий достаточно 1 т БИОУД.

АО «Энерготехнология» (Санкт-Петербург) выпускает термохимические газогенераторы. В таком газогенераторе в результате термической переработки из биомассы получается топливо, которое может быть использовано без дополнительной очистки для сжигания в топках паровых и водогрейных котлов, в различных технологических установках для нагрева и сушки, стационарных двигателях внутреннего сгорания с получением электроэнергии, коммунально-бытовом хозяйстве для получения горячей воды и обогрева жилых помещений. Исходным сырьем для газогенератора являются любые органические отходы.

В табл. 4.7 приведены характеристики биоэнергетических установок, производимых в России. Установки выпускаются серийно, срок окупаемости в некоторых случаях исчисляется месяцами, тем не менее, широкого спроса на них нет. Вопросы энергоснабжения на местах часто решаются явно себе в убыток, предпочтение отдается привозным ископаемым топливам, когда под рукой имеются практически неограниченные запасы биомассы.

За несколько лет в России сформировался новый для нашей страны бизнес – производство биотоплива (древесных гранул, брикетов, топливной щепы). По мнению экспертов, только в Северо - Западном регионе количество предприятий по производству такого топлива за 5 лет выросло в 10 раз. Ожидается, что через несколько лет производство топливных гранул в стране увеличится ещё в 3– 4 раза.

Таблица 4.7 – Биоэнергетические установки, производимые в России

Технические показатели	Газогенераторные установки		Биогазовые установки	
	200 кВт	600 кВт	ИБГУ-1	БИОЭН-1
Сырье	Опилки, щепы, хлысты, дрова. ТБО, торф, солома, стебли, лузга, лигнин		Отходы крупного и мелкого рогатого скота, лошадей, свиней, верблюдов, птицы, фекалии, растительные остатки, твердые бытовые отходы	

Продолжение таблицы 4.7

Влажность допустимая	Не более 60 %		Не более 85 %	
Количество перерабатываемого сырья	80 кг/ч (сухих веществ) 200 кг/ч (60 % влажности)	240 кг/ч (сухих веществ) 600 кг/ч (60 % вл.)	200 кг/сут	1000 кг/сут
Тип производимого топлива	«Синтез-газ» или «генераторный газ»		Биогаз	
Состав топлива	Монооксид углерода (угарный газ), водород, метан, следы углеводов		Метан 60 %, диоксид углерода 40 %	
Количество вырабатываемого топлива	Тепловой 200 кВт*ч	Тепловой 600 кВт*ч; электрической 180 кВт • ч	10 м <sup>3</sup> /сут	40 м <sup>3</sup> /сут, 80 кВт*ч (электрическая) 230 кВт*ч (тепловая)
Окупаемость	2–2,3 года	2,5–3 года	0,5 года	0,5 года
Мощность электрогенератора	-	200 кВт	-	4 кВт
Мощность теплогенератора	200 кВт	600 кВт	-	23.2 кВт
Дополнительно производимые продукты	Зола		Жидкие экологически чистые органические удобрения	
Фирма-разработчик	АО «Энерготехнология», Санкт-Петербург		АО Центр «ЭкоРос», Москва	
Фирма-изготовитель	АО «Энерготехнология»		АО Центр «ЭкоРос», АО «Стройтехника — Тульский завод», АО «Юргинский машиностроительный завод», АО «Заволжский авторемонтный завод»	

Специфика нового бизнеса в том, что он ориентируется в основном на экспорт, причем если предприятия, расположенные в европейской части России, предлагают свою продукцию прежде всего в страны Скандинавского полуострова, Италию, Германию и другим европейским потребителям, то предприятия из Сибири рассчитывают на восточные рынки. Например, руководство открывшегося в конце 2006 г. завода по производству пеллет на базе деревообрабатывающего комбината «Енисей» (Красноярский край) планирует поставлять свою продукцию в Японию, а со временем, возможно, и на российский рынок.

По экспертным оценкам в России производится около 30 тыс. т пеллет. Однако прямое сложение производственных мощностей всех российских предприятий по выпуску пеллет даёт значение почти на порядок больший – 280 тыс. т.

Производство пеллет из отходов растениеводства (соломы, стеблей, шелухи, ботвы и т.д.) может составить до 147 млн. т. Ведущими Федеральными округами могут быть Южный, Приволжский, Центральный и Сибирский (табл. 4.8)

Таблица 4.8 – Потенциальные возможности производства пеллет и их конверсии в «синтез-газ» и водород

Округ	Производство		
	пеллет, млн. т	Сингаза, млрд. м <sup>3</sup>	Водорода, млрд. м <sup>3</sup>
ЦФО	14	23	11,5
СЗФО	1,13	1,85	0,92
ЮФО	94	154	77
ПФО	23,5	38,5	19,2
УФО	3	4,9	2,45
СФО	10,9	17,9	8,95
ДФО	6,6	10,8	5,4
РФ	147	133	68,9

Южный федеральный округ способен с избытком удовлетворить потребности в топливе и энергии не только своего аграрно-промышленного комплекса, но и округа в целом: сельское население округа составляет 9,7 млн. чел., их потребность в обеспечении электроэнергией на современном уровне может составить (из расчёта 3 – 4 кВт\*ч/(чел\*сут)) – 14 млрд. кВт\*ч/год, для чего потребуется биогаза до 6 млрд. м<sup>3</sup>/год, или 21 % его возможной выработки (28 млрд. м<sup>3</sup>). Округ расходует в год до 3,4 млн. т бензина и до 4,3 млн. т дизельного топлива, для их замещения необходимо до

15,4 млрд. м<sup>3</sup> биогаза. Таким образом, только за счет производства биогаза транспорт и сельскохозяйственные машины могут быть обеспечены топливом.

Россия имеет возможности для интенсивного развития практически всех современных направлений использования биомассы для энергетики. Кроме того, возможен экспорт отдельных видов биоэнергосносителей, в первую очередь пеллет и транспортного этанола. Российские разработки в области технологий и оборудования по газификации и пиролизу древесины, производству этанола из сахарного и крахмалистого сырья, получению и использованию биогаза и биоводорода соответствуют мировым требованиям.

### **Вопросы для самоконтроля**

1. Перечислите виды отходов сельскохозяйственного производства и охарактеризуйте их объемы.
2. Из каких отходов сельскохозяйственного производства можно получить топливный биогаз?
3. Охарактеризуйте производство топливного этанола гидролизом.
4. Охарактеризуйте производство топливного этанола аэробным сбраживанием.
5. Нарисуйте схему комплексного энерготехнологического обеспечения агропромышленного объекта.
6. Нарисуйте технологическую схему комплексной теплохладоэнергетической установки.
7. Дайте характеристику биоэнергетическим устройствам, производимым в России.
8. Нарисуйте принципиальную схему биореактора – метантенка ИБГУ – 1.

## ГЛАВА 5

# ВТОРИЧНЫЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ

### 5.1 Сбросное тепло – возобновляемый источник энергии

Ресурсы этой группы ВВИЭ без преувеличения огромны. Возвращаясь к проблеме оборотной воды с температурой от 20 до 40°C, необходимо отметить, что в СССР по состоянию на 1980 г. её объём соответствовал 132 км<sup>3</sup>. Другими немаловажными составляющими в громадном объёме вторичных тепловых энергоресурсов являются вентиляционные выбросы (воздух при температуре 20°C); водяной пар из систем испарительного охлаждения, несущий, помимо, тепловой, энергию избыточного (< 0,3-0,5 МПа) давления; отходящие газы с температурой до 300°C и т.п. Их использование иллюстрируют примеры из сталеплавильной и химической промышленности.

При производстве азотной кислоты методом окисления аммиака кислородом воздуха реакция  $4\text{NH}_3 + 5\text{O}_2 \rightarrow 4\text{NO} + 6\text{H}_2\text{O}$  сопровождается выделением большого объёма тепловой энергии. Получаемая смесь оксида азота, азота, кислорода и водяных паров – так называемые нитрозные газы – имеет температуру 875 - 900°C. По выходу из контактного аппарата, в котором осуществляется окисление, газовая смесь направляется в котёл – утилизатор. Последний вырабатывает пар для нужд предприятия.

Мартеновский способ получения литой стали из чугуна и скрапа (металлического лома) требует создания в рабочем пространстве печи температуры, приближающейся к 1700°C. Отходящие печные газы пропускают через регенераторы, воспринимающие сбросную теплоту решетчатыми насадками из огнеупорного кирпича. Последующий ввод в регенераторы холодного топочного газа и воздуха обеспечивает нагревание

топлива и окислителя до 1100 - 1200°C, а соответственно достижение необходимой температуры в пламенной печи.

Утилизация тепловых вторичных энергоресурсов в масштабе, соответствующем объёму их выработки, осложняется низким потенциалом аккумулированной ими тепловой энергии. Согласно оценке низкопотенциальными являются > 43% вторичных источников теплоты. Действительно, сбросная вода из систем кондиционирования воздуха в производственных помещениях текстильных предприятий Великобритании уносит в канализацию с каждым кубическим метром объём энергии, исчисляемый в 0,9...1,5 кВт на 1 кВт электрической мощности кондиционера. Но её температура не превышает 20...22°C. Отсюда «съём» рассеянной тепловой энергии эффективен лишь с помощью тепловых насосных установок. Тем не менее, использование подобного ВВИЭ имеет большое значение. В частности, ежесуточный сброс в Москву - реку 5 млн. м<sup>3</sup> оборотной воды с температурой в зимний период 16...22°C эквивалентен утечке тепловой мощности в объёме 3...4 ГВт.

#### **Использование сбросной тепловой энергии низкого потенциала**

В ФРГ на предприятиях корпорации «Крупп Индустритехник» частично, на 37% от общего объёма, утилизировалась теплота оборотной воды. Вода имела температуру 13...26°C. «Съём» рассеянного тепла производился абсорбционными ТНУ с парой рабочих тел NH<sub>4</sub>OH – аммиак и электрической мощностью 50 кВт. На выходе из установки генерировался пар с температурой 127°C.

Согласно расчётам, утилизация рассеянной сбросной теплоты для производства холода абсорбционными ТНУ позволит экономить 0,26...0,39 ГДж на выработку 1 ГДж холода. Данная экономия в топливном эквиваленте означает сбережение 8,9...12,3 кг УТ. При этом низкопотенциальное тепло может потребляться только водоаммиачными теплонасосными холодильными машинами. Они вырабатывают холод – 45 °С. Напротив, абсорбционные ТНУ с 88 парой рабочих тел вода – бромидлития способны



преобразовать лишь высокопотенциальную, с температурой носителя 100...120°C, тепловую энергию. Холод на выходе будет не ниже +3°C.

### **Использование высокопотенциальной сбросной энергии**

Технологически оформляется достаточно просто: включением в систему газовых теплообменников, экономайзеров и пр. В отношении энергетических установок утилизация отходящей теплоты обуславливает повышение КПД, т.е. эффективности использования топлива. Ограничимся двумя краткими примерами.

Величина КПД газотурбинной установки в общем случае не превышает 25%. Если же тепло выхлопных газов используется для производства пара высокого давления в котле – утилизаторе, то КПД достигает 72%.

В ФРГ к началу 80-х гг. XX века эксплуатировались стационарные электростанции мощностью 0,2...10 МВт с ДВС. Двигатели потребляли газ, получаемый при пиролизе различной сбросной биомассы. На выработку 1 кВт\*ч электроэнергии затрачивалось 2 кг влажных древесных отходов. Утилизация теплоты выхлопных газов, оборотной воды и смазочного масла позволила довести значение КПД станции до 82...85 %.

Судить о возможностях выработки электроэнергии на базе утилизации сбросной теплоты удастся с полным основанием на опыте эксплуатации морского судна «Гудрун Маерск» (Дания). В данном случае используется тепловая энергия выхлопных газов, продувочного воздуха и оборотной воды. Основным элементом утилизационной системы (рис. 5.1) выступает экономайзер, в котором вода воспринимает теплоту выхлопных газов. Питающая экономайзер вода, в свою очередь, нагревается продувочным воздухом до температуры, близкой к 100°C. Перегретый пар из экономайзера поступает на расширение в турбоагрегат, приводящий в движение электрогенератор. Произведенная электроэнергия расходуется на повышение судового моторесурса и вспомогательное электроснабжение. Часть пара отбирается из экономайзера для надобностей судового отопления.

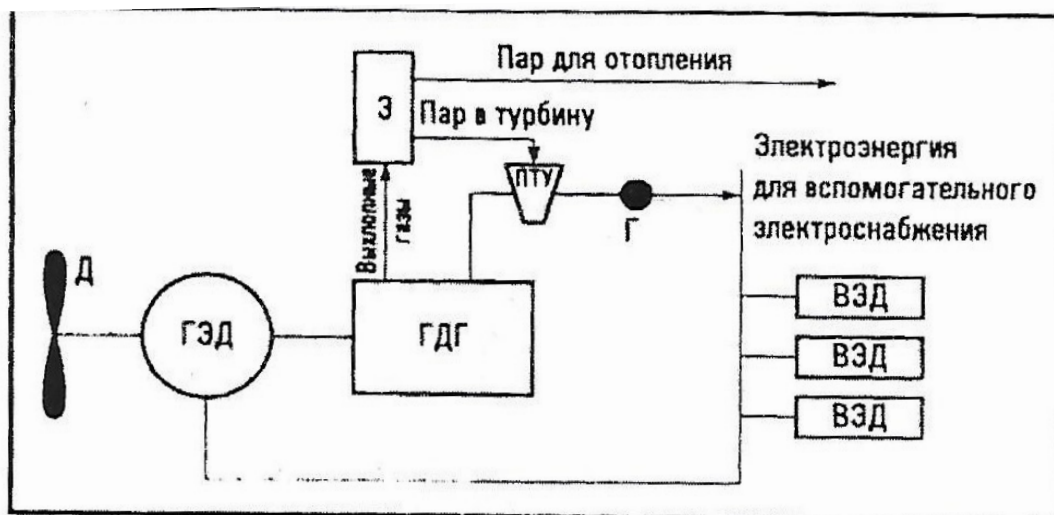


Рисунок 5.1 – Утилизация тепловой энергии на судне «Гудрун Маерск»: ВЭД – вспомогательный электродвигатель; Г – генератор; ГДГ – главный дизельный двигатель-генератор; ГЭД – главный электродвигатель; Д – двигатель судна (винты); ПТУ – паротурбинная установка; Э – экономайзер.

