

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

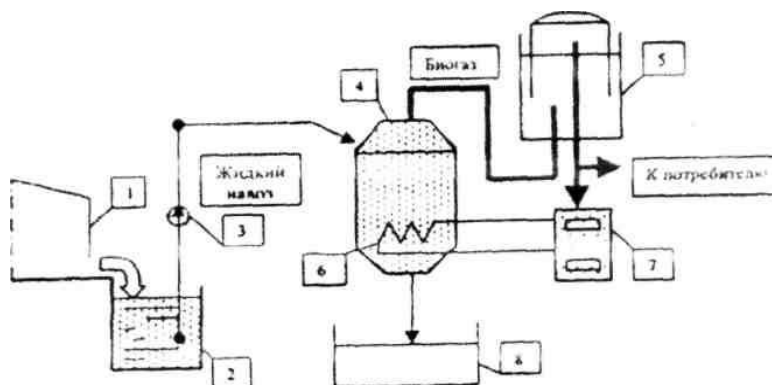
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»  
(ННГАСУ)

Факультет инженерно-экологических систем и сооружений

Кафедра теплогазоснабжения

**Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии для получения  
теплоты в системах теплоснабжения (биогаз из различных видов биомассы)**

Методическая разработка  
для студентов очной и заочной форм обучения специальностей  
140104.65 Промышленная теплоэнергетика,  
270109.65 Теплогазоснабжение и вентиляция



Нижегород,

ННГАСУ

2012

**УДК 621.311.23/.26:620.9 (0.75.8)**

**Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии для получения теплоты в системах теплоснабжения (биогаз из различных видов биомассы)**  
[Текст]: Методическая разработка для студентов очной и заочной форм обучения специальностей 140104.65 «Промышленная теплоэнергетика» и 270109.65 «Теплогазоснабжение и вентиляция» / Нижегород. гос. архитектур.-строит. ун-т; сост. Г.М. Климов. – Н. Новгород: ННГАСУ, 2012. – 33 с.: ил.

В методической разработке приведены основные сведения об источниках энергии для получения теплоты, их классификация с выделением проблемы отходов с позиции их использования как вторичных энергоресурсов. Дается информация о состоянии и перспективах использования нетрадиционных и возобновляемых источников энергии (НиВИЭ) в России, а также стратегия энергетики с обоснованием необходимости использования НиВИЭ. Рассмотрены уже известные за рубежом принципы управления отходами, в том числе с позиции получения теплоты. Приведены списки рекомендуемых и использованных источников по разделам и справочные приложения. Методическая разработка предназначена для студентов, изучающих дисциплины «Теплогенерирующие и котельные установки и парогенераторы» и «Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии».

Рис.9. Табл.6. Библиогр.

**Составитель Г.М. Климов**

**Рецензент – доцент каф. ТГС Е.Н. Цой**

**Компьютерный набор – А.А. Самоздран гр. ПТ-08, Е.И. Медведева гр. ТЭ-01**

**Содержание**

1 Энергия биомассы. . . . .	4
1.1 Термохимическое превращение отходов в энергию . . . . .	7
1.2 Газификация биомассы для получения энергии. . . . .	10
2 Биохимическое превращение отходов. . . . .	12
2.1 Анаэробное сбраживание. . . . .	12
2.2 Ферментация отходов. . . . .	15
2.3 Технология получения биогаза. . . . .	16
3 Использование энергии из отходов . . . . .	18
3.1 Использование отходов сельскохозяйственного производства . . . . .	20
3.2 Основные направления использования биогаза . . . . .	23
4 Сжигание биогаза метантенков в котельных установках . . . . .	25
5 Биогаз и когенерационные установки . . . . .	29
5.1 Биогаз в качестве топлива для когенерационных установок . . . . .	29
5.2 Требования к свойствам биогаза . . . . .	30
5.3 Основные когенерации. . . . .	31
6 Источники. . . . .	33
7 Приложения:	
Приложение А (справочное): Производство биогаза . . . . .	34
Приложение В (справочное): ПВ.1 Биотехнология . . . . .	36
ПВ. 2 Элементарные сведения из биохимии и микробиологии . . . . .	36

## 1. Энергия биомассы (общие сведения)

Эффективным возобновляемым источником энергии является биомасса. Ресурсы биомассы в различных видах есть почти во всех регионах мира, и почти в каждом из них может быть налажена её переработка в энергию и топливо. На современном уровне за счёт биомассы можно перекрыть 6-10 % от общего количества энергетических потребностей промышленно развитых стран.

По данным статистики ежегодно в странах ЕЭС производится бытовых и сельскохозяйственных отходов в объёме 100-120 млн. тонн нефтяного эквивалента (н.э.) из них 50-60 млн.т н.э. могут быть утилизированы в отдалённой перспективе.

Аналогичные показатели для альтернативных источников энергии составляют (млн. т н.э.): геотермальная энергия - 3-7,5, солнечная энергия -10-20, ветровая - 6-10.

**Общие ресурсы биомассы в Европе (в млн.т сухой массы/год) составляют:** древесного топлива – 75, древесных отходов – 70, сельскохозяйственных отходов – 250, городского мусора – 75. Кроме того, биомасса, выращиваемая на энергетических плантациях, даёт 250 млн. т/год.

Ежегодно на Земле при помощи фотосинтеза образуется около 120 млрд. тонн сухого органического вещества, что энергетически эквивалентно более 40 млрд. тонн нефти.

Получение биогаза экономически оправдано и является предпочтительным при переработке постоянного потока отходов (стоки животноводческих ферм, скотобоен, растительных отходов и т.д.)

Понятие «биомасса» относят к веществам растительного или животного происхождения, а также отходам, получаемым в результате их переработки. В энергетических целях энергию массы используют двояко: путём непосредственного сжигания или путём переработки в топливо (спирт или биогаз). **Есть два основных направления получения топлива из биомассы: с помощью термохимических процессов или путём биотехнологической переработки.** Опыт показывает, что наиболее перспективна биотехнологическая переработка органического вещества (см. рис. 1)

**Одно из наиболее перспективных направлений энергетического использования биомассы - производство из неё биогаза, состоящего на 50-80% из**

метана и на 20-50% из диоксида углерода. Его теплота сгорания (5-6 тыс. ккал/м<sup>3</sup>) 21000-25000 кДж/м<sup>3</sup>

**Наиболее эффективно производство биогаза из навоза.** Из одной тонны его можно получить 10-12 куб.м метана. А, например, переработка 100 млн.тонн такого отхода полеводства, как солома злаковых культур, может дать около 20 млрд.куб.м метана. В хлопкосеющих районах ежегодно остается 8-9 млн.тонн стеблей хлопчатника, из которых можно получить до 2 млрд.куб.м метана. **Для тех же целей возможна утилизация ботвы культурных растений, трав и др.**

**Биогаз можно конвертировать в тепловую и электрическую энергию, использовать в двигателях внутреннего сгорания для получения синтезгаза и искусственного бензина.**

**Производство биогаза из органических отходов даёт возможность решать одновременно три задачи: энергетическую, агрохимическую (получение удобрений типа нитрофоски) и экологическую.**

Установки по производству биогаза размещают, как правило, в районе крупных городов, центров переработки сельскохозяйственного сырья. Исследуются возможности и разрабатываются способы получения биотоплива путём сжигания, сухой перегонки, гидролиза, ферментации, аэробного и анаэробного разложения биомассы и отходов.

**Научное и техническое направление, охватывающее все методы получения и использования энергии и топлива из органического сырья, получило название биоэнергетика (см. рис. 1).**

