

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Тольяттинский государственный университет»

**ИНСТИТУТ ХИМИИ И ИНЖЕНЕРНОЙ ЭКОЛОГИИ**  
**Кафедра «Рациональное природопользование и ресурсосбережение»**

20.03.01 «Техносферная безопасность»  
(код и наименование направления подготовки)

«Инженерная защита окружающей среды»  
(профиль)

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

на тему: «Проектирование комплексного оборудования для утилизации  
бытовых отходов, энергоресурсосбережения частного сектора»

Студент(ка)	<u>В.В. Челухин</u> (И.О. Фамилия)	_____ (личная подпись)
Руководитель	<u>В.С. Гончаров</u> (И.О. Фамилия)	_____ (личная подпись)

**Допустить к защите**

Зав. кафедрой  
«Рациональное  
природопользование  
и ресурсосбережение»

к.п.н., М.В.Кравцова  
(ученая степень, звание, И.О. Фамилия )

\_\_\_\_\_ (личная подпись)

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_\_ Г.

Тольятти 2016

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Тольяттинский государственный университет»

## ИНСТИТУТ ХИМИИ И ИНЖЕНЕРНОЙ ЭКОЛОГИИ

Кафедра «Рациональное природопользование и ресурсосбережение»

УТВЕРЖДАЮ

Зав. кафедрой «РПиР» \_\_\_\_\_ М.В.Кравцова  
(подпись) (И.О. Фамилия)

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_ г.

### ЗАДАНИЕ на бакалаврскую работу

Студент: Челухин Владимир Валерьевич

1. Тема: «Проектирование комплексного оборудования для утилизации бытовых отходов, энергоресурсосбережения частного сектора»
2. Срок сдачи студентом законченной выпускной квалификационной работы 25.05.2016
3. Исходные данные к выпускной квалификационной работе: Рабочие материалы ООО «ВОЕНПРОЕКТ», материалы литературно-патентного поиска.
4. Содержание выпускной квалификационной работы:
  - анализ технологий и оборудования для утилизации бытовых отходов жизнедеятельности человека;
  - проектирование и расчет комплексного оборудования для утилизации бытовых отходов индивидуального жилого дома;
  - экологическая безопасность в процессе эксплуатации индивидуальных биогазовых установок и оборудования по переработке ТБО.

Руководитель бакалаврской работы \_\_\_\_\_ В.С. Гончаров  
(подпись) (И.О. Фамилия)

Задание принял к исполнению \_\_\_\_\_ В.В. Челухин  
(подпись) (И.О. Фамилия)

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Тольяттинский государственный университет»

**ИНСТИТУТ ХИМИИ И ИНЖЕНЕРНОЙ ЭКОЛОГИИ**  
**Кафедра «Рациональное природопользование и ресурсосбережение»**

УТВЕРЖДАЮ

Зав. кафедрой «РПиР» \_\_\_\_\_ М.В.Кравцова  
(подпись) (И.О. Фамилия)

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_ г.

**КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН**  
**бакалаврской работы**

Студента: Челухина Владимира Валерьевича  
по теме: «Проектирование комплексного оборудования для утилизации бытовых отходов, энергоресурсосбережения частного сектора»

Наименование раздела работы	Плановый срок выполнения раздела	Фактический срок выполнения раздела	Отметка о выполнении	Подпись руководителя
Введение	03.03.2016			
Анализ технологий и оборудования для утилизации бытовых отходов жизнедеятельности человека	15.03.2016			
Проектирование и расчет комплексного оборудования для утилизации бытовых отходов индивидуального жилого дома	25.04.2016			
Экологическая безопасность в процессе эксплуатации индивидуальных биогазовых установок и оборудования по переработке ТБО	10.05.2016			
Заключение	10.05.2016			

Руководитель бакалаврской работы

\_\_\_\_\_  
(подпись)

В.С.Гончаров

(И.О. Фамилия)

Задание принял к исполнению

\_\_\_\_\_  
(подпись)

В.В. Челухин

(И.О. Фамилия)

## АННОТАЦИЯ

**Бакалаврскую работу выполнил:** Челухин В.В.

**Тема работы:** «Проектирование комплексного оборудования для утилизации бытовых отходов, энергоресурсосбережения частного сектора».

**Научный руководитель:** Гончаров В.С.

**Цель бакалаврской работы** - полная утилизация продуктов жизнедеятельности человека с получением тепловой, электрической энергий и удобрений.

Пояснительная записка работы состоит из введения, трех глав, заключения, списка используемых источников и приложения.