При помощи главного двигателя «Гудрун Маерск» 68,64 МВт утилизация сбросной теплоты позволяет развивать электрическую мощность равную 8,2 МВт. Иначе говоря, тепловые сбросы мощного дизеля при их целенаправленном использовании обеспечивают дополнительную выработку ~12% мощности двигателя. Немаловажны также экономический и природоохранный аспекты утилизации:

- установка должна окупиться в срок, меньший пяти лет, за счет сокращения расхода соляра;
- уменьшаются выбросы с выхлопными газами токсичных оксидов азота и серы.

Перспективы использования вторичных возобновляемых источников теплоты в промышленности оцениваются высоко. В бывшем СССР утилизация только сбросного тепла воздуха из вентиляционных систем обещала ежегодную экономию до 8 млн. т. УТ. Вообще же, прирост объёма утилизированной теплоты на 1% должен был обеспечить уменьшение

текущих расходов нефтяного топлива на 830 тыс. т. Помимо непосредственного сбережения истощаемых запасов горючих ископаемых, вовлечение в эксплуатацию вторичных тепловых ресурсов имеет важное значение для охраны окружающей среды. Так, угольная ТЭС мощностью 1 ГВт ежедневно потребляет порядка 20 тыс. т твердого топлива. На его сгорание затрачивается объем кислорода из атмосферы, необходимый для дыхания в то же время 770 млн. человек (!). Поглощая кислород, такая ТЭС выбрасывает в атмосферу парниковые газы – CO<sub>2</sub> и много меньше CO – вместе с другими вредными и токсичными продуктами сгорания угля. Интенсивность поступления некоторых из них такова (т/сут):

оксид серы (IV).....	450
оксиды азота.....	80
твердые частицы.....	33

Использование ВВИЭ дает возможность уменьшить расход топлива и, как следствие, сократить рост объемов выбросов продуктов его сгорания. Конечно, это не является окончательным решением проблемы, но представляется немаловажным шагом на пути к решению.

## 5.2 Опыт экономии тепловой энергии за счет использования ВВИЭ

Пример эффективной утилизации тепла в производстве серной кислоты показан на рис. 5.2. На нефтеперерабатывающих заводах при переработке сернистых соединений нефти образуется сероводород, который используется для получения серной кислоты и элементарной серы.

Получение серной кислоты на нефтеперерабатывающих заводах осуществляется с помощью процесса мокрого катализа, состоящего из трех процессов: сжигания сероводорода; окисления образующегося сернистого ангидрида в серный и выделение серной кислоты. Сероводород сжигается в топке котла-утилизатора ПКС - 10/40.

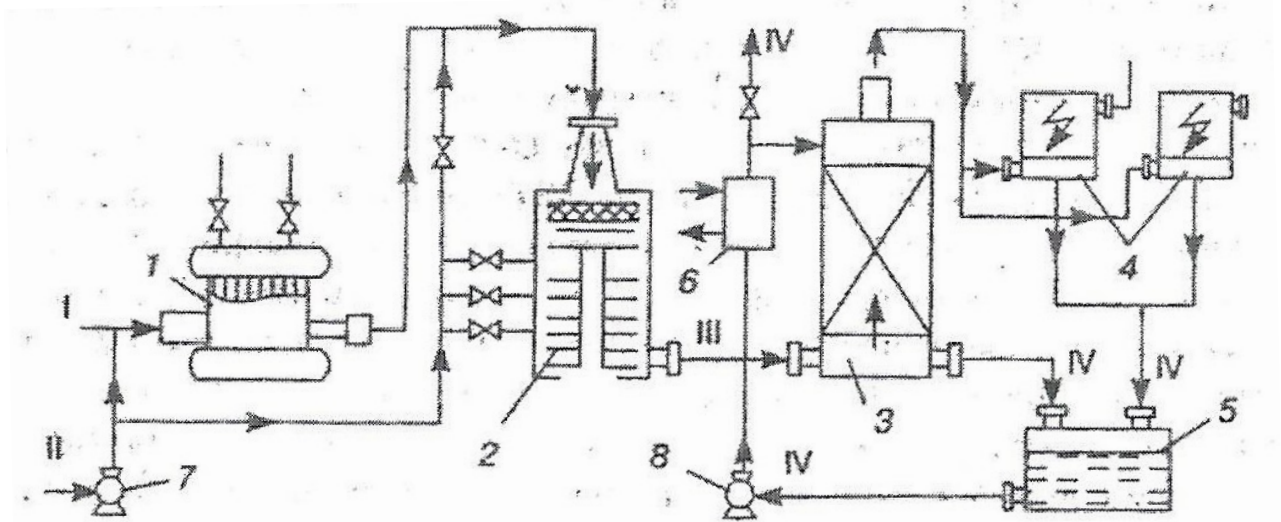


Рисунок 5.2 – Схема производства серной кислоты и утилизации тепловой энергии: 1– котёл-утилизатор ПСК – 10/40; 2 – контактный аппарат; 3 – башня - конденсатор; 4 – электрофильтры; 5 – сборник серной кислоты; 6 – холодильник; 7 – воздуходувка; 8 – насос; I – сероводородный газ; II – воздух; III –  $\text{SO}_3 + \text{H}_2\text{O}$ ; IV – серная кислота на склад

При сжигании сероводорода образуется значительное количество тепловой энергии, которая используется для получения перегретого пара давлением 4,0 МПа и температурой 360°C. Выработка тепла на 1 т серной кислоты достигает 0,75 Гкал.

При сжигании сероводорода (рис. 5.2) образующийся сернистый ангидрид  $\text{SO}_2$  и пары воды направляются в контактный аппарат 2, где, пройдя через слой катализатора, сернистый ангидрид окисляется в серный  $\text{SO}_3$ . Из контактного аппарата газ, содержащий  $\text{SO}_3$ , и пары воды поступают в башню-конденсатор 3, заполненную кольцевой насадкой, орошаемой слабой серной кислотой. Температура орошающей кислоты на входе в башню составляет 50...60°C, на выходе из башни 80...90°C. При охлаждении газа серный ангидрид и пары воды образуют пары серной кислоты. В нижней части башни происходит быстрое охлаждение газа и возникает его перенасыщение парами серной кислоты. Часть паров конденсируется в виде тумана, который выделяется в электрофильтре.

## **Использование низкопотенциальной тепловой энергии отопительно-вентиляционным агрегатом.**

Предусмотрено использование тепловой энергии охлаждающей воды с температурой 28...35°C от технологического оборудования для подогрева в специальном агрегате наружного воздуха, поступающего в приточные камеры отопительно-вентиляционных систем.

Отопительно-вентиляционный агрегат (рис. 5.3) состоит из калорифера 1, контактной камеры, разделенной на ступени промежуточного 2 и предварительного 3 нагрева, водораспределителя 5, установленного между ступенями 2 и 3. Агрегат имеет систему защиты от обмерзания, состоящую из обогреваемой опорной решетки 6, насадки ступени 3, греющей рубашки 7 нижней части ступени 3; каплеуловителя 8 поддона 9, вентилятора с электродвигателем 10, промежуточного поверхностного теплообменника 11, циркуляционного насоса 12 с регулировочным клапаном 13 для подачи воды в градирню.

Отопительно-вентиляционный агрегат работает следующим образом.

Наружный воздух с отрицательной температурой подается вентилятором 10 под насадку ступени 3 предварительного нагрева. В насадке воздух контактирует с водой, подаваемой через дополнительный водораспределитель 5, и водой, стекающей с насадки 2 промежуточного нагрева. Нагревание и увлажнение происходят в насадке ступени 2 промежуточного нагрева при контактировании с водой, подаваемой через водораспределитель 4. После прохождения через каплеуловитель 8 воздух подогревается до требуемой температуры в калорифере 1 и подается в систему приточной вентиляции.

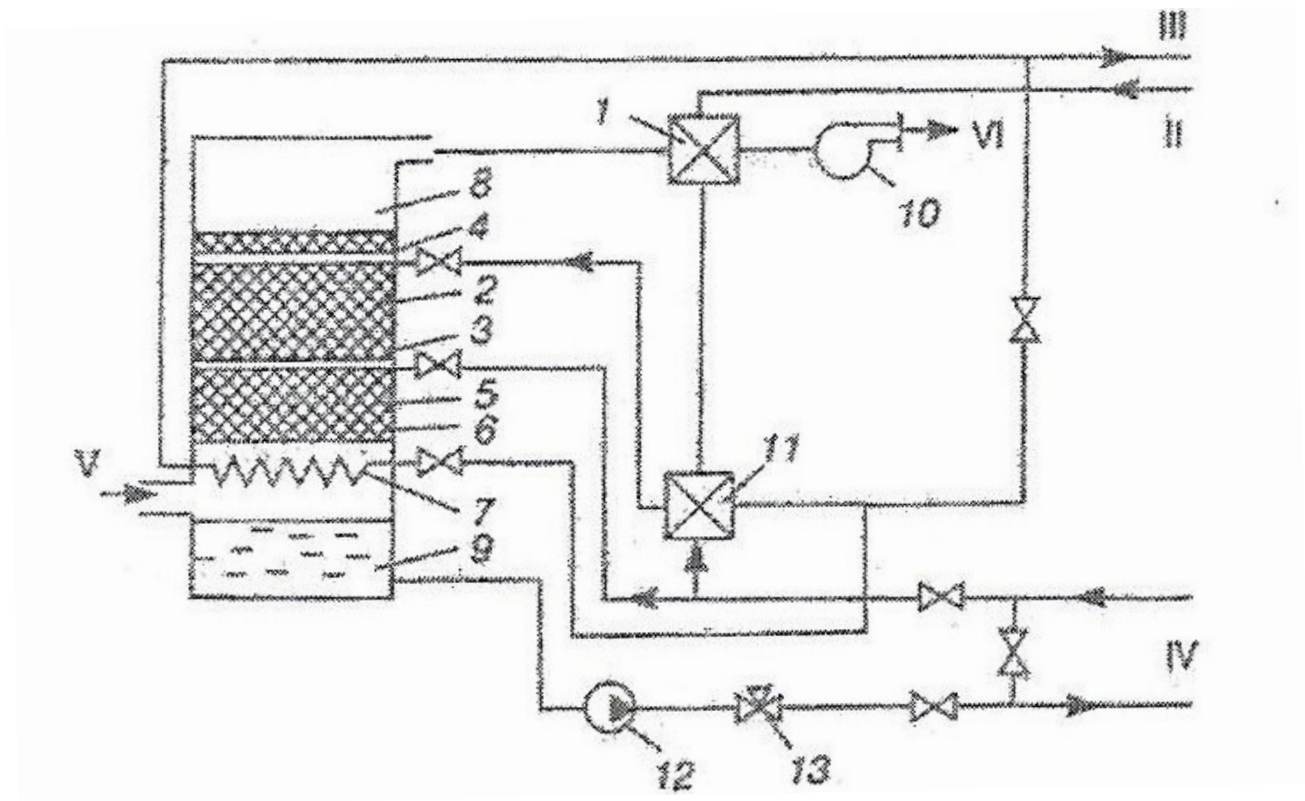


Рисунок 5.3 – Принципиальная схема отопительно-вентиляционного агрегата: 1 – калорифер; 2 – ступень промежуточного нагрева; 3 – ступень предварительного нагрева; 4 – водораспределитель; 5 – дополнительный водораспределитель; 6 – опорная решетка; 7 – греющая рубашка; 8 – каплеуловитель; 9 – поддон; 10 – вентилятор с электродвигателем; 11 – теплообменник; 12 – насос; 13 – клапан; I – линия обратной воды от оборудования; II – линия высокотемпературного теплоносителя (горячая вода из теплосети); III – линия обратной воды в теплосеть; IV – линия воды на градирню; V – линия холодного воздуха; VI – линия нагретого воздуха.

Нагретая охлаждающая вода, поступающая из производственных цехов от охлаждения оборудования, разделяется на два потока: первый поступает в водораспределитель 5, и, отдавая тепло холодному воздуху в насадке 3, стекает в поддон 9, а второй — направляется в теплообменник 11, где подогревается обратной водой и направляется в водораспределитель 4. Вода из поддона насосом 12 направляется по обратному трубопроводу в градирню.

Высокотемпературный теплоноситель из подающей магистрали системы теплоснабжения последовательно проходит калорифер 1 и промежуточный поверхностный теплообменник 11 циркуляционного контура агрегата и при 20...30°C поступает в обратную магистраль системы теплоснабжения.

Годовая экономия от его использования составляет 14 тыс. ГДж тепловой и 66 тыс. кВт\*ч электрической энергии. Срок окупаемости затрат – 2 года. Применяется на предприятиях машиностроения и других отраслей промышленности.

**Использование теплоты уходящих газов в производственной котельной.** Теплоснабжение одного из цехов ПО Моспроммеханизация осуществляется от котельной, в которой установлены три паровых котла МЗК-7 производительностью 1 т/ч каждый. Котлы оснащены горелочными устройствами для работы на природном газе низкого давления (резервное топливо - мазут). Конструкция котлов предусматривает их работу под наддувом, осуществляемым индивидуальными дутьевыми вентиляторами. Удаление продуктов сгорания из котлов производится за счет давления наддува через индивидуальные металлические дымовые трубы.