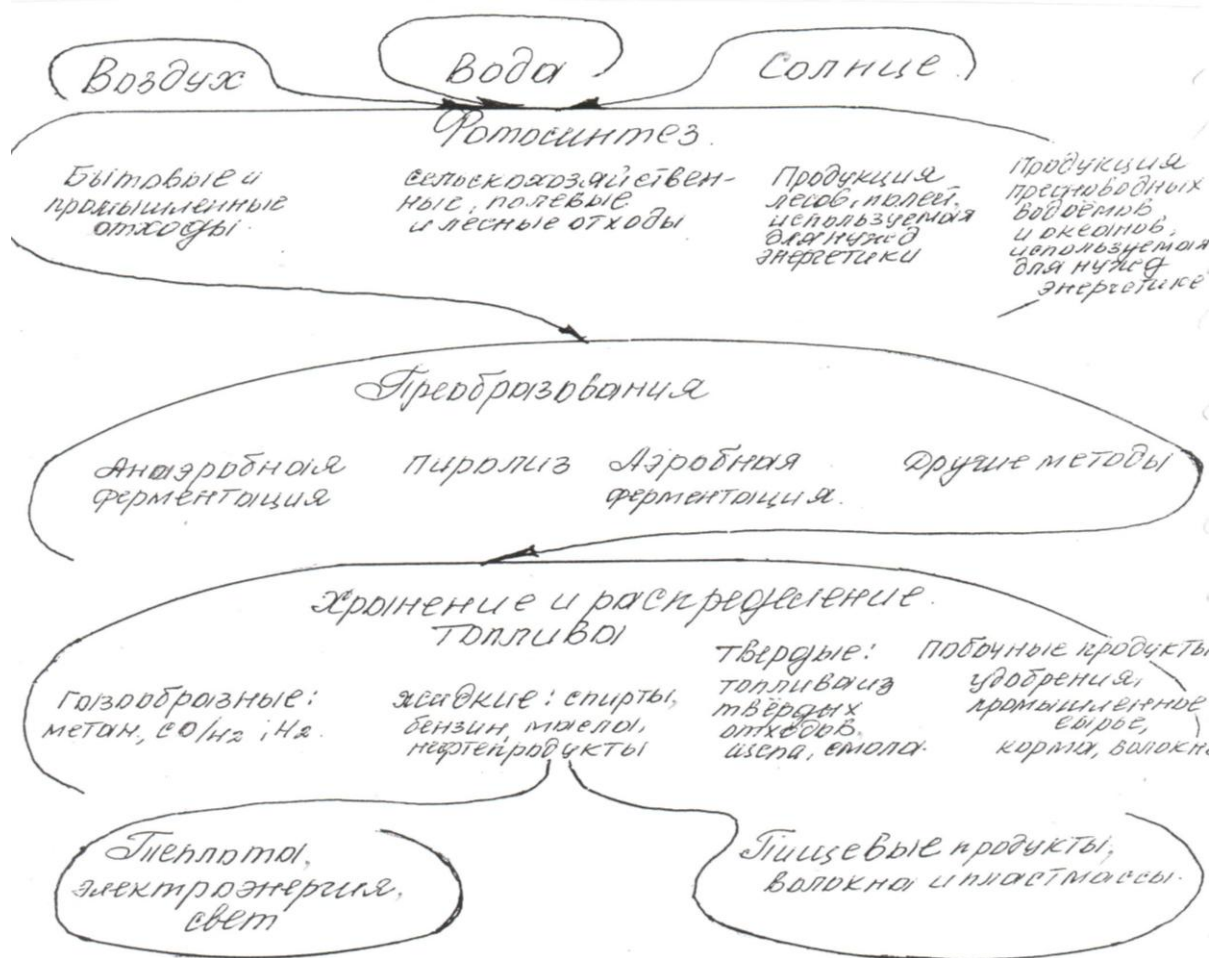


Рис.1 Схема биоэнергетики

Среди наиболее ценных видов энергоресурсов, образующихся, в результате обработки сточных вод и твёрдых бытовых отходов - биогаз. Выход и состав биогаза зависят от свойств сбраживаемого субстрата и могут колебаться в широких пределах, %  $\text{CH}_4$  от 65 до 80,  $\text{CO}_2$  от 15 до 55,  $\text{N}_2$  до 35,  $\text{O}_2$  до 4 и т.д. Энергетический потенциал биогаза 21-24 МДж/м<sup>3</sup>.

По некоторым оценкам, ежегодное мировое производство биогаза для практического применения составляет 150 млрд м<sup>3</sup> (ориентировочно 110 млн т.т.).

Биомасса, главным образом в форме древесного топлива, является основным источником энергии приблизительно для 2 млрд. человек. Для большинства жителей сельских районов «третьего мира» она представляет собой единственно доступный источник энергии. Биомасса, как источник энергии, играет важнейшую роль и в развитых странах. В целом биомасса даёт седьмую часть

мирового объёма топлива, а по количеству полученной энергии занимает наряду с природным газом третье место. Из биомассы получают в 4 раза больше энергии, чем даёт ядерная энергетика.

**Использование биомассы может проводиться в следующих направлениях: прямое сжигание; производство биогаза из сельскохозяйственных и бытовых отходов; производство этилового спирта для получения моторного топлива.**

Очень важное достоинство процесса переработки биомассы состоит в том, что в его отходах содержится значительно меньше болезнетворных микроорганизмов, чем в исходном материале.

### **1.1 Термохимическое превращение отходов в энергию**

Щепки, стружи, солома от зерновых растений, сахарного тростника и шелуха от зерна - это примеры растительных отходов, которые могут рассматриваться в качестве источника энергии. Животные отходы - навоз, помет, городские отходы и отходы некоторых промышленных производств, содержащие органику, также могут быть использованы для получения полезной энергии.

Существуют два основных способа получения энергии из биомассы, а именно - термохимическое превращение и биохимическое превращение.

Термохимическое превращение включает прямое сгорание, газификацию и термическое разложение (пиролиз). В качестве перерабатываемого сырья при термохимическом превращении чаще всего выступает твёрдая биомасса - древесина или отходы деревообработки, иногда солома, твёрдые городские отходы и промышленные отходы.

**Горением называется полное окисление биомассы, когда весь содержащийся в биомассе углерод превращается в  $\text{CO}_2$ , а весь водород - в  $\text{H}_2\text{O}$ . В большинстве случаев в качестве окислителя выступает атмосферный воздух. В зависимости от состава перерабатываемого сырья, его влажности, количества поступающего воздуха и теплоты, выделяемой в процессе горения, температура горения этих продуктов может быть достаточно высокой и превышать  $1000^\circ\text{C}$ . Вырабатываемая теплота может быть использована напрямую, или для получения пара на электростанции. Эффективность прямого сжигания биомассы зависит как от полноты химических превращений, так и от способа применения полученной физической теплоты, что играет более важную роль.**

Важным и достаточно большим по объёму источником биомассы являются городские отходы. По оценкам каждый житель современного города производит около 400-500 кг твёрдых отходов в год. Это означает, что город с населением в 1 млн. будет ежегодно производить 0,4-0,5 млн. т отходов. Средняя теплота сгорания твёрдых городских отходов составляет около 5-6 ГДж/т. Некоторые схемы сжигания древесных отходов приведены на рис.2.

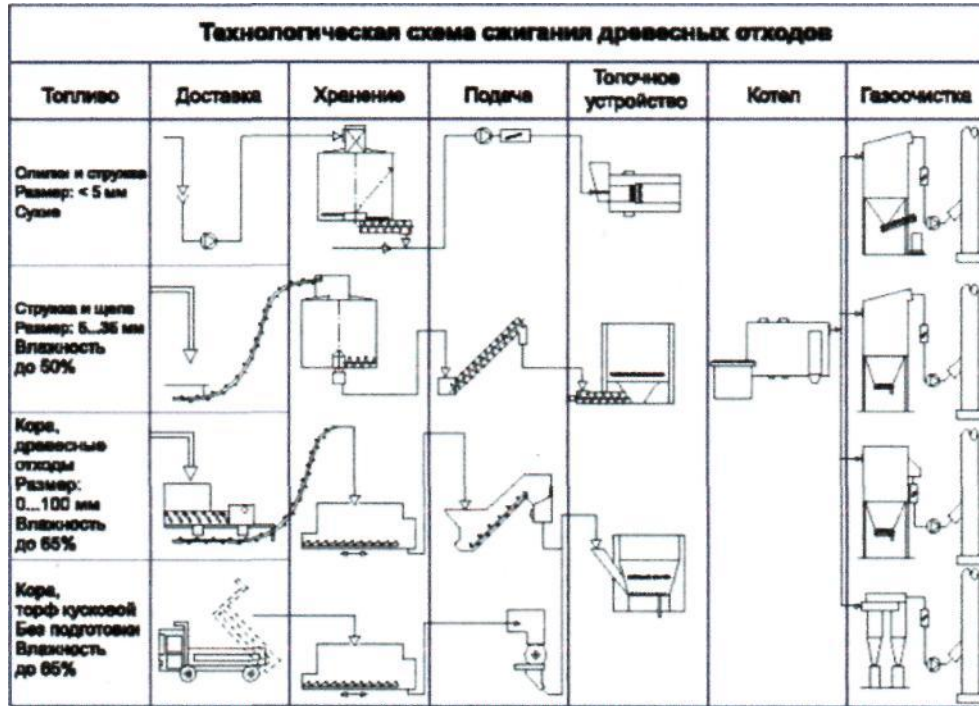


Рис.2 Схема сжигания древесных отходов

Однако на пути реализации этого проекта лежит множество препятствий. Кроме органической материи городские отходы содержат различные вещества, которые во время обработки будут выделяться в окружающую среду в виде опасных загрязнений (например, тяжелые металлы и некоторые химические соединения). Поэтому **необходимо разработать специальную технологию, чтобы сделать использование отходов экологически безопасным.**

Наряду с использованием различного рода отходов можно организовать энергетические плантации, на которых специально будут высаживаться быстрорастущие растения с целью их последующего использования в качестве сырья для получения энергии. Эти плантации будут возобновляемыми, т.е. по мере вырубки одних растений, на их место будут высаживаться новые. Такой подход обеспечит нулевой выброс  $\text{CO}_2$ , так как вновь



посаженные деревья будут поглощать такое же количество  $\text{CO}_2$ , какое будет выделяться при сжигании их предшественников.