Во введении обосновывается актуальность проводимого исследования, описывается цель, задачи, объект и предмет исследования. В первой главе проведен литературно-патентный поиск в области технологий и оборудования для утилизации бытовых отходов жизнедеятельности человека, подробно анализированы процессы возникновения биогаза и возможности его использования для получения тепловой, и других видов энергии. Вторая глава пояснительной записки посвящена проектированию комплексного оборудования для утилизации бытовых отходов, с целью энергоресурсосбережения, применительно к индивидуальным жилым помещениям. В третьей главе произведен анализ опасных и экологически вредных факторов в процессе эксплуатации индивидуальных биогазовых установок и оборудования по переработке бытовых отходов.

Графическая часть работы содержит:

- предлагаемая замкнутая схема переработки ТБО с получением вторичного продукта;
- сборочный чертеж биогазовой установки;
- сборочный чертеж подшипникового узла;
- сборочный чертеж било;
- сборочный чертеж центрального вала;

- сборочный чертеж газгольдера;
- сборочный чертеж опорных роликов;
- сборочный чертеж привода;
- сборочный чертеж фиксатора;
- спецификация.

Объем пояснительной записки бакалаврской работы - 85 страниц (23 рисунка, 17 таблиц, 82 источника использованной литературы). Графический материал выполнен на 10 листах (включая 1 лист спецификации).

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	8
ГЛАВА 1. АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЙ И ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ УТИЛИЗАЦИИ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕКА	10
1.1 Основные проблемы утилизации твердых бытовых отходов (ТБО) и рационального использования ресурсов	10
1.2 Основы биогазовой технологии	17
1.3 Этапы процесса возникновения биогаза	18
1.4 Одно- и многоступенчатый процесс	22
1.5 Состав и качество биогаза	23
1.6 Сырье для получения биогаза	24
1.7 Сравнение биогаза с прочими газами	25
1.8 Благоприятная среда для образования бактерий	25
1.8.1 Влажная среда	26
1.8.2 Исключение проникновения воздуха	26
1.8.3 Исключение проникновения света	26
1.8.4 Равномерная температура	26
1.8.5 Уровень pH	29
1.8.6 Подача питательных веществ	30
1.8.7 Максимальный выход газа	31
1.8.8 Технологическое время брожения	31
1.8.9 Свойства биогаза	32
1.9 Использование биогаза	33
1.9.1 Сжигание	33
1.9.2 Отопление биогазом	34
1.9.3 Охлаждение при помощи биогаза	34
1.9.4 Подача в сеть общего пользования	35
1.9.5 Биогаз как топливо	37
1.10 Литературно-патентный поиск по конструктивным особенностям газовых установок	39

1.10.1 Отличительные черты бродильной камеры (метантенка)	40
1.10.2 Нагревательное устройство	40
1.10.3 Приспособление для перемешивания и разгрузки	40
1.10.4 Газгольдер	41
1.10.5 Ферментатор горизонтального типа	41
1.10.6 Биогазовая установка горизонтального типа	45
<b>ГЛАВА 2. ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ КОМПЛЕКСНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ УТИЛИЗАЦИИ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ ИНДИВИДУАЛЬНОГО ЖИЛОГО ДОМА</b>	<b>52</b>
2.1 Назначение и устройство основных узлов комплексной уста- новки	52
2.1.1 Компоненты серийного оборудования комплексной установ- ки для утилизации ТБО	54
2.2 Технология работы комплексной установки	63
<b>ГЛАВА 3. ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ БИОГАЗОВЫХ УСТАНОВОК И ОБОРУДОВАНИЯ ПО ПЕРЕРАБОТКЕ ТБО</b>	<b>65</b>
3.1 Техника безопасности	65
3.2 Инструкция по обслуживанию комплексной биогазовой установки в случае поломки	68
3.2.1 Инструкция по отключению комплексной биогазовой установки	70
3.3 Защитные зоны	71
3.4 Снижение экологически вредных факторов для окружающей среды при производстве биогаза	73
3.4.1 Снижение интенсивности запахов	73
3.4.2 Очистка биогаза от сероводорода	74
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ</b>	<b>76</b>
<b>СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ</b>	<b>77</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ (графический материал)</b>	

## ВВЕДЕНИЕ

В современных реалиях состояния экономики, постоянного роста тарифов на энергоносители, а также отдалённости и труднодоступности некоторых населённых пунктов, необходимо развитие новых подходов в получении доступной электрической и тепловой энергии. Биогазовая энергетика, как продукт переработки бытовых отходов жизнедеятельности человека, является надёжной и экономически выгодной альтернативой магистральному природному газу и централизованному электроснабжению.

Следует отметить, что данная технология, также благотворно влияет на улучшение экологической обстановки, а отходы, получаемые после метанового брожения биомассы, являются качественным экологически чистыми удобрениями и кормовыми добавками. [40,50].

Биогаз появляется при анаэробной ферментации органических веществ различного происхождения: продукты жизнедеятельности человека, листья, бумага, другие органические отходы хозяйства.