С целью использования тепловой энергии уходящих газов для нужд горячего водоснабжения и нагрева воды для котельной была спроектирована и смонтирована за одним из котлов теплоутилизационная установка с контактным экономайзером (рис. 5.4), расположенным над котлом на отметке 3 м. Для подачи газов через экономайзер на выходе их установлен отсасывающий вентилятор Ц 13-50 № 3 ( $n = 1440$  об/мин). Предусмотрена возможность работы котла как с утилизационной установкой, так и без неё (с помощью переключающих заслонок). При отключенном экономайзере заслонка 3 закрыта, а заслонка 2 открыта. При подключении экономайзера заслонка 2 закрывается, открывается заслонка 3, включается отсасывающий вентилятор 5, и газы из котла 1 направляются в экономайзер 4.

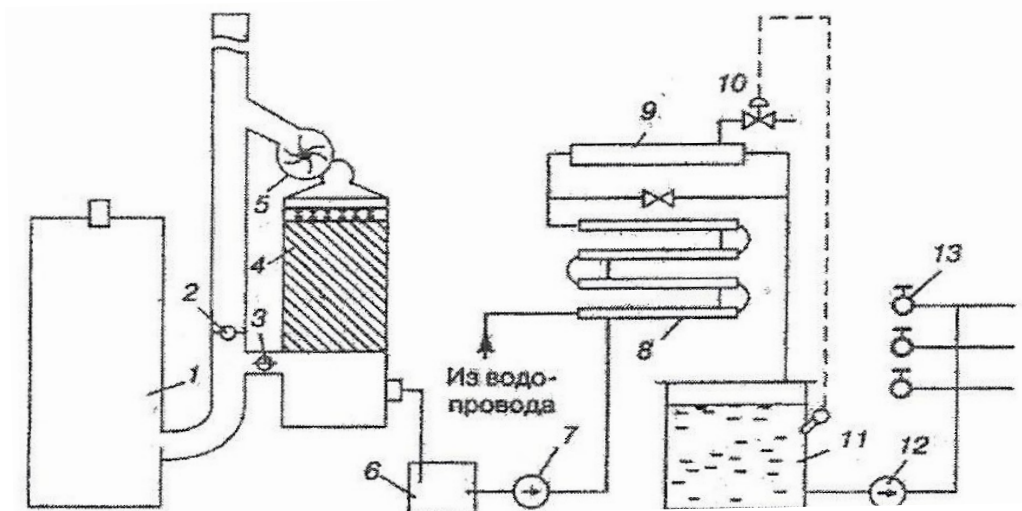


Рисунок 5.4 – Теплоутилизационная установка с контактным экономайзером: 1 – котёл; 2,3 – заслонки; 4 – экономайзер; 5 – вентилятор; 6 – бак; 7 – насос; 8 – теплообменник; 9 – пароводяной бойлер; 10 – регулирующий клапан; 11 – бак горячей воды; 12 – насос; 13 – душевые

Установка работает следующим образом. Уходящие газы из котла 1 поступают в нижнюю зону экономайзера 4, проходят через слой насадки и выбрасываются в дымовую трубу. Подлежащая нагреву вода из оросителя струями подается на слой насадки, стекает в поддон, из которого по поперечной трубе сливается в промежуточный бак 6, откуда циркуляционным насосом 7 направляется в водо-водяной теплообменник 8, затем охлажденная вода через ороситель поступает в экономайзер. Холодная вода из водопровода направляется в теплообменник 8, нагревается в нем и сливается в бак горячей воды 11. Отсюда нагретая вода насосом 12 направляется в душевые 13.

Испытания показали, что при использовании контактного экономайзера КПД МЗК-7 увеличился с 82 до 93% (по высшей теплоте сгорания топлива). Наряду с этим был выявлен и существенный недостаток установки. При эксплуатации наблюдались крайне низкие скорости



движения нагреваемой воды в трубках (0,05...0,09 м/с) и особенно греющей воды в межтрубном пространстве (0,01...0,014 м/с).

В связи с указанным недостатком теплоутилизационная установка была оборудована секционными водо-водяными теплообменниками с требуемыми характеристиками: диаметр трубок секций – 57/50 мм, длина – 4 м, площадь поверхности нагрева секций – 0,75 м, число секций – 7.

Согласно новой схеме предусмотрен двухступенчатый нагрев водопроводной воды в водо-водяных теплообменниках 8 и пароводяном бойлере 9.

При испытании модернизированной схемы было установлено, что в водо-водяных теплообменниках водопроводная вода в количестве 2,4 м<sup>3</sup>/ч нагревалась до 44...45°C, КИД установки составил 95% (по высшей теплоте сгорания топлива). Догрев воды до более высокой температуры (50...60°C) должен производиться в пароводяном бойлере. Изменение подачи пара на бойлер производится в пароводяном бойлере. Изменение подачи пара на бойлер производится регулирующим клапаном 10 по импульсивному сигналу о температуре воды в баке-аккумуляторе. Для производственных душевых нормативная температура воды составляет 37°C т.е. достаточен нагрев воды только в водо-водяных теплообменниках. Если же требуется более горячая вода, то после водо-водяных теплообменников ее следует догревать в пароводяном бойлере. Так, в случае нагрева воды до 50°C на пар приходится небольшая часть полезной теплопроизводительности.

**Рациональное использование теплоты сгорания сбросных технологических газов термических печей.** В машиностроении широко применяют термическую обработку изделий в контролируемой атмосфере эндогаза (отжиг, нормализация, закалка, а также цементация малоуглеродистых сталей).

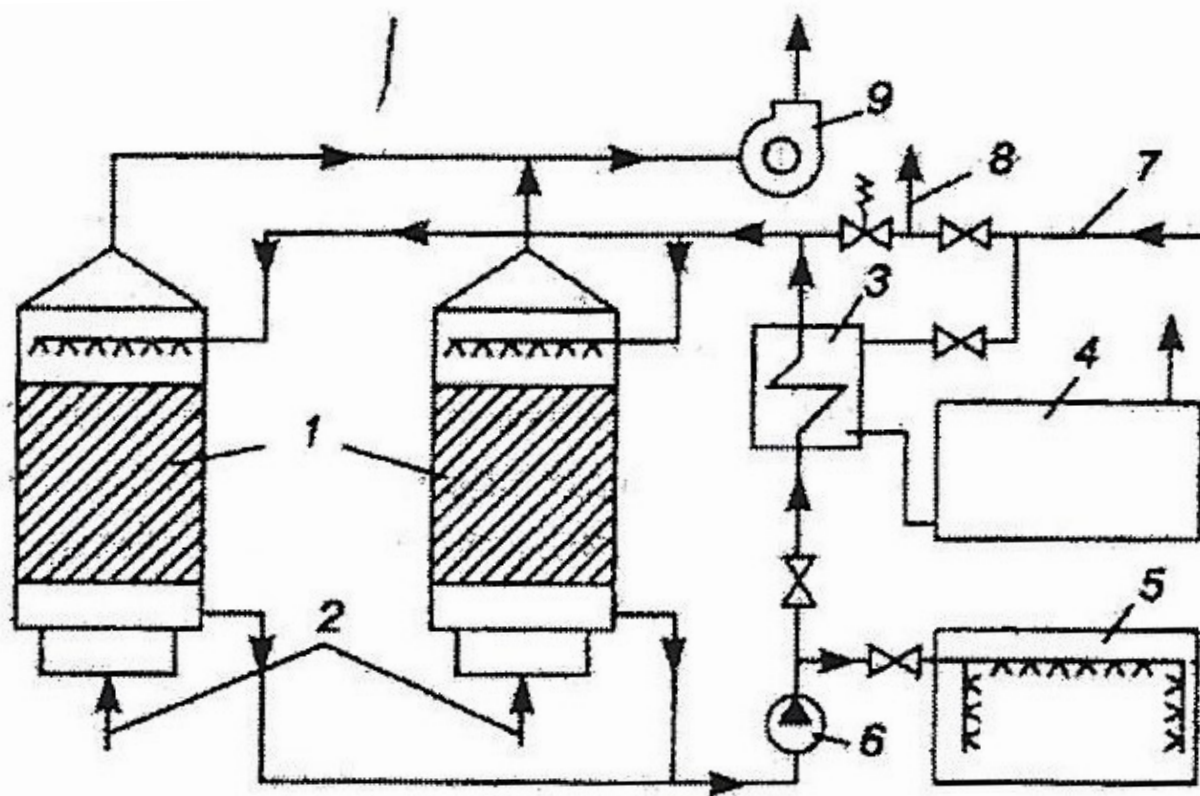


Рисунок 5.5 – Схема утилизации тепла сбросных технологических газов: 1 – контактно-поверхностные водонагреватели; 2 – подвод эндогаза; 3 – промежуточный водонагреватель; 4 – бак-аккумулятор; 5 – моечная машина; 6 – итциркуляционный насос; 7 – подвод холодной воды; 8 – регулятор расхода подпиточной воды; 9 – вентилятор

В настоящее время тепловая энергия сгорания эндогаза не используется из-за невысокой калорийности и низкого давления, при котором он сжигается в свечах. Однако на крупных предприятиях общее количество теряемой при этом теплоты весьма значительно. Так, в термическом цехе долотного завода, где установлены химико-термические агрегаты ОКБ-2148, сжигается 350 м<sup>3</sup>/ч эндогаза, что соответствует тепловой мощности 645 кВт. Эту теплоту целесообразно использовать для нагрева воды на технологические нужды и для теплоснабжения предприятия.

На заводе наиболее простой оказалась схема (рис. 5.5) местного технологического горячего водоснабжения моечных машин, входящих в состав химико-термических агрегатов ОКБ-2148. Как показали расчеты, за счёт сжигания эндогаза можно также покрыть расход теплоты на нужды системы горячего водоснабжения бытовых помещений цеха.

Для утилизации теплоты сжигания эндогаза предложено использовать контактно-поверхностный водонагреватель с контактной камерой насадочного типа. Проведены натурные исследования теплотехнических характеристик аппарата, в котором высота насадочной камеры из керамических колец Рашига (60x50x5 мм) изменялась от 0,3 до 0,5 м, при этом объем насадочной камеры 0,043...0,072 м<sup>3</sup>, а площадь поверхности топки аппарата — 0,6 м<sup>2</sup>.

С помощью такого аппарата можно нагреть воду до 90°С, при этом температура отходящих газов не превышает 55°С. При работе аппарата в режиме горячего водоснабжения его тепловая мощность составляет 34 кВт.

В связи с тем, что нагретая контактным способом вода имеет повышенное содержание кислорода и углекислого газа и является коррозионно-активной, целесообразно присоединение потребителей по независимой схеме. Учитывая, что режимы нагрева воды и ее потребления не совпадают по времени, необходимо устройство бака-аккумулятора. В качестве промежуточного водонагревателя могут использоваться как скоростные водо-водяные нагреватели, так и емкостные, в виде змеевика, встроенного в бак-аккумулятор.

Применение предложенного способа в условиях термического цеха долотного завода позволило обеспечить цех горячей водой для технологических и бытовых нужд, повысить энергетические показатели оборудования сэкономить около 650 т у.т. в год.

### **Вопросы для самоконтроля**

1. Дайте определение ВЭР.
2. Что понимают под коэффициентом утилизации ВЭР?
3. Как определить экономию топлива от использования ВЭР?
4. Дайте характеристику сбросному теплу как возобновляемому источнику энергии.
5. Нарисуйте принципиальную схему отопительно-вентиляционного агрегата. Нарисуйте принципиальную схему теплоутилизационной установки с контактным экономайзером.
6. Нарисуйте схему утилизации тепла сбросных технологических газов.

## **ГЛАВА 6**

### **БЫТОВОЙ МУСОР КАК ВТОРИЧНЫЙ ВОЗОБНАВЛЯЕМЫЙ ИСТОЧНИК ЭНЕРГИИ**

#### **6.1 Направления переработки ТБО**

Согласно определению ТБО включает в себя бытовой мусор из зданий/сооружений непромышленного назначения, смет улиц и отходы садово-паркового хозяйства. Последние состоят из листвы, травы, ветвей и т.п. в составе твердых отходов преобладает (рис. 6.1) органический компонент – различные остатки пищи, меньше бумага. Масштабы образования твёрдых коммунально - бытовых отходов в крупных городах огромны (табл. 6.1).

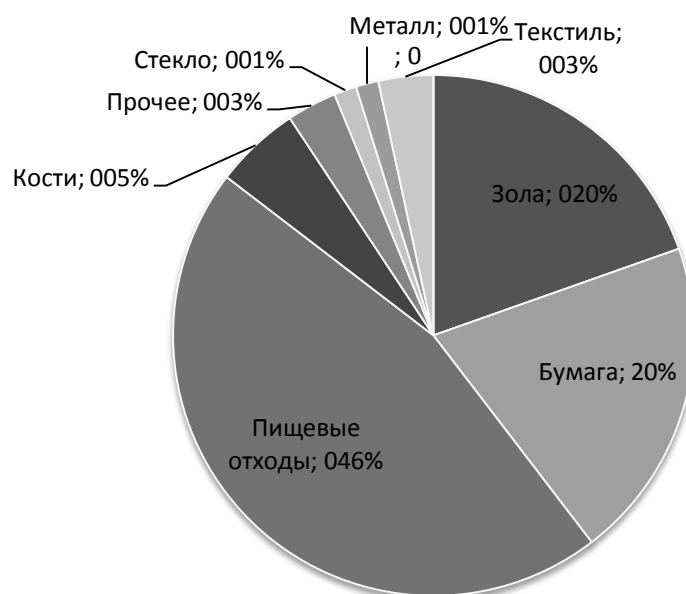


Рисунок 6.1 – Состав по массе ТБО г. Владивостока в 1968 - 1970 гг.

Таблица 6.1 – Масштабы образования твёрдых коммунально - бытовых отходов в крупных городах

Город	Страна	Год	Объем поступления ТБО, т/сут	Литературный источник
Лима	Республика Перу	1976	3500	В.В. Листов [1985 г.]
Москва	СССР	1980	6500	Б.И. Левин [1982 г.]
Нью-Йорк	США	1974	37000	Дж. Куллини [1981 г.]