Эффективность таких плантаций будет в первую очередь зависеть от скорости роста биомассы. Вторым важным критерием является объём биомассы, а следовательно, и количество энергии, которое может быть получено с 1 га земли. В табл.1 показана продуктивность некоторых из видов растений, которые могут рассматриваться в качестве кандидатов на высаживание на энергетических плантациях.

**Таблица 1. Продуктивность некоторых кандидатов на высадку на энергетических плантациях**

Растение	Продуктивность, т/га в год		Теплота сгорания, МДж/кг, (сухого вещества)	Количество выращиваемой энергии в год, ГДж/га в год
	Влажного вещества	Сухого вещества		
Эвкалипт	55	20	19	380
Платан	20	10	19	190
Тополь		13,5	19	256
Водяной гиацинт	300	36	19	680
Макро водоросли	250	54	21	1100
Микро водоросли	230	45	23	1100

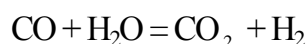
Для оценки экономической эффективности энергетических плантаций необходимо принять во внимание все расходы, на которые придется пойти, чтобы вырастить вышеупомянутую биомассу. Основными статьями здесь будут следующие: стоимость воды, удобрений, машин для высаживания и рубки деревьев, сбора урожая, транспортировка к электростанции, хранение, сушка и т.д. Поэтому

**чистый выход энергии здесь будет значительно ниже, чем данные, представленные в табл.1.**

### **1.2 Газификация биомассы для получения энергии**

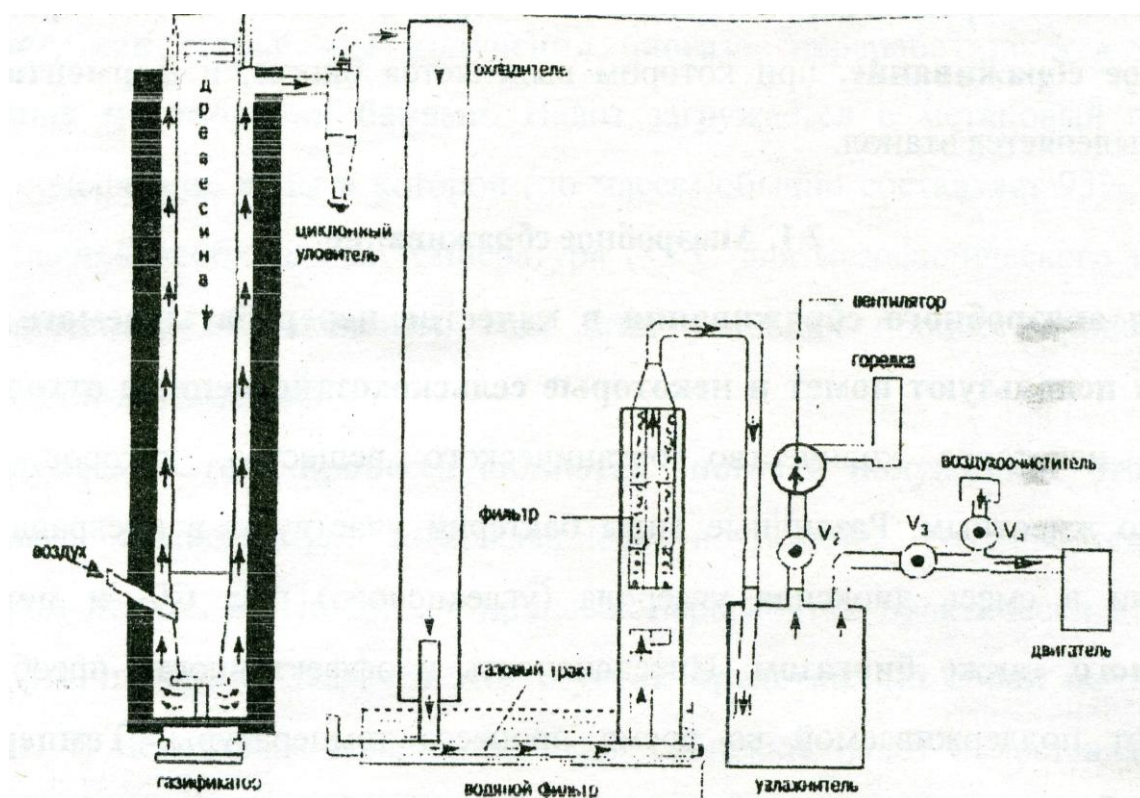
**Газификацией называется частичное окисление органической материи.** Если количество кислорода, поступающего в систему, недостаточно для полного окисления органической материи, то углерод, содержащийся в ней, преимущественно превращается в угарный газ, CO, и в некоторое количество CO<sub>2</sub>, в то время как водород выделяется в виде молекул газа H<sub>2</sub>. Таким образом, изначальное органическое вещество превращается в горючий газ, который представляет собой ценный продукт, так как может быть использован несколькими способами. Что касается его применения в качестве энергетического источника, то его можно сразу же использовать в виде газового топлива, в основном в дизельных двигателях.

**Эта газовая смесь, иногда называемая синтез-газ, также может быть переработана в жидкие углеводороды, аналогичные бензину, топливу для реактивных двигателей или дизельному топливу.** С этой целью применяется каталитический синтез Фишера-Тропша. В молекуле жидкого углеводорода отношение количества атомов водорода к атомам углерода составляет 2:1, в то время как в древесине это отношение зачастую ниже. Для увеличения концентрации водорода в синтезгазе применяется так называемая реакция сдвига:



В большинстве случаев процесс газификации происходит в специальных сосудах, называемых **газификаторами**. Твёрдая биомасса подается в газификатор либо периодически, либо постоянно; после её воспламенения в газификатор подается окислитель (поддув), количество которого равно примерно половине стехиометрического для полного окисления. В большинстве случаев для газификации биомассы в качестве окислителя используется воздух. Реакция, происходящая при участии воздуха экзотермическая, поэтому в некоторых случаях в поддув подается какое-то количество водяного пара для контроля над температурным режимом реакции. Так как в качестве поддува используется воздух, получаемый газ содержит наряду с CO и H<sub>2</sub> значительное количество азота и, согласно законам термодинамического равновесия, диоксид углерода CO<sub>2</sub> и водяной пар. **Теплота сгорания такого газа, таким образом, является довольно низкой.**

Состав и теплота сгорания получаемого газа зависит от перерабатываемого сырья, поддува и условий процесса газификации (температуры и давления). **Важной частью газифицирующей установки является система кондиционирования полученного газа, включающего его охлаждение и очистку.** Проблема заключается в том, что газ переносит определенное количество смол и твердых частиц, которые необходимо удалить, прежде чем он попадет в двигатель. **На рис.3 представлена одна из возможных схем газификатора с очистителем.** Крупные частицы, переносимые из газификатора выделяющемся газом, отделяются в циклонном уловителе. После охлаждения газ пропускается через воду и фильтруется. В цепь производства газа включается увлажнитель, который также играет роль газосборника. Неиспользованный газ или какая-либо его составная часть сжигается в горелке.



**Рис.3 Установка для газификации древесины с сухим охлаждением**

Пиролизом, или термическим разложением биомассы, называют процесс, проходящий при повышенных температурах без доступа кислорода или кислородосодержащих веществ. В течение этого процесса твердое органическое вещество претерпевает физические и химические превращения, в результате которых получается широкий спектр продуктов: твердый древесный уголь,

**жидкие смолы и некоторые горючие газы.** Много лет назад обработка древесины, главным образом с целью получения древесного угля и древесных смол, была в некоторых странах одним из важнейших ремесел. **Древесный уголь использовался как топливо, главным образом в каминах, как восстановитель в металлургии, и в качестве абсорбента в различных очистительных процессах; древесные смолы использовались для различных целей и как источник энергии.** Таким образом, пиролиз древесины использовался не только с целью получения энергии. Сегодня предпринимаются попытки при помощи пиролиза различных органических отходов, включая мусор, получать смолы, которые можно будет перерабатывать в жидкое моторное топливо. Осуществимость этого процесса зависит от развитости технологий и цен на топливо, получаемого из природного газа и нефти.