Актуальность комплексного оборудования для переработки бытовых отходов в индивидуальном жилом секторе определяется рядом положений:

1. необходимость непрерывной утилизации продуктов жизнедеятельности человека и твердых бытовых отходов;
2. высокая стоимость водных ресурсов для утилизации продуктов жизнедеятельности человека;
3. высокая стоимость энергоносителей;
4. отсутствие доступных (дешевых) аппаратов для переработки твердых бытовых отходов с получением вторичных ресурсов.

Из выше изложенного следует, что тема данной работы «Проектирование комплексного оборудования для утилизации бытовых отходов, энергоресурсосбережения частного сектора» является актуальной.

*Целью работы является: полная утилизация продуктов жизнедеятельности человека с получением тепловой, электрической энергий и удобрений.*

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- 1. Анализировать существующие проекты для утилизации твердых бытовых отходов с получением вторичного продукта.*
- 2. Изучить промышленные и бытовые метантенки для утилизации твердых бытовых отходов с получением вторичного продукта.*
- 3. Разработать рабочий проект комплекса оборудования для утилизации бытовых отходов, с получением биогаза и вторичных продуктов переработки.*
- 4. Обеспечить безопасность и экологичность проектируемого оборудования при эксплуатации.*

# **ГЛАВА 1. АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЙ И ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ УТИЛИЗАЦИИ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕКА**

## **1.1 Основные проблемы утилизации твердых бытовых отходов (ТБО) и рационального использования ресурсов**

Одной из самых острых экологических, научно-технических и социально-экономических проблем, является проблема обращения с отходами производства и потребления (ТБО) [47].

В целом положение с обращением с отходами остается крайне неудовлетворительным для большинства регионов России из-за отсутствия полигонов захоронения и перерабатывающих заводов, недостатка финансовых средств для реализации региональных программ, усиления техногенных нагрузок на окружающую среду, большого количества уже накопленных отходов. Сложившаяся в последнее время ситуация, связанная с ежегодным ростом объемов образующихся в России отходов (на 4 – 6 % в год), ведет к возникновению необратимых процессов деградации окружающей среды и создает реальную угрозу для здоровья населения [11,43,47].

Ежегодно в России образуется около 7 млрд. тонн отходов, из которых используется (утилизируется) только 2 млрд. т или 28,6 %. В результате на территории РФ уже накоплено более 80 млрд. т только твердых отходов. Кроме того, существующие мусороперерабатывающие предприятия в России обеспечивают переработку 8-10% ТБО, а 90% бытовых отходов поступает на полигоны. Объем переработки остается на одном и том же уровне на протяжении более 10 лет [47].

Под полигоны и свалки твердых бытовых отходов ежегодно отчуждается около 10 тыс. га пригодных для использования земель (без учета «несанкционированных» свалок). Количество полигонов возрастает, что приводит к попаданию в окружающую среду опасных компонентов (ртуть, тяжелые металлы, токсины и т.д.).

Главные негативные воздействия скопления мусора – это воздействие через воздух, воду и почву. Воздействие на воздух происходит за счет гниения ТБО, в результате чего образуются вредные газы. По данным Росстата за 2011г в местах скопления ТБО, образовалось 80,86 миллионов тонн CO<sub>2</sub>. Воздействие на воды и почвы осуществляется за счет образующегося и накапливающегося в ТБО фильтрата, обладающего токсичными свойствами [43].

Анализ проблемы сбора и переработки отходов в городе Тольятти показал, что существующие в городе 2 мусороперерабатывающих предприятия - ООО «ПОВТОР» и ОАО «ЗПБО» извлекают из отходов только 20% ценных веществ, а остальные 80% массы бытовых отходов складываются на полигонах и загрязняют окружающую среду. Основная причина – смешение бытовых отходов на стадии их сбора и транспортировки. За рубежом мусороперерабатывающие предприятия работают намного более эффективно именно за счет дифференцированного сбора отходов [43,73].

Морфологические исследования твердых бытовых отходов г.о. Тольятти показали, что бытовые отходы нашего города содержат в себе более 80% вторичных материальных ресурсов, которые можно перерабатывать.

На основе анализа существующей проблемы в области обращения с ТБО в городе Тольятти в [23] разработана и предложена для внедрения в городе система дуального сбора отходов, которая основана на разделении отходов на 2 группы: пищевые и непищевые.

Отходы ТБО г. Тольятти поступают на завод по переработке отходов ООО «ПОВТОР», специализирующийся на извлечении из ТБО вторичных материальных ресурсов (ВМР). В связи со смешанным сбором отходов, полученное в процессе извлечения вторичное сырье отличается низким качеством. Оно загрязнено пищевыми компонентами, что в некоторых случаях делает его непригодным для вторичного использования.

На основании анализа морфологии отходов г.о. Тольятти был найден расчетный процент извлечения вторичного сырья этого мусоросортировоч-

ного комплекса (МСК) и состав отходов после сортировки (ОПС) представленные в таблице 1.1.