Если бы ТБО Нью-Йорка в полном объеме складировались на суше, свалки заняли бы площадь, сравнимую со штатом Род-Айленд. Благодушное описание Э. Хемингуэя сброса мусора в море у побережья Кубы: «И когда в Гаване дела идут хорошо, Гольфстрим, в котором и не различишь течения, принимает пять порций такого груза ежедневно, а миль на десять вдоль побережья вода в нем такая же прозрачная, глубокая и спокойная, как и до встречи с буксиром, волочащим баржу...», - было с натяжкой справедливым

для начала 30-х гг. прошлого века. Теперь же положение изменилось к худшему. Стремительно нарастающая в объеме сбросная мусорная масса создает многообразные, подчас достаточно неожиданные проблемы.

В Лиме, городе с трехмиллионным населением, централизованному вывозу на свалки подвергались лишь 40% объема ТБО. (Большая часть последних оставалась во дворах и на улицах, сжигаясь на месте без вывоза). Ежемесячные затраты на транспортировку мусора составляли 50...75 тыс. долларов США. Вывезенные же на свалки ТБО становились средой обитания крыс. Поголовье крыс в Лиме оценивались в 20 млн. особей, пожирающих ежегодно 100 тыс. т съестных припасов. Как видно, проблема мусора, представлявшая в известной мере решенной сбросом его на отведенные земельные участки, вернулась к людям в виде уже проблемы крыс.

Вместе с тем энерготехнологическая утилизация ТБО обещает решить проблемы и мусора, и производства тепловой/электрической энергии. Неудивительно, что в мире предложены и частично реализованы различные технологии подобной переработки бытовых отходов.

Лежащим на поверхности выходом из положения представляется сжигание ТБО. Московский мусор при средней величине плотности 250 кг/м<sup>3</sup> характеризовался низшей теплотворной способностью в пределах 7,76...8,6 ГДж/т. Горючая часть отходов, отображаемая соотношением элементарных углерода, водорода и кислорода, весьма значительна. Для мусора, служащего топливом на ТЭЦ «Каунти» (США), элементарный состав горючего таков (мас.%):

С.....	29,5
Н.....	4,4
О.....	28,2

Преимуществом бытовых отходов как котельного топлива является низкое 0,5 и 0,3 мас.% соответственно, содержащих элементарных азота и серы. Как следствие, эмиссии с продуктами сгорания токсичных оксидов азота и серы (IV) несущественны. Подготовка ТБО к сжиганию обходится

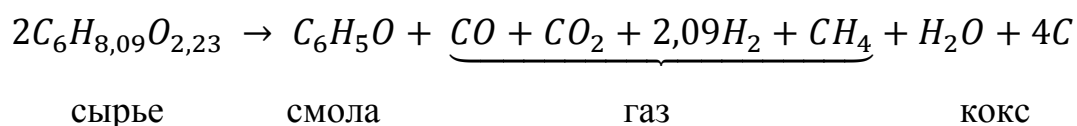
дешевле аналогичной подготовки нефтяного мазута практически девятикратно. По объему получаемой энергии 1т мусора эквивалентна 200 кг мазута или 500 кг угля. Следует привести некоторые примеры организованного употребления ТБО как топлива на ТЭЦ.

Теплоэлектроцентраль в г. Упсала (Швеция) производит порядка 2/5 от объема отпускаемой тепловой энергии за счет сжигания мусора. В Ноттингеме (Великобритания) ТБО потребляет котельная на два котла с суммарной паропроизводительностью 36,4 т/ч. Мусоросжигательная установка обеспечивает отопление и горячее водоснабжение ~ 7 тыс. зданий, от жилых домов до магазинов. В 1974 г. в Париже мусорное топливо заменило 147 тыс. т нефтяного мазута при производстве тепловой энергии.

Зарубежный опыт показывает, что использование ТБО на топливо более эффективно в производстве тепловой энергии. Выработка электроэнергии будет рентабельной, если сжигание 1 т мусора обеспечивает генерирование  $\geq 0,35$  МВт\*ч. В большинстве случаев крупные мусоросжигательные установки производят электроэнергию лишь для удовлетворения собственных нужд.

Отрицательной стороной сжигания как технологии утилизации мусора является загрязнение окружающей среды продуктами сгорания. В частности, в США на долю мусоросжигательных предприятий приходится 1/20 всего объема вредных выбросов. В работе экспертами сделано заключение относительно двух наиболее экологически безопасных утилизационных технологий. Первая и находящаяся в не конкуренции с природоохранных позиций – захоронение мусора. Вторая – пиролиз ТБО с целью получения жидких и газообразных топлив. Она будет рассмотрена подробнее.

Химизм процесса пиролиза бытовых отходов приближенно выражается следующим уравнением:



При температуре 500...700<sup>0</sup>С мусор разлагается на летучие продукты – смолу, газ и пары воды. В остатке получается кокс («пирокарбон»), состоящий в основном (72,8...89,4 мас.%) из углерода. В условиях стабильной и равной 500<sup>0</sup>С температуры выход основных продуктов таков (мас.% на сырье):

Газ .....	11,5...19,8
Смола .....	27,3...48,5
«Пирокарбонат» .....	31,7...61,2

Вариации значений определяются продолжительностью процесса пиролиза.

**Газ.** В Японии, в префектуре Мияги, для разложения при температуре 700<sup>0</sup>С использовался мусор, практически на половину (48,6 мас.%) состоящий из отходов бумаги. Другими существенными компонентами выступали пищевые отбросы, отходы черных металлов, текстиля, пластмасс и древесины: 15,1; 11,0; 8,1; 6,3; 4,9 мас.% соответственно. Из 1т ТБО выходило 245...256 м<sup>3</sup> газа, в основном (рис.6.2) представленном оксидом углерода (II). Теплотворная способность газа была равна 16,3...16,7 МДж/м<sup>3</sup>. Он не пригоден для метанирования ( $CO + 3H_2 \rightarrow CH_4 + H_2O$ ) или передачи по трубопроводам на дальние расстояния. Мусорный газ применяется местными энергоустановками и в металлургии (как восстановитель при выплавке металлов).

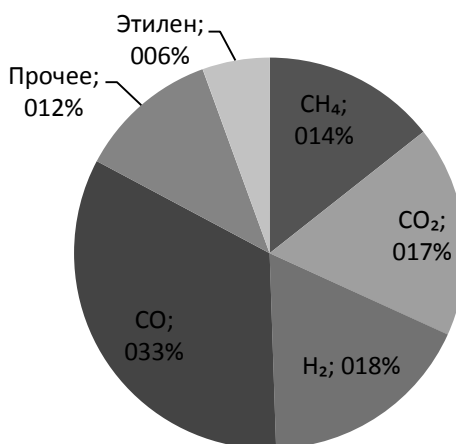


Рисунок 6.2 – Состав (объемные доли) газа пиролиза ТБО



**Смола.** Исходное сырье слагалось главным образом отходами текстиля и древесины (26,5 и 19,5 мас.% соответственно), а так же смесью остатков кожи и резина (14,3 мас.% аналогично). Обезвоженная пиролизная смола имеет плотность 947,2 кг/м<sup>3</sup>, кинематическую вязкость 3 мм<sup>2</sup>/с и весьма характерный элементарный состав (рис.6.3). Высокое содержание элементарного кислорода объясняется существенным 10...14мас.% - наличием в смоле фенолов. Около половины объема фенольной фракции состоит из представляющих наибольшую ценность одноатомных фенолов, собственно фенола  $C_6H_5OH$ , крезолов, ксилеподов.

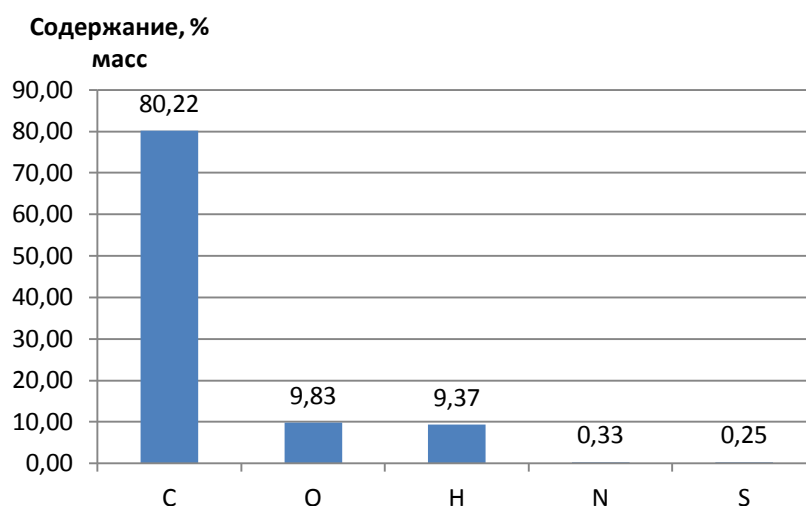


Рисунок 6.3 – Элементарный состав пиролизной смолы

По этому показателю мусорная смола весьма напоминает древесную.

После отделения фенолов обработки 10%-ным раствором едкого натра смола может быть подвергнута перегонке. Легкая фракция выкипает при температуре  $\leq 200^{\circ}C$  и составляет 36% от объёма вязкой смолы. Этот перегон представлен в основном аренами (табл. 6.2). Его физические параметры соответствуют 849 кг/м<sup>3</sup> и 1,3 мм<sup>2</sup>/с.

Состав и свойства легкой фракции смолы пиролиза ТБО близко соотносятся с аналогичными характеристиками газового бензина сланце – химического производства. Таким образом, она может использоваться

аналогично газовому бензину – как промышленный источник ценных ароматических углеводородов. Не подлежит сомнению, что её сжигание было бы расточительным.

Таблица 6.2 – Соответствие температурного интервала характерным углеводородам

Температурный интервал, °С	Характерные углеводороды (в скобках – содержание, мас.%)
≤90	Бензол (40,3)
90...130	Толуол (46,3)
130...140	Ксилолы (66), винилбензол (14)
140...150	Ксилолы (57), винилбензол (21,9)

Тяжелый остаток перегонки мало чем отличается от нефтяного топочного мазута (табл. 6.3), за исключением меньшего содержания серы. Тяжелая фракция мусорной смолы может использоваться как котельное топливо. Вторым вариантом ее применения служит удаление пиридиновых оснований с выработкой, так называемых нейтральных масел. Масла представляют собой темно-коричневую жидкость средней (937,6 кг/м<sup>3</sup>) плотности и вполне типичного для смолы пиролиза ТБО элементарного состава (рис. 6.4). После гидроочистки нейтральных масел от азота, кислорода и серы они найдут применение в качестве дизельного топлива.

Таблица 6.3 – Некоторые характеристики мазута марки 40 и тяжёлой фракции пиролизной смолы

Характеристики (максимальные значения)	Вид топлива	
	Мазут марки 40	Тяжёлая фракция пиролизной смолы
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	1015	1011
Температура застывания, °С	+10	+11
Теплота сгорания низшая, ГДж/т	40,74	39,4
Содержание серы, масс.%	0,5	0,2
Зольность, мас.%	0,8	0,82

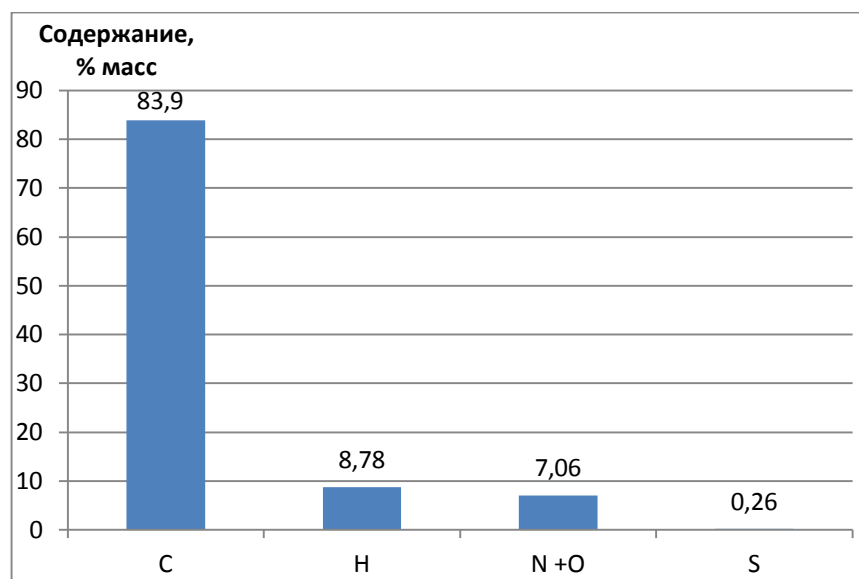


Рисунок 6.4 – Элементарный состав нейтральных масел

**Кокс.** Эксперты предлагают использовать «пирокарбон» в изготовлении асфальтобетонных дорожных покрытий. Топливное применение кокса ограничено высоким, до 8,3 мас.% содержанием азотистых и серных соединений.

Промышленное опробование фирмой «Гаррет» (США) низкотемпературного ( $260^{\circ}\text{C}$ ) процесса пиролиза ТБО показало, что при переработке 6,2 т мусора в среднем получается 1 т смолы. Пиролизную смолу смешивали с нефтяным топочным мазутом в соотношении от 1:1 до 1:4 с целью облагораживания котельного топлива. Собственная теплотворная способность смолы равна 28,3 ГДж/т. Параллельно с термической переработкой мусора осуществлялось извлечение битого стекла и лома цветных металлов. Из 1 т ТБО в среднем выходило 54,4 кг стекла и 9,1 кг алюминия.

В бывшем СССР наличие колоссальных запасов дешевой нефти не благоприятствовало развитию термической утилизации мусора с выработкой топлив. Например. Созданная во ВНИИ НЕФТЕХИМ и на заводе МПБО «Спецтранс» технология пиролиза ТБО предусматривала окисление полученной смолы для производства дорожного битума.