## **2. Биохимическое превращение отходов**

**Биохимическое превращение биомассы основано на деятельности микроорганизмов, которые используют биомассу для поддержания своей жизни, однако полностью её не окисляют. Существуют два основных типа биохимических процессов, полезных с энергетической точки зрения. Это анаэробное сбраживание, при котором выделяется биогаз, и ферментация, при которой выделяется этанол.**

### **2.1. Анаэробное сбраживание**

**Для анаэробного сбраживания в качестве перерабатываемого сырья в основном используют помет и некоторые сельскохозяйственные отходы. Помет содержит некоторое количество органического вещества, которое не было поглощено животным. Различные виды бактерий участвуют в превращении этой субстанции в смесь диоксида углерода (углекислого) газа  $CO_2$  и метана  $CH_4$ , называемого также биогазом. Интенсивность и эффективность преобразования зависит от поддерживаемой во время процесса температуры. Температурные условия обычно делят на два вида: мезофильные (температура около  $35^\circ C$ ) и термофильные (около  $55^\circ C$ ).**

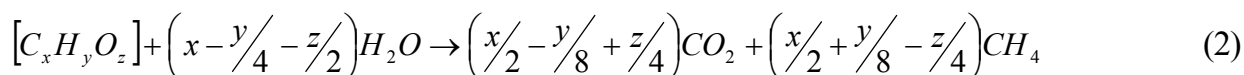
В процессе преобразования можно выделить три основных стадии, в которых участвуют разные штампы бактерий:

- разложение нерастворимой органической материи (целлюлозы, жиров, полисахаридов) с производством углеводов и жирных кислот;

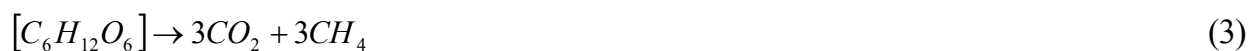
- действие бактерий, вырабатывающих кислоты, в основном уксусную и пропионовую кислоту;

- поглощение этих продуктов бактериями, вырабатывающими метан, с получением в конечном счёте биогаза, смеси, состоящей из 60-70%  $CH_4$  и 30-40%  $CO_2$  с некоторым количеством водорода, сероводорода и т.д.

Общая реакция анаэробного сбраживания может быть записана следующим образом:



Например, сбраживание глюкозы согласно общей реакции будет выглядеть так:



Теплота сгорания глюкозы составляет 2803,8 кДж/моль, тогда 3 моль метана - 2672,3 кДж. Реакция носит некоторый экзотермический характер, поэтому часть изначально содержащейся энергии теряется в виде теплоты. Теоретическая эффективность этого процесса при полной переработке сырья составляет около 95%. Эффективность переработки целлюлозы несколько ниже - около 90%.

**Помет, как сырье для получения биогаза, перерабатывается в сосудах, называемых метановыми баками.** Навоз загружается в метановый бак в виде кашицы, содержание воды в которой (по массе) обычно составляет 95%. В танкере поддерживается необходимая температура (35°C для мезофилического и 55°C для термофилического сбраживания). При этих условиях процесс продолжается в течение одной-двух недель.

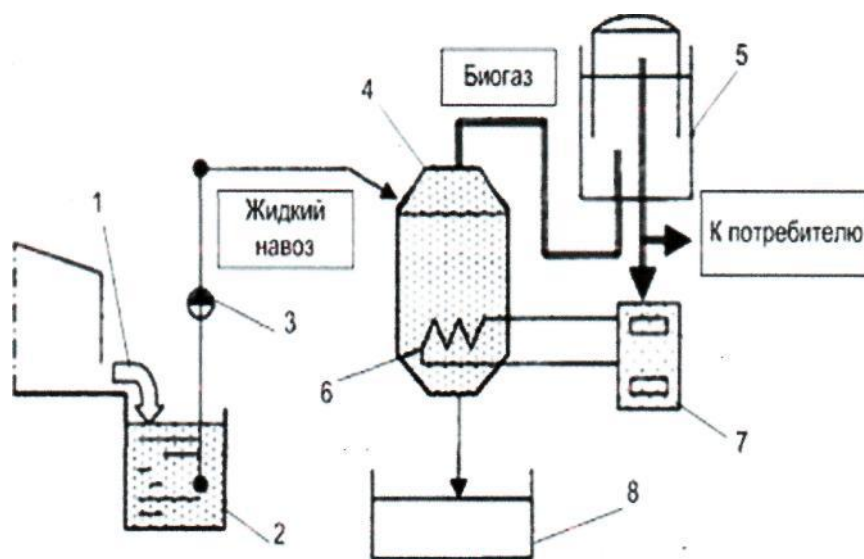
**Продуктами этого процесса являются биогаз и полужидкие отбросы.** Все минеральные компоненты, содержащиеся в помете, сохраняются в этом полужидком осадке. Более того, в процессе переработки практически все вредные бактерии уничтожаются, так что этот сгусток представляет собой ценное чистое удобрение. В некоторых странах фермеры собирают навоз и доставляют его на перерабатывающий завод. Остатки затем возвращаются ему и разрабатываются на полях.

Получаемый биогаз имеет теплоту сгорания около 25 МДж/м<sup>3</sup> и может использоваться в качестве топлива для топок и паровых котлов, а также как заместитель моторного топлива в двигателях.

Теплотехнические характеристики биогаза и обобщенная схема биогазовой установки приведены в таблице 2 и на рисунке 4.

**Таблица 2. Теплотехнические характеристики биогаза**

Показатель	CH <sub>4</sub>	Компоненты CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> S	Смесь 60% СИЦ+ 40%CO <sub>2</sub>
Объёмная доля, %	55-70	2744	1	3	100
Объёмная теплота сгорания, МДж/м <sup>3</sup> (низшая)	353	10,8	22,8		21,5
Температура воспламенения, °C	650- 750		585		650-750
Плотность:					
нормальная, г/л	0,72	1,98	0,09	1,54	1,20
критическая, г/л	102	408	31	349	320



**Рис.4 Обобщенная схема биогазовой установки**

1 – ферма; 2 – навозоприемник; 3 – насос; 4 метантенк; 5 – газгольдер; 6 – теплообменник; 7 – котел; 8 – хранилище удобрения

## 2.2. Ферментация отходов

Для производства этанола используются сахаросодержащие вещества. Для ферментации исходного сырья используются специальные штаммы дрожжей. Эти микроорганизмы живут в слегка кислой водной среде с рН от 4 до 5.

Общая реакция получения этанола из сахарозы имеет следующий вид:



Когда в процессе ферментации концентрация этанола в растворе по объему достигает 10-11%, микроорганизмы умирают. Поэтому для получения высококонцентрированного этанола применяется процесс дистилляции, который теоретически может повысить концентрацию до 96% по объему, (водный раствор этанола представляет собой азеотропный раствор с низкой температурой кипения, соответствующей 96% концентрации этанола). Для получения полностью обезвоженного этанола применяются другие методы, такие как дистилляция с некоторыми растворителями.

Лучшим примером производства биоэтанола для энергетических целей является бразильская программа, направленная на замену нефтяного двигательного топлива этанолом. Сахар в Бразилии производится из сока сахарного тростника, в то время как остающаяся патока используется для ферментации и производства этанола. После дистилляции 96%-ый этанол может применяться в слегка модифицированных двигателях с искровым зажиганием. Также в Бразилии широкое распространение получило использование полностью обезвоженного этанола в смеси с бензином. Эта смесь, содержащая 20% по объему чистого этанола, получило название газохол, или бензоспирт и широко используется в Бразилии в качестве топлива для обычных двигателей. Несмотря на то, что теплота сгорания этанола на 40% ниже, чем у бензина, потребление бензоспирта двигателем такое же, как и у двигателя, работающего на обычном бензине. Это происходит благодаря тому, что содержащийся в этаноле кислород улучшает процесс горения, делая его более полным и снижая количество вредных веществ, выбрасываемых в атмосферу.

Биоэтанол может быть получен в процессе ферментации из любого сахаросодержащего сырья. Выбор сырья зависит от климатических условий конкретной страны и урожая, который может быть собран с 1 га земли. В США

для производства биоэтанола используют кукурузу, в то время как в Европе некоторая часть биоэтанола вырабатывается из сахарной свеклы. Многообещающим кандидатом на использование в качестве сырья для производства биоэтанола является сахарное сорго, которое можно выращивать и в тропических регионах с умеренным климатом, и годовой урожай которого равен урожаю сахарного тростника (7-12 т/га).

Объемы производства биоэтанола и проникновение его на рынок могли бы быть существенно увеличены, если бы наряду с использованием сахаросодержащего сырья, стала бы использоваться и лигноцеллюлозная биомасса (древесные отходы). Однако в данный момент эта технология находится на стадии разработки.