Топливная переработка мусора возможна и в направлении гидролиза его целлюлозосодержащего компонента до моносахаридов со сбраживанием полученных продуктов в этанол. Выше (см. введение) уже шла речь о том. Что при содержании ТБО 40 об. % отходов целлюлозы порядка 1/10 общей массы мусора будет преобразовываться в этанол крепостью 95<sup>0</sup>. Октановое число последнего соответствует 94, и  $C_2H_5OH$  способен замещать бензин в карбюраторных ДВС. Поскольку, например, в США ежегодно уходит в мусор 500 млн. т (1980 г.) бумаги и картона, постольку годовую выработку винного спирта на топливо из ТБО возможно в этой стране с осторожностью оценить в пределах (110...125 млн. т). Для сравнения, потребление на топливо в течение года 6 млн. т этанола означало бы для Японии замещение 1/10 расхода нефтяного бензина. В связи с этим следует критически воспринять утверждение о том, что расширение производства топливного  $C_2H_5OH$  повлечет за собой рост цен на кукурузу и вырабатываемые из нее пищевые продукты. Действительно, этанол на топливо может и должен производиться из древесно-бумажного компонента бытовых отходов, а не из имеющей пищевое значение биомассы.

## **6.2 Переработка твердых бытовых отходов методом газификации**

Газообразное топливо широко и прочно вошло в быт современного человека. Например, в США по состоянию на 1965 г. в коммунально-бытовой сфере потреблялось > 35 % поставляемого природного газа. (На долю же производства электроэнергии приходилось < 15%). Сниженная пропан-бутановая смесь стала распространенным моторным топливом. Этому способствовали ее высокая детонационная стойкость (октановое число составляет 99 для бутана и 120 для пропана), существенная – практически в двое по сравнению с бензином – дешевизна, увеличение межремонтного пробега и уменьшение износа двигателей автомобилей в кратное число раз.

В ряде стран до настоящего времени газификация быта развита слабо. В КНР 1/10 объема добычи угля уходит на топливо для домашних печей и кухонных плит. О потреблении в кубинском быту сжиженных газов и керосина можно судить по объемам выработки этих продуктов на нефтехимическом комплексе в г. Сантьяго-де-Куба. Производство в 1988 г. сжиженных газов измерялось 16 тыс. т, топливного керосина – 231 тыс. т.

Поэтому вопрос производства бытового топливного газа из бытовых твердых отходов весьма важен. Его решение возможно уже в настоящее время на базе разработанных и испытанных с положительными результатами технологий газификации.

**Гидрирование.** Термический гидрокрекинг органической составляющей ТБО при температуре и давлении  $500^{\circ}\text{C}$  и 7 Мпа позволяет получать неорганический газ. Он состоит практически из двух компонентов – углеводородов (метан, существенно меньше этан) и водорода (рис. 6.5). Высокое содержание экологически чистого топлива, водорода, и низкое содержание токсичного оксида углерода открывает для использования газа широкие перспективы: в домашних кухонных плитах, отопительных котлах и пр. Теплотворная способность подобного топлива превышает  $33,5 \text{ МДж/м}^3$ .

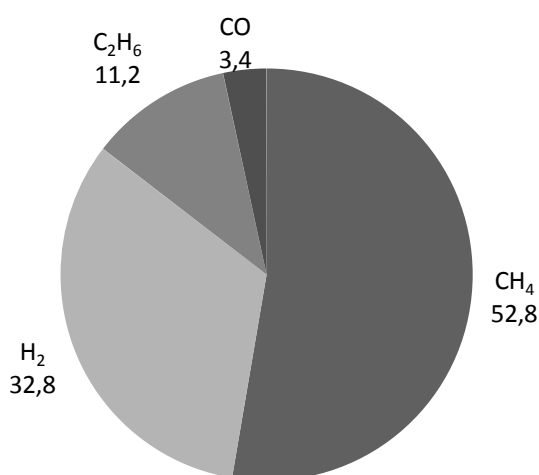


Рисунок 6.5 – Объёмный состав газа, получаемого гидрированием ТБО

**Анаэробное сбраживание.** Ферментация биомассы в биогазе – смесь метана и углекислого газа. Горючий компонент смеси – биометан пригоден на топливо, в т.ч. для ДВС. В ФРГ уже в 50-х гг. прошлого века имелся опыт использования в дизельных двигателях биогаза со следующим составом (об.%):

$CH_4$ .....	56,4
$CO_2$ .....	36,2
Прочие (азот, кислород и пр.) .....	7,4

Биогаз применялся сам по себе, так и в виде смеси с соляром. Доля последнего в общем объеме топливной смеси соответствовала 10...15 %. Фактически 1 м<sup>3</sup> биогаза замещал 0,5...0,55 кг нефтяного дизельного топлива.

Представляет значительный промышленный интерес анаэробное сбраживание сбросной массы пищевых остатков, образующих основную или, во всяком случае, существенную часть ТБО. В развитых странах (табл. 6.4) биопереработка бытового мусора распространена достаточно широко.

По критерию тепло производительности, объемы ежегодно получаемого биометана эквивалентны нескольким сотням тысяч тон у.т. Как правило, с 1 т сухого мусора выходит 600 м<sup>3</sup> биогаза с содержанием  $CH_4$  50 об. %. Теплотворная способность его не достигает и 19 МДж/м<sup>3</sup>. для использования в качестве моторного топлива и подачи в коммунальные газопроводные сети биогаз следует очищать от кислых газов –  $CO_2$  и сероводорода – до содержания биометана 96...98 % об. Сырой газ брожения весьма коррозионно активен и нуждается в осушении. Сухой же и чистый био  $CH_4$  обладает теплотворной способностью, равной 41,0 МДж/м<sup>3</sup>, и высокой детонационной стойкостью, делающей его пригодным для ДВС с величиной степени сжатия 12...14.

Таблица 6.4 – Годовое производство биогаза в некоторых странах

Страна	Годовое производство биогаза в эквиваленте		
	Тепловая энергия, ТДж	Электрическая энергия, ГВт·ч	У.т., тыс. т
США	9000	818,2	307,2
Япония	6000	545,4	204,8
Швеция	5000	454,5	170,6
ФРГ	14000	1272,7	477,8

Весьма перспективно производство биометана на захороненных городских свалках мусора (колтостах). В данном случае объем бродильного резервуара, или метантенка, огромен. Соответственно велика и его производительность по газу. В частности, один из крупных канадских колтостов продуцировал ежесуточно свыше 736 тыс. м<sup>3</sup> биогаза. Подобный текущий отбор сравним с дебитом высокопродуктивной газовой скважины. Одна тонна захороненного мусора в течение двух первых лет выделит ~ 1,5 м<sup>3</sup>, а за 10...15 лет – 180 м<sup>3</sup> биогаза. При этом состав последнего испытывает значительные изменения (рис. 6.6). Значительно уменьшается количество углекислого газа, содержание же биометана соразмерно возрастает. Спустя три года с момента захоронения ТБО состав газовой смеси становится постоянным (об. %):

$CO_2$  ..... 50...52

$CH_4$  ..... 47...51

При вышеуказанных условиях биоразложение 1 т городского мусора на погребенной свалке без каких – либо ощутимых затрат обеспечит получение объема энергетического газа, эквивалентного по тепловой способности 90 кг соляра. Если им питать газомотор-генератор, то будет выработано 1125 кВт·\*ч электроэнергии.

Производство биогаза из ТБО в достаточно значительном масштабе было освоено в одном из величайших мегаполисов ФРБ – Рио-де-Жанейро. Ежегодно вырабатывалось 6 млн. м<sup>3</sup> газа с теплотой сгорания 25 МДж/м<sup>3</sup>.

Этот газ подавался в городскую сеть газоснабжения, обеспечивая годовую экономию порядка 1 млн. долларов США.

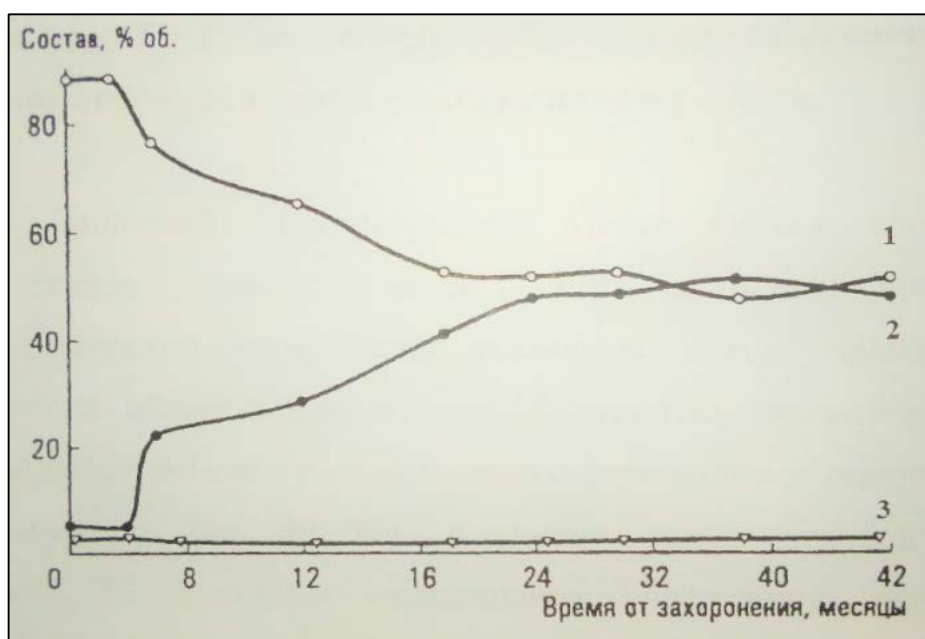


Рисунок 6.6 – Динамика состава биогаза во времени: 1 – CO<sub>2</sub>; 2 – биометан; 3 – азот

В середине 80-х гг. прошлого века доля биогаза в общем объеме годового потребления газообразного топлива на территории ФРГ не превышала 0,2 %. Между тем из ТБО на всех свалках страны возможно вырабатывать ежегодно до 4 млрд. м<sup>3</sup> биогаза. Тогда доля в балансе использования горючих газов была бы 3%

Россия имеет возможность интенсивного развития практически всех современных направлений использования биомассы для энергетики. Кроме того, возможен экспорт отдельных видов биоэнергонаосителей, в первую очередь транспортного этанола. Российские разработки в области технологий и оборудования по газификации и пиролизу древесины, производству этанола из сахарного и крахмального сырья, получению и использованию биогаза и биоводорода соответствуют мировым требованиям.



### **6.3 Мини-ТЭЦ на основе ТБО с использованием метода фильтрационного горения в сверхadiaбатическом режиме**

Северо – Западный Международный Центр чистых производств и переработки отходов разработал мини-ТЭЦ на основе конверсионной технологии термической переработки различных видов горючих отходов. Данная технология обеспечивает высокоэффективную, экологически чистую утилизацию твердых отходов с весьма низким содержанием углерода (от 10%) и высокой влажностью (до 60 %). К числу таких отходов относятся: несортированные ТБО, отходы медицинских учреждений, целлюлозно – бумажной промышленности, торфо- и лесозаготовки, золоотвалы ТЭЦ и предприятий металлургии, иловые осадки от очистки рек и каналов, низкосортные угли, и прочее.

На основе этой технологии налажено производство универсального оборудования для термической переработки твердых горючих материалов (ТГМ) и получения тепловой и электрической энергии с высоким КПД (до 95%). При этом небольшие материальные затраты обеспечивают экологическую чистоту процесса утилизации. Помимо утилизации отходов и некондиционных (низкокалорийных) видов топлива применяемое оборудование позволяет извлекать из отходов вторичные продукты и возвращать их в оборот.

Так, при переработке нефтешламов и нефтеотходов обеспечивается возврат нефтепродуктов в количествах до 50% веса перерабатываемого материала.

В процессе переработки изношенных шин и других резиновых отходов извлекаются металлокорд, порошок окиси цинка, нефтеподобное пиролизное масло и горючий газ. При переработке авторезины до 40 – 50 % ее исходного веса составляют вновь полученные материалы (изопреновые каучуки, смолы или алигомеры). Образующийся горючий газ идёт на выработку тепловой и электрической энергии.

При утилизации сланцевых отходов, помимо тепла и электроэнергии, обеспечивается производство (в объеме до 40 – 50% веса исходного сырья) смол, жидких компонентов, соответствующих по своему составу бензину Аи – 66.

Эта технология открывает возможности для использования низкосортных видов углей, в том числе бурых углей как альтернативных видов топлива в экологически чистой малой энергетике. Позволяет по-новому оценить имеющиеся ресурсы сырья и топлива, отходов и отвалов, накопившихся за многие годы традиционной добычи полезных ископаемых, а так же начать модернизацию технически устаревших угольных котельных.

Применяемый в технологии метод основан на использовании нового физического явления – фильтрационного горения в сверхадиабатических режимах. При таких режимах температура в зоне реакции существенно превышает адиабатическую (расчетную по классической термодинамике) температуру. При этом повышение температуры в зоне реакции носит ярко выраженный резонансный характер.

Целенаправленное использование сверхадиабатических режимов в процессах газификации открывает широкие возможности для:

- экологически допустимой утилизации разного рода горючих отходов;
- создания чистых мини-ТЭЦ («малой» энергетики) на альтернативных видах топлива;
- модернизации существующих экологически грязных угольных котельных.

Предлагаемая технология термической переработки построена на двухстадийной схеме (общий вид на рис. 6.7). На первой стадии перерабатываемый твердый материал подвергается паро-воздушной газификации в сверхадиабатическом режиме горения, в результате чего образуется газообразное топливо (энергетический продукт – газ).

Получаемый газ по химическому составу содержит водород  $H_2$ , и окись углерода  $CO$  и, в ряде случаев, углеводороды или другие органические соединения. Этот газ сжигается на второй стадии в обычных устройствах (например, паровых, водогрейных котлах либо автономных газогенераторных станциях) с получением тепловой и электрической энергии.

Газификацию твердых отходов осуществляют в реакторе – газификаторе шахтового типа. Режим сверхадиабатического горения происходит в т.н. «плотном» слое. Специфической особенностью данного процесса является то, что выделяющееся при горении тепло не выводится из реактора (твердые и газообразные продукты выходят из реактора при относительно низких температурах, менее  $150^{\circ}C$ ). Основное тепло с температурой  $1000 - 1200^{\circ}C$  концентрируется в средней части газификатора и расходуется на получение энергетического продукта – газа (водорода из воды и, частично, окси углерода из углеродосодержащих соединений).

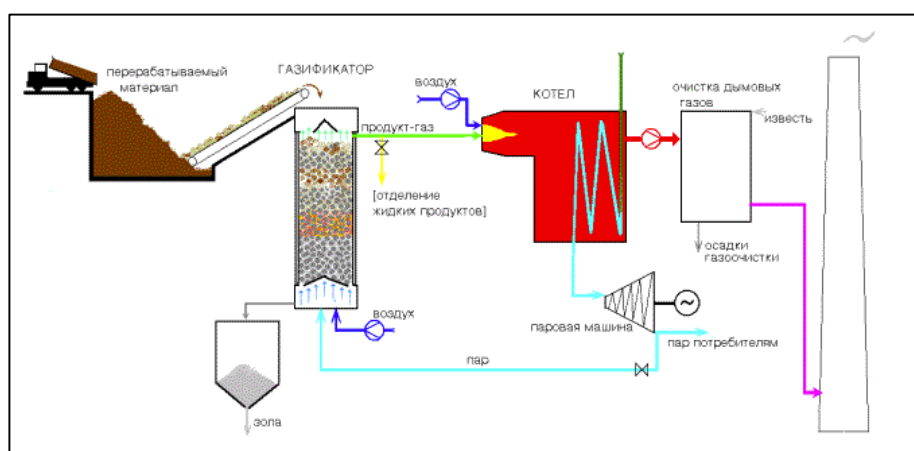


Рисунок 6.7 – Общая схема процесса термической переработки твердых горючих отходов с получением тепловой и электрической энергии

Перерабатываемое сырье загружается в реактор сверху через шлюзовую камеру. Снизу подаются воздух и водяной пар. Отбор продукт – газа происходит в верхней части реактора, а выгрузка зольного остатка – в нижней. Продвижение рабочей массы в реакторе происходит под действием собственного веса.

По высоте газификатора располагается несколько характерных зон. В самых верхних слоях температура держится в пределах 100 – 200 °С. Здесь происходит подсушка вновь поступившего сырья, продуваемого продукт – газом. В результате продукт – газ до некоторой степени насыщения водяным паром.

Ниже располагается зона, где преобладают процессы пиролиза и возгонки. В бескислородной среде происходит термическое разложение и коксование органической массы. Здесь продукт – газ обогащается летучими продуктами пиролиза.

В средней части реактора располагается зона газификации, где при температурах 1000 – 1200°С происходит реакция взаимодействия коксового остатка с кислородом, парами воды и двуокисью углерода с образованием СО и Н<sub>2</sub>. Некоторая часть углерода сгорает полностью с образованием углекислого газа СО<sub>2</sub>, за счет чего в зоне газификации поддерживается необходимая температура.

Ниже находится зона, где твердый остаток, состоящий в основном из минеральных соединений, постепенно охлаждается в потоке газифицирующего агента, богатого кислородом. Здесь догорают остатки органических соединений и углерода, и горючие материалы полностью превращаются в золу. В самой нижней части реактора лежит зона окончательного охлаждения твердого остатка до температуры около 100°С.

Преимущества по сравнению с методами прямого сжигания:

1. Процесс газификации имеет высокий энергетический КПД (до 95%), позволяющий перерабатывать материалы с малым содержанием горючих составляющих (с зольностью до 90%) или с высокой влажностью (до 60%; однако, оптимальная влажность: 25 – 30 %);

2. Низкие линейные скорости газового потока в реакторе и его фильтрация через слой исходного перерабатываемого материала обеспечивают крайне низкий вынос пылевых частиц с продукт – газом, что

дает возможность значительно сократить капитальные затраты на газоочистное и энергетическое оборудование;

3. В некоторых случаях, когда необходимо проводить очистку газовых выбросов от соединений серы, хлора или фтора, пыли, паров ртути, очищать продукт – газ оказывается проще, чем дымовые газы, благодаря низкой температуре, меньшему объему и более высокой концентрации загрязнителей; кроме того, сера присутствует в продукт – газе в восстановленных формах ( $H_2S$ ,  $COS$ ), которые намного проще поглотить чем  $SO_2$ ;

4. При газификации происходит частичное разложение азотосодержащих органических соединений в бескислородной среде, что дает меньшее количество окислов азота в дымовых газах;

5. Выбор оборудования для утилизации тепла при сжигании продукт – газа не ограничивается паровым или водяным котлом, так же возможно применение автономных газопоршневых мини-ТЭС.

6. Сжигание в две стадии позволяет резко уменьшить образование диоксидов (полихлорированных дибензодиоксинов и дибензофуранов), относящихся к группе стойких органических загрязнителей; даже при наличии соединений хлора двухстадийный процесс сжигания подавляет появление в дымовых газах ароматических соединений (предшественников диоксинов) и тем самым обеспечивает низкое содержание пылевых частиц (катализаторов образования диоксинов в дымовых газах);

7. Зола, выгружаемая из реактора, имеет низкую температуру и практически не содержит недогоревшего углерода;

8. При утилизации некоторых видов отходов имеется возможность извлечения (методом пиролиза) из продукт-газа товарных материалов (нефти, бензина и пр.) для последующего их использования.

На основе метода газификации конденсированных топлив в режиме сверхадиабатического горения специалистами разобран ряд технологий

утилизации низкосортных топлив и горючих отходов с одновременным получением энергии, в том числе процессы:

- газификации низкосортных углей и угольных отходов;
- утилизация нефтешламов и нефтеотходов широкого спектра с дополнительным получением нефтеподобного пиролизного масла;
- переработки древесных отходов непосредственно в леспромхозах;
- утилизация отходов иловых осадков, целлюлозно – бумажной промышленности (в т.ч. лигнина) с получением пиролизных смол;
- переработки ила биологической очистки канализационных стоков;
- утилизация твердых бытовых и промышленных отходов, в том числе лакокрасочных отходов, отходов полимеров, отработанных фильтров, промасленных опилок и ветоши, отходов химического производства;
- переработки больничных отходов непосредственно в больницах;
- переработка биомассы.

Вышеперечисленные процессы отработаны на пилотных установках.

Все технологические методы запатентованы в России и в некоторых странах за границей.

Отработанные процессы могут быть реализованы в установках с газификаторами прерывного действия (при небольшом объеме перерабатываемого материала) либо с газификаторами непрерывного действия. К настоящему времени созданы и работают.

Установка периодического действия для переработки маслоотходов металлургического производства производительностью 120 кг в час по горючей массе (твердые горючие отходы образуются путем пропитки пористой основы – кусков шамотного кирпича – жидкими масляными отходами). Установка потребляет 300 – 400 м<sup>3</sup> воздуха и до 100 кг пара в час, размеры реактора – рабочий диаметр 1 м, высота 3 м.

Установка для переработки твердых бытовых отходов (ТБО) с реактором – газификатором непрерывного действия производительностью 2 тонны в час. Установка потребляет 1800 м<sup>3</sup> воздуха и до 700 кг пара в час; годовая тепловая мощность получаемая при сжигании продукт – газа – 6МВт; размеры реактора–газификатора– рабочий диаметр 1,5 м, высота 7,3 м. Вырабатываемая при переработке ТБО тепловая энергия используется для нужд горячего водоснабжения предприятия (поселка, города).

В ходе испытаний установки были тщательно определены характеристики газовых выбросов. Их величины подтвердили высокую экологическую чистоту процесса при сжигании ТБО: так концентрация диоксинов в дымовых газах не превышает существующих европейских норм на ПДВ (Европейские нормативы в соответствии с 17.BImSch V от декабря 1990 г.).

Производительность установки мусоросжигания может наращиваться путем установки нескольких модулей – реакторов вышеуказанного размера.

#### **Технико-экономические характеристики реактора-газификатора**

1. Технологическая производительность, т/час (т/год): 2,14 (15 000).
2. Энергетический КПД по переделу топливо/продукт-газ, %: не менее 90.
3. Тепловая мощность на горелках: (при низшей калорийности ТБО равной 11 200 МДж) 6 МВт.
4. Годовое производство тепла, Гкалл: 36 160 Гкалл.
5. Срок эксплуатации (при соответствующем техническом обслуживании): 15 лет и более.
6. Время непрерывной работы реактора, час/год: 7 000
7. Высота от уровня фундамента, м: 14
8. Нагрузка на фундамент при загруженном реакторе, т/реактор: менее 60
9. Технические данные реактора-газификатора:
  - Внутренний диаметр, м: 5;

- Наружный диаметр, м: 2,6;
- Высота рабочего объема, м: 7,3;
- 10. Занимаема площадь (без участка приема отходов):
  - модуль из одного реактора 280 м<sup>2</sup>;
- 11. Температура продукт-газ, °С: менее 150
- 12. Температура золы, °С: менее 100
- 13. Максимальный размер кусков сырья, мм: 200
- 14. Затраты на эксплуатацию:
  - персонал (4 смены по 2 человека) 8 чел;
  - обслуживание - профилактический уход и ремонт 2-4 % от кап. вложений:
  - электроэнергия, кВт/час: 50;
  - расходные материалы газификации;
  - природный газ (дежурная горелка по нормам ЕЭС) 5 м<sup>3</sup>/час;
  - техническая вода (или мятый пар) до 1 т/час (без энергоблока);
  - шамот, т/год: до 3.

В настоящее время ведется разработка реакторов иных типоразмеров. Остальное оборудование, включающее, в том числе энергетическое и очистное оборудование комплектуется по заданию заказчика, в том числе из имеющегося в производстве. Если требуется, то производится модернизация этого оборудования. Кроме того, в комплекте может поставляться газогенераторная установка, работающая на получаемом продукт-газе и предназначенная для выработки тепловой и электроэнергии.

#### **Вопросы для контроля**

1. Что такое ТБО?
2. Каков состав ТБО по массе?
3. Какие виды энергетического сырья получают из ТБО?
4. Охарактеризуйте процесс гидрирования ТБО.
5. Охарактеризуйте процесс анаэробного сбраживания ТБО.
6. Охарактеризуйте процесс пиролиза ТБО.



7. Опишите метод фильтрационного горения ТБО в сверхадиабатическом режиме.

8. Нарисуйте принципиальную схему мини – ТЭЦ на фильтрационном методе горения.

## **ГЛАВА 7**

### **КОНЦЕПЦИЯ СОЗДАНИЯ МОБИЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ ПЕРЕРАБОТКИ ВВИЭ**

#### **7.1 Мини-теплоэлектростанции на основе пиролиза**

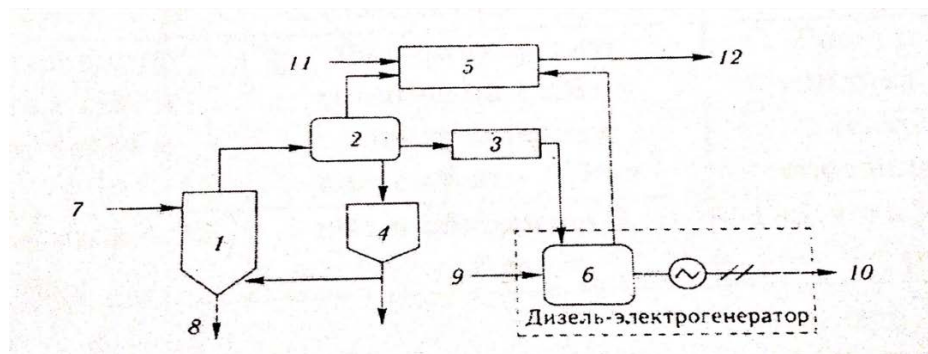
Пиролиз – термохимическая переработка органического вещества в бескислородной среде, который является наиболее универсальным технологическим методом производства биотоплива. С помощью этого метода можно в очень широких пределах управлять соотношением твердой (древесный уголь), жидкой (бионефть) и газообразной (пиролизный газ) фракций продуктов переработки растительного сырья, изменяя температуру и продолжительность процесса. Любая из этих фракций пригодна для комбинированного производства тепла и электроэнергии тем или иным известным способом, из которых наиболее традиционным является сжигание в паровых котлах с последующим преобразованием энергии пара в электричество в паровых турбинах.

Газовые турбины имеют самый высокий КПД, однако эффективно они используются при мощностях более 500 кВт. При меньших мощностях используются дизельные или бензиновые двигатели внутреннего сгорания, которые могут быть успешно адаптированы для работы на пиролизном топливе.

Автономные мини-ТЭС включают модуль пиролиза и дизель-генераторный агрегат. Основными элементами модуля пиролиза являются реактор, в котором органические компоненты исходного сырья при нагреве

разлагаются с образованием и переходом в паровую фазу более легких соединений, и конденсатор, в котором часть парообразных продуктов, охлаждаясь, переходит в жидкое состояние (бионефти). Не сконденсировавшаяся часть продуктов образует пиролизный газ. Отношение массы жидкого продукта к массе газообразного может варьироваться от 0,1 до 5 в зависимости от температуры и продолжительности термохимического процесса. Кроме жидкой и газообразной фракций реактор производит некоторое количество твердого продукта, который по своим физико-химическим свойствам близок к древесному углю. Термохимический процесс является энергозатратным. Значительная часть энергии, подводимой к реактору извне, расходуется на нагрев и испарение влаги, содержащейся в растительной биомассе. Включение камеры предварительного удаления влаги в состав модуля пиролиза позволяет значительно снизить общие энергозатраты при производстве биотоплива.