### **2.3 В Технология получения биогаза**

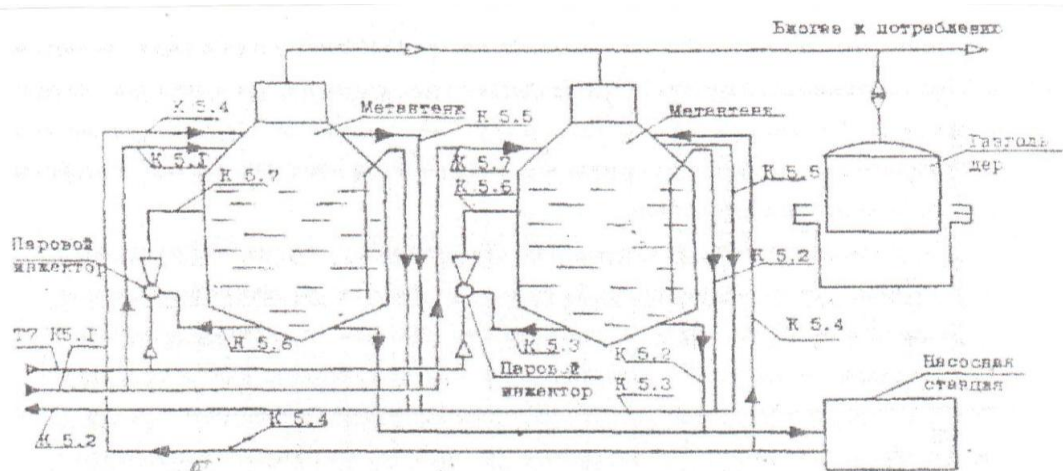
**Выделение биогаза происходит при анаэробном сбраживании осадка сточных вод и регулируется в рамках обработки осадка. Анаэробное сбраживание** - сложный микробиологический процесс, в ходе которого органическое вещество без доступа воздуха трансформируется в газовый метан ( $\text{CH}_4$ ) и двуокись углерода ( $\text{CO}_2$ ). Его можно разделить на три основные стадии: гидролиз,, образование кислот (кислотогенная стадия) и образование метана (метаногенная стадия). Продукты метаболизма на каждой стадии являются субстратом для последующей.

**В промышленных условиях для сбраживания осадка используются метантенки, представляющие собой цилиндрические железобетонные или металлические резервуары с коническим дном и газопроницаемым перекрытием, в верхней части которого имеется колпак для сбора газа. Последовательность технологических операций при обработке осадка с получением биогаза на городских очистных сооружениях канализации показаны на рис.5.** Смесь активного ила и сырого осадка через дозирующую камеру поступает в верхнюю зону метантенка и выгружается из конусной части дна по трубопроводу на иловые площадки для обезвоживания. Обычно в метантенки подается смесь сырого осадка из первичных отстойников и уплотненного избыточного активного ила из вторичных. **Рекомендуется использование и других сбраживаемых органических веществ после их дробления (бытового мусора, промышленных отходов органического происхождения и т.д.).** Получающийся в



результате брожения газ собирается в газовом колпаке, откуда отводится по специальному газопроводу для дальнейшего использования.

Обычно биогаз выходит из метантенков неравномерно и с малым давлением (не более 5 кПа). Для регулирования производства и потребления газа, различий в его качестве, а также отклонений от расчётной производительности газовых установок (временные нарушения, аварии и т.п.) используются различные типы газгольдеров. Аккумулирующая способность их определяется объёмом производимого газа и характером его потребления.



**Рис.5 Технологическая схема получения биогаза и очистных сооружений канализации**

К 5.1 -трубопровод загрузки сточных вод; К 5.2 -трубопровод выгрузки сброженного осадка; К 5.3 -всасывающий трубопровод перемешивания осадков; К 5.4 - трубопровод канализации; К 5.5 -переливной трубопровод выгрузки сброженных осадков; К 5.6 - всасывающий трубопровод инжекторов; К 5.7 - напорный трубопровод инжекторов; Т7 -трубопровод пара.

**Выход биогаза и его энергетический потенциал могут колебаться в широких пределах, поскольку они в большей степени зависят от вида, состава и состояния исходного сырья, а также характера брожения и управления им.** Состав исходного сырья определяется как первоначальным химическим составом отходов, так и последующими изменениями его под влиянием технологии сбора и продолжительности хранения, попадания инородных материалов в отходы, а также потерями азота при хранении.

### **3. Использование энергии из отходов**

В рамках проходившей с 28 по 30 мая выставки «Городское хозяйство 2002» состоялся конгресс «Новые технологии в жилищно-коммунальном хозяйстве». Особое внимание было уделено докладам, посвященным использованию альтернативных источников тепловой и электрической энергии.

**Растительная биомасса, в том числе древесное сырьё, является единственным видом возобновляемого ресурса.** При разумном использовании этого сырья оно может обеспечить потребности современной цивилизации как в промышленной продукции (бумага, стройматериалы, мебель), так и в энергетическом топливе. **Ежегодная потребность мировой энергетики составляет 10 млрд. тонн условного топлива. Прирост растительной биомассы может полностью удовлетворить потребности человечества, поскольку ежегодно на поверхности Земли выращивается порядка 60 млрд. м<sup>3</sup>, что эквивалентно 30 млрд. тонн угля.**

Более 20% мировых запасов леса находится на территории России. Научно обоснованная годовая лесосека составляет, по различным оценкам, от 500 до 600 млн. кубометров. Россия обладает 20% мировых лесных запасов, но в лесу ежегодно остается до 500 млн. кубометров перезрелой древесины, которая захламляет леса, увеличивает пожарную опасность. На различных стадиях переработки древесины появляются древесные отходы, которые составляют около 40% от исходного сырья. **В России имеется достаточная сырьевая база для использования древесины в качестве энергетического топлива.**

**Древесное топливо относится к экологически чистым видам топлива, минимально загрязняющим окружающую среду.** В нем практически отсутствует сера и содержание азота не превышает 1% от массы, то есть при сжигании древесины образуется очень мало вредных окислов азота и серы.

**Существует два способа использования древесины в качестве топлива - одностадийное прямое сжигание в слоевых топках на колосниковой решетке и двухстадийное сжигание, включающее предварительное превращение твердой древесины в газовое топливо с последующим сжиганием газа в различных устройствах (камерных топках, паровых и водогрейных котлах, в химических печах, в двигателях внутреннего сгорания, в бытовых печах и газовых плитах).** Область

использования газового топлива значительно шире, технологичнее, легче автоматизируется, меньше загрязняет окружающую среду.

**В зависимости от способа подвода теплоты различают два метода газификации: автотермической и аллотермической. При осуществлении автотермического процесса газификации** теплота, необходимая для осуществления реакций, получается в процессе сжигания части исходного топлива внутри аппарата - газогенератора (газификатора). В настоящее время генераторы автотермического метода газификации наиболее конструктивно разработаны и получили широкое распространение.

Газовое топливо, получаемое в газогенераторах на воздушном дутье, может быть использовано в стационарных топочных устройствах, газовых турбинах и двигателях внутреннего сгорания вместо жидкого топлива и природного газа. В аллотермических газогенераторах необходимая для процесса нагревания исходно топлива и процесса газификации теплота подается внутрь газогенератора или через поверхность стенок, или путем подачи нагретого до 800-10000 °С газового теплоносителя.

**Аллотермические газогенераторы** в настоящее время находится в стадии экспериментальных исследований и опытной проверки. Газовое топливо, получаемое с их помощью, может быть использовано для бытовых нужд, для заправки газовых баллонов и в качестве топлива для транспортных средств, при баллонной системе хранения.

**Интерес к использованию биогаза, как одного из перспективных альтернативных источников энергии, в последние годы не только не убывает, но и продолжает возрастать.** К настоящему времени собрано большое количество научного и производственного материала по утилизации биогаза всех трех видов: газа метантенков, биогаза сельскохозяйственных биогазовых установок и биогаза с полигонов и свалок твердых бытовых отходов для различных целей.

Как показывает практика, вопросы непосредственного использования биогаза тесно связаны с источниками их получения. А источники, как правило, находятся в местах накопления большого количества органических отходов. Поэтому способы утилизации биогаза определяются в первую очередь потребностями в энергии самих установок или комплексов по переработке отходов.

Направления использования биогаза в стране и мире обширны - от непосредственного сжигания в тепловых установках различной производительности до

совместной выработки тепловой и электрической энергии или подпитки биогазом сетей природного газа.