На рис. 7.1 показана функциональная схема мини-ТЭС, включающая в



себя модуль пиролиза и дизель

Рисунок 7.1 – Схема мини-ТЭС: 1 – реактор пиролиза; 2 – конденсатор; 3 – фильтр тонкой очистки; 4 – бионефть; 5 – теплообменник, 6 – ДВС; 7 – растительное сырье; 8 – древесный уголь; 9 – дизельное топливо (15 %); 10 – электроэнергия; 11 – холодная вода; 12 – горячая вода

Весь вырабатываемый модулем пиролиза газ через фильтр тонкой очистки подается в ДВС электрогенераторного агрегата. Бионефть собирается в ёмкость, откуда часть ее возвращается в модуль пиролиза для сжигания и поддержания требуемой температуры в реакторе. Тепло, выделившееся в конденсаторе, а также отработанных газов ДВС утилизируется теплообменник для производства горячей воды. При необходимости излишки бионефти также могут быть использованы в качестве печного топлива в системе теплоснабжения и обеспечения потребителей горячей водой. По этой схеме (рис. 7.1) работает фирма

«POTRAM – GENERATOR» и производит мини – ТЭЦ. Конструктивный ряд производимых фирмой мини–ТЭЦ приведён в таблице 7.1.

Таблица 7.1 – Конструктивный ряд производимых фирмой «POTRAM – GENERATOR» мини–ТЭЦ

<p><b>Процессы: Молекулярный разрыв.</b>  <b>Получение Синтез – газа из тяжелых нефтесодержащих жидкостей (отработанные масла мазут, нефтешламы) и воды для выработки электроэнергии и тепла на дизель – генераторах</b></p>	<p><b>Процессы: Молекулярный разрыв.</b>  <b>Получение Синтез – газа из органических материалов (древесина, торф, уголь, ТБО, лигнин, иловые осадки) и воды для выработки электроэнергии и тепла на дизель – генераторах</b></p>
<p>Электростанция «POTRAM – GENERATOR 2,5» исполнение на площадке.          Мощность: 2,5кВт. Стоимость: 59000 руб.</p>	<p>Электростанция «POTRAM – GENERATOR 2,5А» исполнение на контейнере.          Мощность: 2,5кВт. Стоимость: 85000 руб.</p>
<p>Электростанция «POTRAM – GENERATOR 5» исполнение на площадке.          Мощность: 5кВт. Стоимость: 118000 руб.</p>	<p>Электростанция «POTRAM – GENERATOR 5А» исполнение на контейнере.          Мощность: 5кВт. Стоимость: 170000 руб.</p>
<p>Электростанция «POTRAM – GENERATOR 10» исполнение на контейнере.          Мощность: 10кВт. Стоимость: 236000 руб.</p>	<p>Электростанция «POTRAM – GENERATOR 10А» исполнение на контейнере.          Мощность: 10кВт. Стоимость: 340000 руб.</p>

Продолжение таблицы 7.1

<p>Электростанция «POTRAM – GENERATOR 15» исполнение на контейнере.          Мощность: 15кВт. Стоимость: 354000 руб.</p>	<p>Электростанция «POTRAM – GENERATOR 15А» исполнение на контейнере.          Мощность: 15кВт. Стоимость : 510000 руб.</p>
<p>Электростанция «POTRAM – GENERATOR 20» исполнение на</p>	<p>Электростанция «POTRAM – GENERATOR 20А» исполнение на контейнере.</p>

контейнере. Мощность: 20кВт. Стоимость: 472000 руб.	Мощность: 20кВт. Стоимость: 680000 руб.
Электростанция «POTRAM – GENERATOR 25» исполнение на контейнере. Мощность: 25кВт. Стоимость: 590000 руб.	Электростанция «POTRAM – GENERATOR 25А» исполнение на контейнере. Мощность: 25кВт. Стоимость: 850000 руб.
Электростанция «POTRAM – GENERATOR 50» исполнение на контейнере. Мощность: 50кВт. Стоимость: 1180000 руб.	Электростанция «POTRAM – GENERATOR 50А» исполнение на контейнере. Мощность: 50кВт. Стоимость: 1700000 руб.
Электростанция «POTRAM – GENERATOR 75» исполнение на контейнере. Мощность: 75кВт. Стоимость: 1770000 руб.	Электростанция «POTRAM – GENERATOR 75А» исполнение на контейнере. Мощность: 75кВт. Стоимость: 2550000 руб.
Электростанция «POTRAM – GENERATOR 100» исполнение на контейнере. Мощность: 100кВт. Стоимость: 2360000 руб.	Электростанция «POTRAM – GENERATOR 100А» исполнение на контейнере. Мощность: 100кВт. Стоимость: 3400000 руб.

Экономическое сравнение стоимости получения электроэнергии на дизель – генераторе, работающем на дизельном топливе и генераторном газе из твердых бытовых отходов, приведено в таблице 7.2.

Таблица 7.2 – Экономическое сравнение стоимости получения

<b>Стоимость 1 кВт*ч при работе дизельной электростанции на дизельном топливе</b>	<b>Стоимость 1 кВт*ч при работе дизельной электростанции на генераторном газе из твердых отходов</b>	
Стоимость дизельного	Стоимость отходов древесины	Стоимость ТБО в среднем

топлива составляет 18 руб/л	в среднем составляет 0,14 руб/кг	составляет 0,14 руб/кг
Расход дизельного топлива на 1 кВт*ч составляет 0,234 л	Расход твёрдого топлива на 1 кВт*ч электроэнергии составляет – 0,7 кг	Расход твердого топлива на 1 кВт*ч электроэнергии составляет – 1,1 кг
1 кВт*ч обходится 4,22 рубля	1 кВт*ч обходится 0,10 рубля	1 кВт*ч обходится 0,16 рубля

## 7.2 Получение водорода электролизом воды

Электролиз воды один из наиболее известных и хорошо исследованных методов получения водорода. Он обеспечивает получение чистого продукта (99,6 – 99,9% H<sub>2</sub>) в одну технологическую ступень. Ресурсы современной электроэнергетики недостаточны для получения водорода в качестве продукта для дальнейшего энергетического использования.

И только развитие направления широкого использования ВВИЭ открывает неограниченные перспективы производства водорода для развития водородной энергетики в России. Это становится возможным потому, что электролизные установки в комплексе с мини-ТЭС можно устанавливать в любом месте получения и накопления ВВИЭ.

Электролиз воды обладает следующими положительными качествами:

- 1) высокая чистота получаемого водорода – до 99,99 % и выше;
- 2) простота технологического процесса и его непрерывность;
- 3) возможность наиболее полной автоматизации;
- 4) отсутствие движущихся частей в электролитической ячейке и в техпроцессе;
- 5) возможность получения ценнейших побочных продуктов тяжелой воды и кислорода;
- 6) общедоступное и неисчерпаемое сырье – вода;

7) гибкость процесса и возможность получения водорода непосредственного под давлением;

8) физическое разделение водорода и кислорода в самом процессе электролиза.

Во всех процессах получения водорода разложением воды в качестве побочного продукта будут получаться значительные количества кислорода. Это даст новые стимулы его применения. Он найдет свое место не только как ускоритель технологических процессов, но и как незаменимый очиститель и оздоровитель водоёмов, промышленных стоков. Эта сфера использования кислорода может быть распространена на атмосферу, почву, воду.

Разложение воды начинается при подаче на электроды чуть больше 1,8 вольт. Если подавать 1 вольт, то ток практически не идёт и не выделяется газ, а когда напряжение подходит к значению 1,8 вольт, то ток резко начинает расти. Это называется «минимальный электродный потенциал» при котором начинается электролиз. Чем меньше этот потенциал – тем мы меньше потратим Ватт для получения литра водорода. Поэтому, если мы подадим 12 вольт на 2 электрода, то такой электролизёр будет много потреблять электроэнергии, а газа будет мало. Вся энергия уйдёт в нагрев электролита. Для того, чтобы электролизёр был экономичным – надо подавать не более 2-х вольт на ячейку. Поэтому, если у нас 12 вольт – мы делим их на 6 ячеек и получаем на каждой по 2 вольт.

Если просто разделим ёмкость на 6 частей пластинами, то в результате получится 6 ячеек, соединённых последовательно на каждой ячейке будет по 2 вольт. Каждая внутренняя пластина с одной стороны будет плюсом, а с другой минусом.

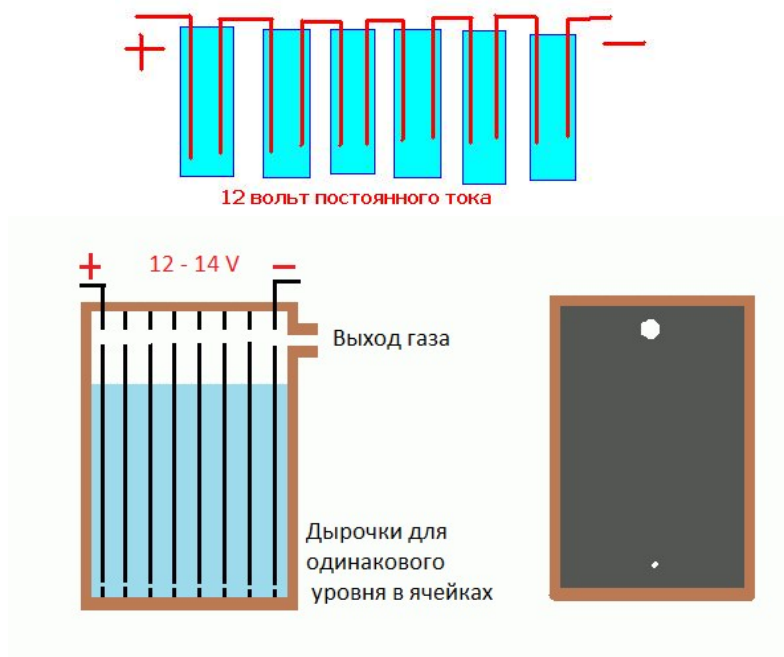


Рисунок 7.2 – Схема электролиза воды

Чем больше расстояние между пластинами, тем больше сопротивление, тем больше потратим тока для получения литра газа. Чем меньше расстояние – тем меньше потратим Ватт в Час на Литр газа. Далее будем пользоваться именно этим термином (Ватт в Час на Литр) – показатель экономичности электролизёра. Чем ближе находятся пластины друг к другу – тем меньше напряжение требуется для прохождения одного и того же тока. Как известно, выход газа прямо пропорционален количеству то прошедшего через электролит. Перемножая более маленькое напряжение на ток - мы получим меньше ватт на то же количество газа.

Если мы возьмём 2 гвоздя, расположим их близко и подадим на них 2 вольта – то газа получится совсем мало, так как они пропустят очень мало тока. Попробуем при тех же условиях взять две пластины. Теперь количество тока и газа будет увеличено прямо пропорционально площади этих пластин.

Если установить большие железные пластины на маленьком расстоянии друг от друга, подать на них 2 вольта и отпустить их в воду, добавив одну щепотку соды, то электролиз пойдёт, но очень вяло, вода будет



нагреваться и показатель (Ватт в час на литр) будет большой – электролизёр не экономичный. А если сделать насыщенный раствор, то в растворе сопротивление будет маленькое, нагрев уменьшится, а количество газа увеличится.

Показатель (Ватт в час на литр) будет маленький – значит электролиз эффективный.

Чем выше температура электролита, тем меньше сопротивление электролита, тем лучше (меньше Ватт в час на литр). Эффективность электролиза зависит от свойств электродов. Каждый металл обладает своей характеристикой «минимального напряжения электролиза».

Например, у никеля он меньше. На никеле электролиз начинается при 1,8 вольт, у железа примерно при 1,9.

Электролизеры изготавливают трех видов:

#### 1. Сухой электролизер

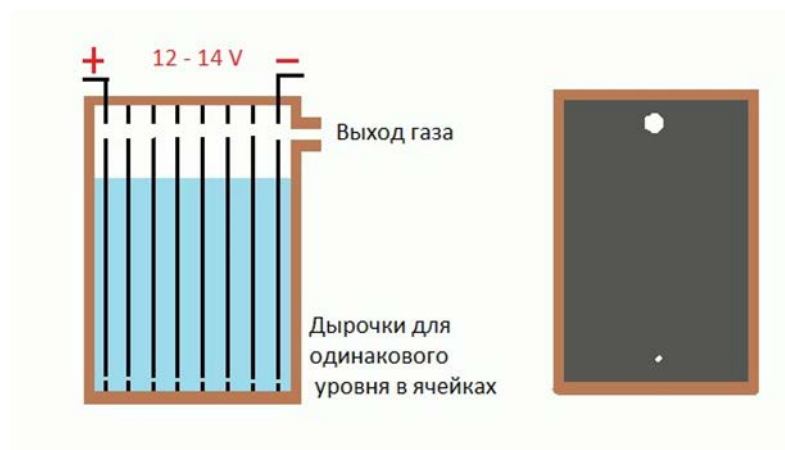


Рисунок 7.3 – Схема сухого электролизёра

Смысл сухого электролизера в том, чтобы каждая ячейка была автономна. Чтобы нагрузка из пластины распределялась поровну на каждую пару пластин. И только маленькое отверстие сделано для того, чтобы уровень электролита был одинаковым во всех ячейках (соединяет их).

Тогда вообще нет токов утечки от крайней к крайней пластины. Но проверка показала, что наличие дырки диаметром до 5 мм существенной разницы и ухудшения характеристики – не дает, верхняя дырка находится

над поверхностью электролита и через нее собирается газ. Основные достоинства такого электролизера – экономичность. Но в таком электролизере невозможно сблизить пластины на 1 мм, так как будет происходить загазованность ячеек, и электролит просто будет выплевываться в верхнюю дырку. Поэтому расстояние между пластинами должно быть от 3 мм до 5 мм.