Например, в рамках региональной программы «Экология Нижней Волги» выполнена научно-исследовательская работа по разработке систем утилизации энергии биогаза, полученного из органических отходов сельского хозяйства, а также реконструкция системы энергоснабжения на коммунальных очистных сооружениях. Разработано несколько безотходных схем утилизации энергии биогаза.

Продолжаются работы по исследованию процесса образования, разработке решений по утилизации биогаза на полигонах твердых бытовых отходов. Как и в других случаях, преобладающую роль при разработке проектов играют экологические аспекты.

**Поскольку биогаз рассматривается как побочный продукт, устройства для его сжигания часто недостаточно проработаны в проектах.** Определение стандарта или технических условий на использование биогаза позволило бы упростить решение вопросов по его утилизации. К сожалению, существующие ныне стандарты, строительные нормы и правила распространяются только на природный и сжиженный углеводородный газ. **Одно из возможных направлений использования биогаза - подача его в сеть природного газа. Собственные энергетические затраты (в тепловой и электрической энергии) могут быть невелики и полностью покрываться при комбинированной выработке тепла и электроэнергии в модульных электростанциях.**

Следует отметить, что смесь биогаза и природного газа в соотношении 1:10 является по своим характеристикам полностью взаимозаменяемой с природным газом.

### 3.1 Использование отходов сельскохозяйственного производства

**Обострение экологических проблем, истощение запасов невозобновляемых энергоресурсов, рост цен на них, обусловили интерес к разработке и использованию технологии биоконверсии органических отходов для получения энергии.**

Приведенные данные указывают на возможность использования биогаза в качестве топлива. Один кубический метр биогаза эквивалентен 0,7 м<sup>3</sup> природного газа, или 0,8 л мазута.

Выход биогаза зависит как от исходного сырья (табл.3) так и от технологии переработки.

**Таблица 3. Влияние вида исходного сырья на выход биогаза**

Исходное сырье	Выход биогаза из 1 кг сухого вещества, л/кг.	Содержание метана в газе, %
Трава	630	70
Древесная листва	220	59
Сосновая игла	370	69
Ботва картофельная	420	60
Стебли кукурузы	420	53
Мякина	615	62
Солома пшеничная	340	58
Солома льняная	360	59
Шелуха подсолнечника	300	60
Навоз КРС	200...300	60
Конский навоз с соломой	250	56-60
Домашние отходы и мусор	600	50
Фекальные осадки	250...310	60
Твердый осадок сточных вод	570	70

Метановое сбраживание навоза обеспечивает его дезодорацию, дегельминтизацию, уничтожение способности семян сорных растений к всхожести, перевод удобрительных веществ в легкоусвояемую растениями минеральную форму. При этом питательные (для растений) вещества - азот, фосфор и калий - практически не теряются.

Из данных **табл.4** о химическом составе сброженного навоза, полученных на биогазовой установке ВИЭСХ, следует, что при анаэробной обработке навоза фосфор и калий практически полностью сохраняются в сброженной массе. Потери азота, которые при других методах обработки навоза составляют до 30%, в процессе метаногенеза не превышают 5%. При этом значительная часть азота, присутствующего в свежем навозе в

форме органических соединений, в сброженном содержится в аммиачной форме, которая быстро усваивается растениями.

**Таблица 4. Химический состав навоза в зависимости от длительности сбраживания**  
(% на сырое вещество)

Продолжительность сбраживания, сутки	Азот общий, N	Азот аммонийный, N-NH <sub>4</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	C:N <sub>общ</sub>
0 (контроль)	0,32	0,13	0,11	0,24	12,2
5	0,31	0,13	0,11	0,24	11,9
10	0,31	0,16	0,11	0,24	10,5
15	0,31	0,16	0,11	0,24	9,6

**На сегодняшний день во многих странах эксплуатируются биоэнергетические установки (БЭУ), позволяющие значительно экономить другие виды топлива, а в некоторых случаях получать полную энергетическую автономию животноводческого комплекса.** В Западной Европе не менее половины всех птицеферм отапливаются биогазом, а в Китае до 60% автобусного парка в качестве топлива использует биогаз.

**В России в настоящее время работают несколько таких комплексов, среди них: в Подмосковье - птицефабрика «Новомосковская», животноводческая ферма «Полярково», агрофирмы «Искра» Солнечногорского района Московской области, Сергачская птицефабрика в Нижегородской области.**

На Сумском машиностроительном НПО им. М.В.Фрунзе в 1989 году создана установка «Биогаз-301С». Установка предназначена для обезвреживания и утилизации отходов свиноводческой фермы с поголовьем 3000 свиней, является составной частью фермы и представляет собой комплекс технологического оборудования для переработки отходов фермы методом анаэробной ферментации с получением органических удобрений и биогаза.

В Российской отраслевой программе «Энергосбережение в АПК» на 2001-2006 годы, в разных областях, запланировано строительство 126 биогазовых установок.

### 3.2 Основные направления использования биогаза

Децентрализованное производство биогаза представляет целесообразность потребления его непосредственно на месте получения, способствуя тем самым самокупаемости и компенсации расходов на электроэнергию и топливо из других источников. Область применения достаточно обширна. Сжигаемый непосредственно в котлоагрегатах биогаз используется для обогрева метантенков, отопления и горячего водоснабжения зданий и сооружений, отопления. Может применяться в холодильных установках кондиционирования воздуха, для сушки осадка сточных вод, а также в качестве газообразного топлива для легковых и грузовых автомобилей и тракторов, стационарных двигателей внутреннего сгорания.

Широкие возможности использования биогаза обусловлены достаточно высоким содержанием в нем метана, а следовательно, и высокой теплотой сгорания.

**Из 1 м<sup>3</sup> биогаза можно получить 1,6-2,1 кВт электроэнергии и 3,2-3,8 кВт тепловой энергии при использовании его в установках совместной выработки электроэнергии и тепловой энергии, 5 и 6 кВт тепловой энергии - соответственно в отопительно-производственных котельных и в генераторе парогазовой смеси.**

Большая часть очистных сооружений покрывает потребление энергии путем получения электроэнергии со стороны и генерацией требуемой теплоты из биогаза или другого топлива в собственных котельных. Как правило, при этом из-за больших колебаний тепловых нагрузок используется только 50% получаемого биогаза. Избыток его бесполезно сжигается на свече, загрязняя окружающую среду метаносодержащими выбросами и токсичными веществами.

**Всего в мире в настоящее время используется или разрабатывается около 60-ти разновидностей биогазовых технологий.**

Научные исследования, эксперименты и производственный опыт свидетельствуют об экономически целесообразном применении биогаза в газовых двигателях с электрогенератором: сжигание 1 м<sup>3</sup> позволяет выработать 1,6 - 2,1 кВт ч электроэнергии. **Эффективность такого способа утилизации биогаза повышается за счёт рекуперации теплоты выхлопных газов и воды для охлаждения двигателей.**

Крупные зарубежные фирмы «Дойц» Германия, «Фиат» Италия и др. выпускают энергетические установки с двигателями внутреннего сгорания (в том числе газовыми) мощностью от 25 до 110 кВт. Их общий КПД за счет внешней утилизации отходящей

теплоты достигает 78 - 85%. Фирмы «Инженеринг контрол» (США), «Миррлисс» (Англия) и отечественная Траесмаш им. Малышева производят энергетические установки с высокофорсированными двигателями большой мощности - от 1100 до 3700 кВт, охлаждаемыми с помощью испарительных высокотемпературных систем.

Несколько таких энергетических установок представляют собой в действительности теплоэлектростанцию. **Очистные сооружения канализации особенно благоприятны для использования теплоэлектростанций, так как высокая степень тепловой и электрической нагрузки в энергопотребляющей структуре гарантирует высокий КПД утилизации первичной энергии.** Зарубежный опыт подтверждает возможность 100%-го покрытия потребности в энергоресурсах за счет биогаза круглый год. Ряд очистных сооружений в Австрии, Германии, Швеции и США работают практически автономно, независимо от внешних источников энергии.

Считается, что нижние экономические пределы применения теплоэлектростанций на очистных сооружениях канализации приходятся на 30 - 50 тыс. жителей, что соответствует мощности двигателя 50 - 80 кВт. **Высокая приспособляемость мощности к меняющемуся потреблению электроэнергии и теплоты достигается путем установки групп двигателей. Газовые двигатели, разработанные на основе стационарных или судовых, благодаря жесткости конструкции и сравнительно низкой нагрузке при работе на газе обеспечивают большую надежность в работе и длительный срок службы.**

В Германии и других странах разработана технология применения биогаза в производстве строительных материалов - кирпича, извести, цемента, гипса, газе- и пенобетона, а также бумаги и резины.