## 2. проточный электролизёр

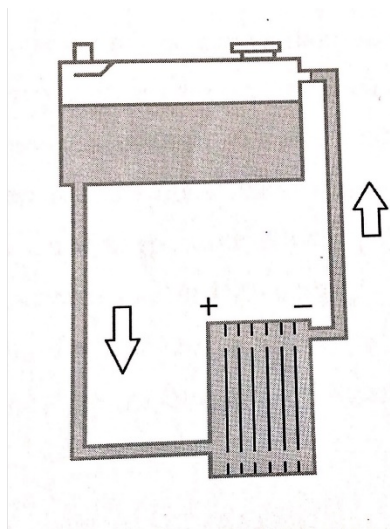


Рисунок 7.4 – Схема проточного электролизёра

Смысл такого электролизёра в том, что он полностью залит и пузырьки газа вместе с электролитом выдавливаются в верхнюю емкость, где газ отделяется от электролита, а электролит самотёком возвращается в электролизёр. Чтобы обеспечить проточность – дырки в электролизёре должны быть уже больше .... К сожалению, это негативно сказывается на экономичности электролизёра. Но если дырки не превышают 8 мм в диаметре – то экономичность не слишком сильно падает.

### 3. Мокрый электролизёр

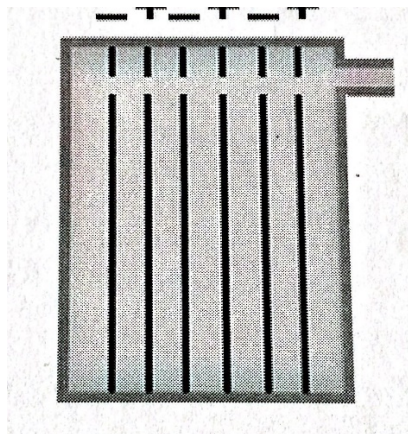


Рисунок 7.5 – Схема мокрого электролизёра

Мокрый электролизёр – это когда все пластины находятся в одной емкости в одном электролите и подключены так, как указано на рис. 7.5.

Из рисунка понятно, что если мы подадим таким образом на него 12 вольт, то получится почти короткое замыкание, так как пару пластин рассчитаны на 2 вольта. Такой электролизер можно применять только, если источник питания равен 2 вольтам или с помощью хитроумного электронного устройства, которые будет на него подавать ток короткими импульсами.

Мы сделали упрощенное описание процесса электролиза в электролизёре. Внешний вид промышленной установки для электролиза воды (электролизёра) на рис.7.6.



Рисунок 7.6 – Внешний вид промышленного электролизёра

### **7.3 Принцип создания мобильных комплексов переработке ВВИЭ**

Большие российские города в состоянии создавать современные полигоны для захоронения ТБО с возможностью получения метана при долговременном разложении ТБО. Или строить заводы по переработке ТБО с получением товарной продукции, с выработкой электроэнергии и тепла.

Малые и средние города численностью до 400 тыс. жителей не в состоянии строить такие заводы и не в состоянии строить современные полигоны для захоронения ТБО. Свалки в этих городах постоянно будут, потому что никто и никогда не будет в этих городах, районных центрах и крупных поселках перерабатывать ТБО.

Единственный путь борьбы с мусором в малых городах России – это создание мобильных комплексов переработки ТБО. Такие мобильные комплексы и по конфигурации и по производительности и по скорости

дислокации целесообразны для переработки ТБО именно в малых городах и районных центрах. Они обладают высокой мобильностью и адаптивностью к муниципальным условиям.

Мини-ТЭС и устройство электролиза воды (электролизёр) обеспечивают возможность создания мобильного комплекса по переработке ВВИЭ. Целесообразно создавать мобильные комплексы на базе автомобиля КАМАЗ. Мини-ТЭС устанавливаются в кузове автомобиля, а электролизёр в полуприцепе. Такой комплекс будет перерабатывать вторичный источник энергии сначала в электроэнергию в мини-ТЭС, а затем электроэнергию в водород и кислород в электролизёре, с упаковкой их в баллоны, готовые к реализации.

Такие комплексы позволяют исключить уничтожение отходов и превратить этот процесс в переработку отходов с получением тепла, электроэнергии, водорода и кислорода непосредственно на месте получения отходов, что чрезвычайно эффективно.

Такие комплексы необходимо создавать в большом количестве для:

- переработки твердых бытовых отходов с возможностью мобильного перемещения от одной мусорной свалки к другой с быстрым циклом сворачивания и подготовки к работе;
- переработки отходов на лесосеках;
- переработки отходов на деревообрабатывающих производствах;
- переработки отходов сельскохозяйственного производства зерновых (соломы).

Принципиальная схема мобильного комплекса в развернутом виде представлена на рис. 7.7

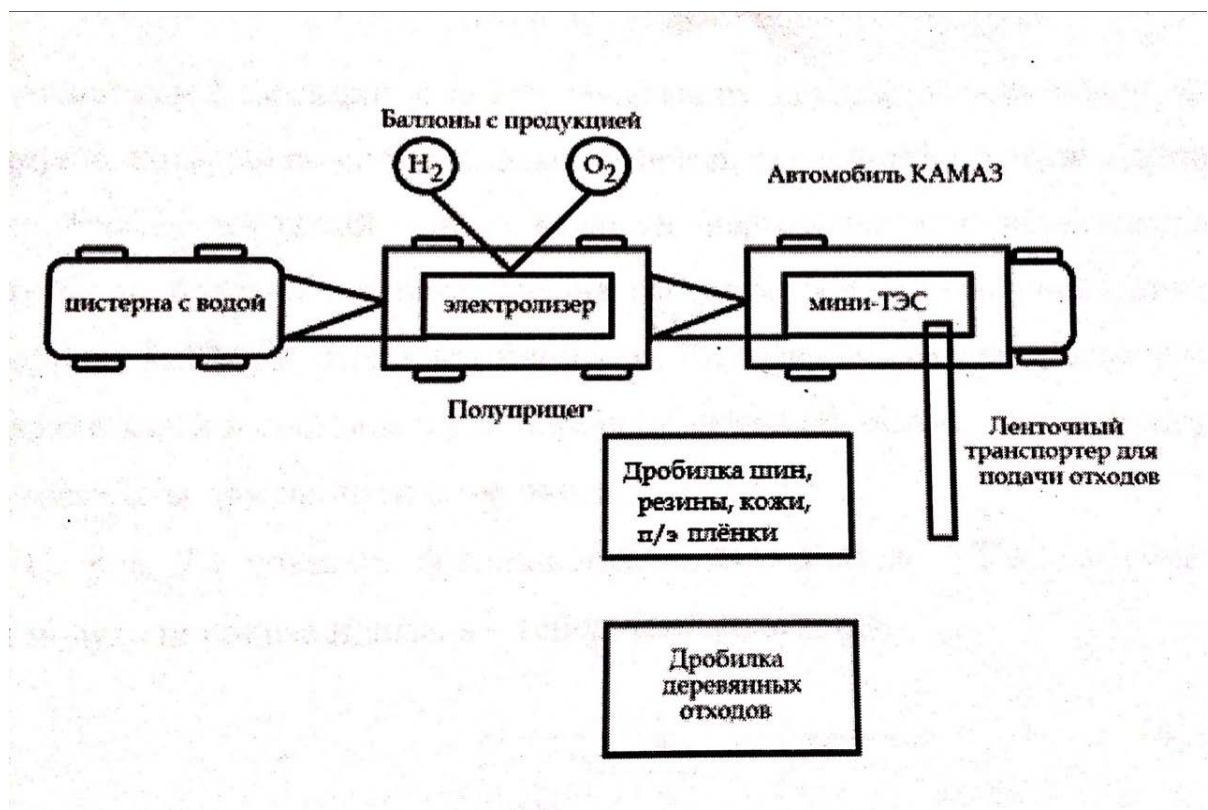


Рисунок 7.7 – Схема мобильного комплекса переработки твердых бытовых отходов.

### Вопросы для самоконтроля

1. Нарисуйте принципиальную схему мини-ТЭС.
2. Что такое электролиз воды?
3. Что получают промышленным способом с помощью электролиза?
4. Нарисуйте схему электролиза.
5. От чего зависит эффективность электролиза?

6. Нарисуйте схему сухого электролизёра.
7. Нарисуйте схему приточного электролизёра.
8. Нарисуйте схему мокрого электролизёра.
9. Изложите принцип создания мобильных комплексов переработке ВВИЭ.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

"Каменный век закончился не из-за недостатка камней, и век нефти закончится до того, как кончится нефть".

Ахмед Заки Ямани

Правительства экономически развитых государств вместе с подконтрольными им средствами массовой информации очень болезненно воспринимают любую информацию об истощении запасов нефти.

Их меньше всего заботит судьба будущих поколений на Земле – их заботит количество нефти, находящееся в "их руках". Это даёт политический, а следовательно и экономический вес на мировой арене. Это дает возможность строить геополитику и управлять человеческим обществом на Планете.

Это основная причина слабого развития (можно сказать недоразвитости) направления нетрадиционной и возобновляемой энергетики на Земле. Сильные мира сего боятся этого направления и делают все, чтобы затормозить его развитие. Но, плод в организме женщины развивается независимо от того, хотим мы этого или нет. Так и необходимость альтернативной энергетики созрела независимо от желания сильных мира сего. Их действия сейчас похожи на искусственное прерывание

беременности, но ... это опасно для здоровья женщины. А для энергетического "здоровья" человечества Земли – это смертельно опасно.

Внимание сильных мира сего направленно вглубь Земли, через нефтяную скважину. А им предлагается остановиться в своей погоне за "добычей" – за сверхприбылью, за управлением Миром, и перенести свое внимание на поверхность Земли, которую они, благодаря добыче нефти и газа и их переработке в энергию, превратили в мусорную свалку. Все серьезные международные экологические организации и организации здравоохранения сделали заключение: «Еще 30 лет такого поведения человечества на Земле и его экологическая катастрофа будет неминуема».

Один из основных элементов этой экологической катастрофы – это превращение Планеты в "большую мусорную свалку", т.к. количество вывозимого на свалки мусора ежегодно увеличивается. Исходя из вышеизложенных причин, правительства и олигархические круги развитых стран не заинтересованы в переработке этого мусора в электроэнергию и тепло. Следовательно, эта проблема сверху решаться не будет. Эту проблему нужно решать снизу – теми, кто не хочет жить на Планете как на "мусорной свалке". Т.е. люди на местах, в своих маленьких городах и больших поселках будут сами решать эту проблему, организуя переработку ВВИЭ в энергию и энергоносители. Главное место в этой переработке занимает переработка ТБО с помощью мобильных комплексов, которые нужно создавать в больших количествах. Это самое перспективное направление утилизации/переработки ТБО и исключение из жизни технологических процессов превращения нашей планеты в большую мусорную свалку.

Читателю предлагается глубоко проникнуться этой проблемой и включиться в ее решение. А выпускников инженерных специальностей российских ВУЗов, вступающих в свою самостоятельную инженерную деятельность, я призываю к со-творчеству с Природой нашей Планеты. Нет ничего более благородного в деятельности человека, чем очистка Планеты от физического, нравственного и духовного мусора. Желаю творческих успехов



всем, кто выберет это, Богом указанное, направление инженерной деятельности!!!

## Литература

1. Плыкин В.Д. Резонансная вихревая модель Вселенной: [Электронный ресурс] URL: <http://via-midgard.info/news/video/1523-plykin-vd-povaya-modelvselennoj.html>
2. Плыкин В.Д. Возобновляемые источники энергии: учеб-метод. пособие / сост. В.Д. Плыкин. – Ижевск: Изд-во «Удмуртский университет», 2012. – 60 с.
3. Плыкин В.Д. Нетрадиционные возобновляемые источники энергии: учеб. пособие / сост. В.Д. Плыкин. – Ижевск: Изд-во «Удмуртский университет», 2013. – 172 с.
4. А. да Роза Возобновляемые источники энергии. Физико-технические основы [Текст]: учебное пособие / пер. с англ. под ред. С.П. Малышенко, О.С. Попеля. – Долгопрудный: Издательский Дом "Интеллект", 2010. – 704 с.
5. Алхасов А.Б. Возобновляемая энергетика / А.Б. Алхасов; ред. В.Е. Фортов. – Москва: Физматлит, 2010. – 256
6. Денк С. О. Возобновляемые источники энергии. На берегу энергетического океана / С. О. Денкс. – Пермь: Изд-во Пермского ГУ, 2008. – 288с.
7. Сибикин М.Ю. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: учеб.пособие / сост. М.Ю. Сибикин, Ю.Д. Сибикин. – Москва; Берлин: Директ-Медиа, 2014. – 229 с.
8. Экономия топлива на судах // Нефтегазовые технологии. – 2006. – №4. – с.28

9. Слотер Б. Биотоплива – панацея от всех бед? / Б.Слотер // Нефтегазовые технологии. – 2007. – №6. – с.65
10. Сердюк В., Ашкинази Л. Три кита дизельного будущего / В. Сердюк, Л. Ашкинази // Нефть России. – 2007. – №4. – с.39
11. Финкельштейн М., де Брюн Р., Вебер Дж., Додсон Дж. Остаточные углеводороды: источники добычи биогенного метана // Нефтяные технологии. – 2005. – №12. – с.34
12. Воронина А. Живое топливо / А. Воронина // Ведомости. – 2006. – №247
13. Марков В.Д., Оленин А.С., Оспенникова Л.А. Торфяные ресурсы мира. Справочник. – М.: Недра, 1988. – 384 с.
14. Т. Дж. Сорг, Т. У. Бендиксен, Э. Квортли и др. Твёрдые отходы: возникновение, сбор, обработка и удаление. – М.: Стройиздат, 1979 –с. 57,255