В Дартфорде (Великобритания) до 50% биогаза находит применение на ближайшем цементном заводе и направляется местным промышленным предприятиям. До настоящего времени излишки биогаза сжигались в факелах. Сейчас они идут на отопление 2 тыс. домов ежегодно. Для этого установлены два двигателя по 500 кВт. Полезное использование биогаза позволяет снизить загрязнение окружающей среды.

**Рассматривается возможность подачи биогаза потребителям через сети природного газа, но при этом необходима его предварительная очистка и обогащение.**



При подаче в сеть природного газа к биогазу предъявляются следующие требования: снижение содержания азота (в том числе путем обогащения пропаном или бутаном), серы (до 120 мг/м<sup>3</sup>), углекислого газа (до 1%), и хлора (до 30 мг/м<sup>3</sup>).

1) Представляет интерес еще один вариант - применение биогаза в качестве моторного топлива для автомобилей, оборудованных газотопливными системами. Обязательное условие эксплуатации автомобилей на биогазе - очистка его от вредных примесей - сероводорода, водяных паров, углекислого газа.

2) Одно из важных направлений, обеспечивающий значительное уменьшение расхода органического топлива на нужды теплоснабжения, а также снижение загрязняющей окружающей среды, - применение тепловых насосов, предназначенных для преобразования низко потенциальной тепловой энергии в теплоту более высокого потенциала, пригодную для теплоснабжения.

На городских очистных сооружениях канализации Российской Федерации вырабатывается около 310 млн. м<sup>3</sup> биогаза в год, что соответствует 220 тыс.т у. т.

В промышленном виде газ используется в котельных недостаточно широко. В подавляющем большинстве случаев биогаз выбрасывается в атмосферу, пополняя ряд загрязнителей окружающей среды.

Большие резервы неиспользованного биогаза имеются на сооружениях очистки сточных вод фабрик лёгкой промышленности, пищевых комбинатов.

Таким образом, биогаз как источник энергии в настоящее время в возможном объёме не производится, полно и эффективно не используется. Кроме того, замена твёрдого и жидкого топлива биогазом обеспечивает не только экономическую выгоду, но и значительное снижение ущерба от загрязнения окружающей среды.

При рационально организованной технологии утилизации собственных энергоресурсов {биогаза и теплоты) расход добываемого органического топлива на теплоснабжение и технологические нужды может быть значительно сокращен, а в некоторых случаях и исключен полностью.

#### 4. Сжигание биогаза метантенков в котельных установках

При анаэробной ферментации осадков сточных вод в метантенках очистных сооружений канализации 1 м<sup>3</sup> осадка выделяет 10-12 м<sup>3</sup> биогаза с теплотой сгорания 21 - 23 мДж/мм<sup>3</sup> (5000 -5500 ккал/мм<sup>3</sup>). В СССР было построено более 700

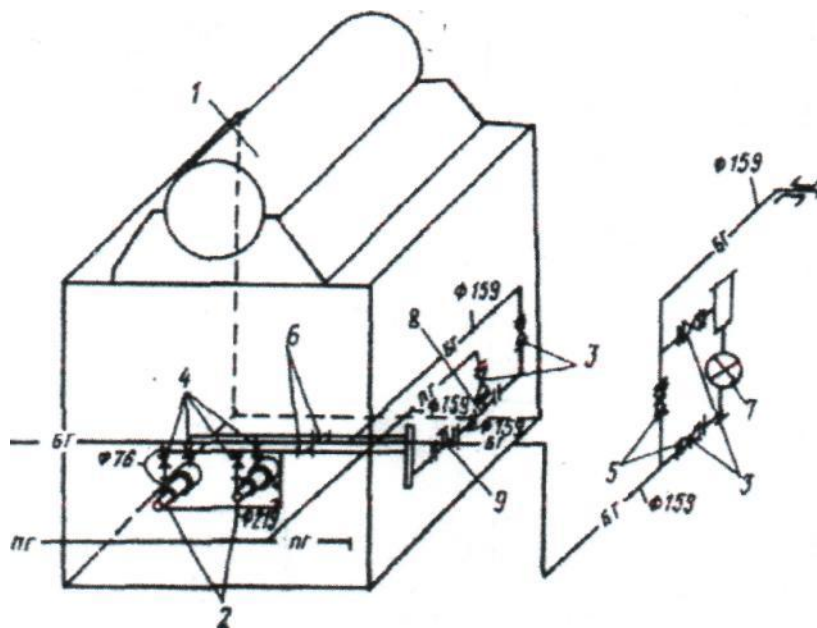
метантенков, газ же используется всего в 20-30 из них - в Москве, Ярославле, Курске, Целинограде и ряде других городов

**Целесообразность использования биогаза не подлежит сомнению, так как это позволяет экономить все более уменьшающиеся запасы органического топлива и, кроме того, не загрязнять окружающую среду.**

Для сжигания биогаза применяются серийно выпускаемые газогорелочные устройства после незначительной их модернизации - рассверливания выпускных отверстий.

**Применение газогорелочных устройств позволяет без замены горелок и их переоборудования сжигать в котельных агрегатах и био-, природный газ.** Задача состоит в том, чтобы топка эффективно работала на том и другом виде газа, а так же на их смеси при низком давлении. Это обеспечивается (рис.6) тем, что газы перед котлом проходят через смеситель и поступают в коллектор, а затем - в горелку.

Если котел работает на природном газе - открыта одна задвижка, если на биогазе - то две. Подача необходимого количества газа регулируется заслонками.



**Рис.6 Система газоснабжения котла ДКВР-2,5/13, работающего на био- и природном газе**

1- котел; 2 – универсальные газогорелочные устройства; 3, 5 – запорная газовая арматура на газопроводах; 4 – запорная арматура перед горелками; 6 – регулирующие заслонки; 7 – ротационный счетчик; 8 – смеситель; 9 – предохранительный клапан – отсекающий; БГ – газопровод биогаза; ПГ – газопровод природного газа.

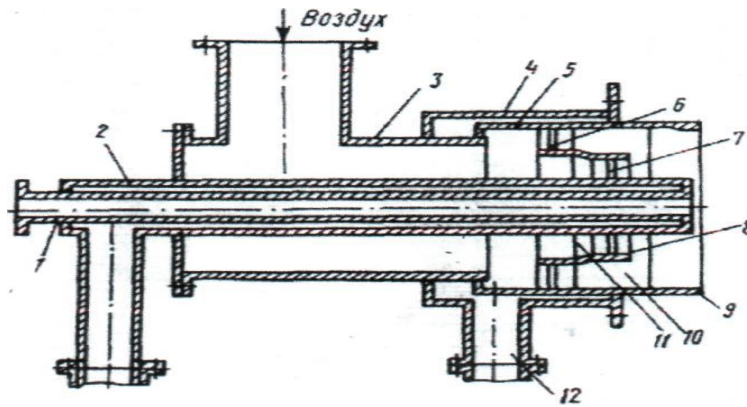
Технические характеристики газогорелочных устройств приведены в таблице 5.

**Таблица 5. Технические характеристики газогорелочных устройств.**

Наименование показателей	Величина
Мощность горелок в типоряде, мВт	0,58-3,25
Расход газа, нм <sup>3</sup> /ч (био/природный)	100/65,200/130,300/195,400/260,500/320
Давление газа номинальное, кПа (био/природный)	1/2
Давление воздуха, кПа	1,5/1,5
Коэффициент регулирования:	
рабочего	3/4
предельного, не более	3,5/4,5
Коэффициент расхода воздуха	1Д-05
Средняя наработка на отказ, ч	18000
Масса, кг/мВт	31,15-14,16

Головной образец типоряда сдан государственной комиссии, остальные прошли предварительные приемочные испытания.

**Принципиальная конструктивная схема горелок представлена на рис. 7.**



**Рис.7 Универсальная горелка для сжигания био- и природного газа**

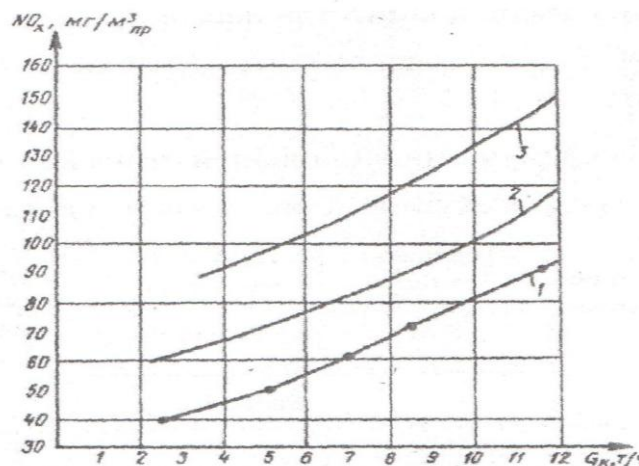
1- 4 – трубы, образующие каналы; 5-7 – поперечные перегородки с калиброванными отверстиями; 8 – конус; 9 – труба с насадкой; 10, 11 – завихрители; 12,13 – патрубки подачи биогаза.

**Использование биогаза метантенков в котельных агрегатах с универсальными горелками снижает выход окислов азота.**

Если при сжигании природного газа в топках котлов со старыми горелками выход окислов азота составляет 150 - 320 мг/м<sup>3</sup>, то с новыми горелками в этих же топках сжигается до 90/145, а при сжигании биогаза - до 40-80 мг/м<sup>3</sup>.

**Выброс окислов азота снижается, так как концентрация кислорода в зоне горения снижена.** Кроме того, конструкция горелки «растягивает» процесс горения, создавая таким образом ступенчатое сжигание, что также уменьшает выброс окислов азота. Качественное смешение биогаза, имеющего давление - 130 мм вод. ст., с воздухом, подаваемым на горелку вентилятором, обеспечивается специальной конструкции завихрителя.

**Объем выхода окислов азота (рис. 8) зависит также от форсировки топки и вида газа.**



### **Рис.8 Выход окисла азота при форсировке котла для разных видов топлива**

1 – биогаз; 2 – смесь биогаза (50%) и природного газа; 3 – природный газ

Основными являются прямые технико-экономические результаты использования новых технологий, поддающиеся прямой (или косвенной) денежной оценке. К ним относятся дополнительный объем услуг, снижение трудоёмкости работ, снижение материалоемкости, капитала и фондоёмкости работ, экономия топлива, энергии и т.д.

Сопутствующие экономические результаты отражают улучшение социальных и экологических условий.

## **5. Биогаз и когенерационные установки**

### **5.1 Биогаз в качестве топлива для когенерационных установок**

**Когенерационные установки представляют собой оборудование для комбинированного производства теплоты и электроэнергии. В установках малой мощности применяются преимущественно поршневые двигатели внутреннего сгорания, приспособленные для сжигания газового топлива. Главным топливом бывает природный газ, но все чаще применяются и альтернативные виды топлива, прежде всего различные виды биогаза. Биогаз можно получать с помощью биогазовых станций, сооруженных около водоочистительных станций, свалок коммунальных отходов или сельскохозяйственных организаций, специализирующихся в животноводческом производстве.**

Экономические преимущества при применении когенерационных установок на биогазовых станциях.

**Наряду с производством теплоты при сжигании биогаза, например, в котлах, когенерация предлагает и возможность производства электрической энергии, которая может быть использована для собственных нужд объекта или может продаваться в общую распределительную сеть. Производство электроэнергии для собственных нужд так приходится значительно дешевле по сравнению с покупкой её из сети, в случае её продажи можно воспользоваться выгодными тарифами для электроэнергии, произведенной из возобновляемых источников энергии. Поскольку биогаз является сопроводительным продуктом при переработке органических отходов, затраты по эксплуатации установки будут связаны только с отчислениями на оборудование и на сервисное обслуживание. Доходы будут составлять как сэкономленные средства за тепло и электроэнергию, так и средства за продажу электричества в сеть.**

**Получение биогаза, возможное в установках самых разных масштабов, особенно эффективно на агропромышленных комплексах, где существует возможность полного экологического цикла.** Биогаз используют для освещения, отопления, приготовления пищи, для приведения в действие механизмов, транспорта, электрогенераторов.

Подсчитано, что годовая потребность в биогазе для обогрева жилого дома составляет около  $45 \text{ м}^3$  на  $1 \text{ м}^2$  жилой площади, суточное потребление при подогреве воды для 100 голов крупного рогатого скота -  $5-6 \text{ м}^3$ . Потребление биогаза при сушке сена (1 т) влажностью 40% равно  $100 \text{ м}^3$ , 1 т зерна -  $15 \text{ м}^3$ , для получения  $1 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$  электроэнергии -  $0,7-0,8 \text{ м}^3$ .

В нетрадиционной энергетике особое место занимает переработка биомассы (органических сельскохозяйственных и бытовых отходов) метановым брожением с получением биогаза, содержащего около 70% метана, и обеззараженных органических удобрений. Чрезвычайно важна кукурузы и других зерновых культур. Использование спирта в качестве топлива получило поддержку и в некоторых европейских странах, в частности, во Франции и Швеции.

## **5.2 Требования к свойствам биогаза**

**Свойства биогаза являются одним из главных параметров, которые влияют на пригодность его использования в качестве топлива для двигателя когенерационной установки.**

**При его оценке следует знать следующие свойства:**

- **Содержание метана  $\text{CH}_4$**  (нормальное содержание 55-65%. Минимальной считается 50-процентная концентрация).
- **Давление биогаза** (давление газа при сжигании в когенерационной установке находится в пределах от 1,5 до 10 кПа).
- **Постоянство качества газа** (компонентный состав и давление биогаза; оказывает влияние на стабильность работы и количество выпускаемых эмиссий).

**Содержание вредных веществ (прежде всего соединения серы, фтора и хлора) (эти соединения могут вызвать коррозию компонентов всасывающего тракта и внутренних частей двигателя, соприкасающихся со смазочным маслом. При более высоком содержании серы является целесообразным установить сероочиститель).**

### 5.3 Основы когенерации

**Обычный (традиционный) способ получения электричества и теплоты заключается в их раздельной генерации (электростанция и котельная).** При этом значительная часть энергии первичного топлива не используется. Можно значительно уменьшить общее потребление топлива путем применения когенерации (совместного производства электроэнергии и теплоты).

**Когенерация есть комбинированное производство электрической (или механической) и тепловой энергии из одного и того же первичного источника энергии.**

Произведенная механическая энергия также может использоваться для поддержания работы вспомогательного оборудования, такого как компрессоры и насосы. Тепловая энергия может использоваться как для отопления, так и для охлаждения. Холод производится абсорбционным модулем, который может функционировать благодаря горячей воде, пару или горячим газам.

**При эксплуатации традиционных (паровых) электростанций, в связи с технологическими особенностями процесса генерации энергии, большое количество выработанной теплоты сбрасывается в атмосферу через конденсаторы пара, градирни и т.п. Большая часть этой теплоты может быть утилизирована и использована для удовлетворения тепловых потребностей, это повышает эффективность с 30-50% для электростанции до 80-90% в системах когенерации.** Сравнение между когенерацией и раздельным производством электричества и теплоты приводится в таблице 6, основанной на типичных значениях КПД.

**Таблица 6. Сравнение между когенерацией и раздельным производством электроэнергии и теплоты**



Исследования, разработки и проекты, реализованные в течение последних 25 лет, привели к существующему усовершенствованию технологии, которая теперь действительно является зрелой и надежной. **Уровень распространения когенерации в мире позволяет утверждать, что это наиболее эффективная (из существующих) технология энергообеспечения для огромной части потенциальных потребителей.**



## Список использованных источников

1. Федеральный закон Российской Федерации от 23 ноября 2009 г. № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении в отдельные законодательные акты Российской Федерации»
2. Делягин, Г.Н. Теплогенерирующие установки [Текст]: учебник для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: изд. Дом Бастет., 2010. – 623 с.
3. Баскаков, А.П. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии [Текст]: учебное пособие в 2-х частях/ А.П. Баскаков. – Екатеринбург: УГТУ. – УПИ, 2008. – 95 с.: ил.
4. Энергетическое оборудование для использования нетрадиционных и возобновляемых источников энергии [Текст]: под ред. В.И. Виссарионова. – м.: Фирма ВИЭН, 2004
5. [www.hvac.ru](http://www.hvac.ru) – электронная библиотека научных статей (журнал «АВОК»).
6. [www.domsovet.ru](http://www.domsovet.ru) – электронная библиотека научных статей (журнал «Энергосбережение», журнал «Сантехника»).
7. Биогаз как альтернативный источник энергии [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.biogas.ru>
8. Биогазовое оборудование [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.biogas.ru>

Климов Геннадий Матвеевич

**Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии для получения теплоты  
в системах теплоснабжения (биогаз из различных видов биомассы)**

Методическая разработка для студентов очной и заочной форм обучения специальностей 140104.65 Промышленная теплоэнергетика и 270109.65 Теплогазоснабжение и вентиляция

Подписано в печать \_\_\_\_\_ Формат 60x90 1/8 Бумага газетная. Печать трафаретная  
Уч.изд.л. Усл.печ.л. Тираж 300 экз. Заказ № \_\_\_\_\_

Федеральное государственное бюджетное образовательного учреждение высшего профессионального образования  
«Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»  
603950, Н.Новгород, Ильинская, 65.  
Полиграфцентр ННГАСУ, 603950, Н.Новгород, Ильинская, 65