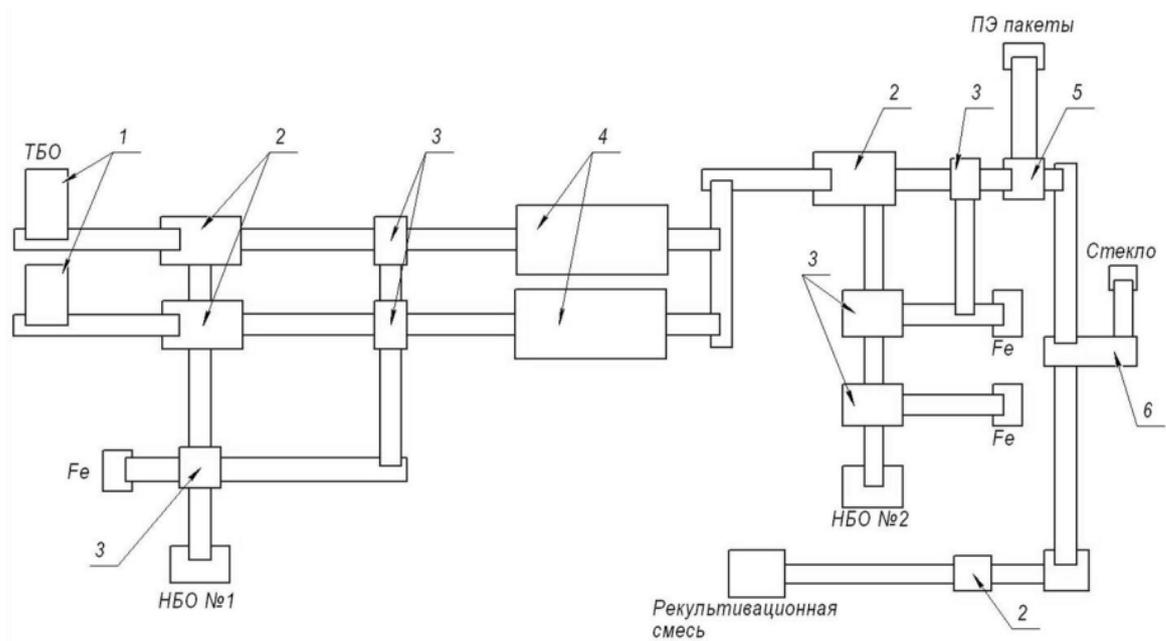
Таблица 1.1 - Расчетный годовой отбор ВМР на ООО «ПОВТОР»

Материал	На входе, %	На входе, т	Отобрано, т	ОПС, т
Смешанная бумага	5,30	6625	550,0	6075
Пластик	20,30	25375	8054	17321
Металл	1,80	2250	675,0	1575
Стекло	9,20	11500	4140,0	7360
Органика	38,00	47500	0	47500
Текстиль	3,80	4750	0	4750
Смёт	21,6	27000	0	27000
Всего	100,00	125000	13419	111581

На основании расчетов установлено, что максимальная расчетная производительность мусоросортировочного комплекса при действующей системе сбора составляет 13 419 тонн ВМР в год. Фактические показатели сортировки ТБО на данном предприятии значительно ниже и составляют 8 750 тонн.

Полученные отходы после сортировки отправляют на ОАО «ЗПБО» для обезвреживания в биобарабанах ОАО «ЗПБО» (рисунок 1.1).

Данная технология была разработана с целью получения удобрений из ТБО, однако, за всю историю завода на нем ни разу не было получено качественного удобрения. Получаемая после обработки в биобарабанах гумусоподобная смесь не пригодна для реализации и получения из неё качественных удобрений, т.к. не соответствует ГОСТ 55571-2013 пригодности отходов для использования в качестве сырья для производства удобрений [24] (таблица 1.2). Так, за 2012 год было безвозвратно утеряно 54,5 тыс. тонн органических отходов.



1-питатель; 2-грохот; 3-магнит; 4- биобарабан; 5 - сепаратор ПЭ пленки;  
6-сепаратор стекла

Рисунок 1.1 - Технологическая схема обезвреживания ТБО на ОАО «ЗПБО»

Тем не менее, получение из бытовых отходов удобрений возможно и широко реализуется в Европе. Так в Швейцарии, например, ежегодно перерабатывается около 800 тысяч тонн отдельно собранных органических отходов промышленным компостированием и ферментацией растений. При этом получают компост, который применяется как удобрение для сельского хозяйства, вследствие чего питательные вещества регенерируются и положительно влияют на свойства почвы [73].

Становится очевидным, что главным препятствием для получения качественных удобрений из органических отходов ТБО на ОАО «ЗПБО» является существующая система смешанного сбора отходов в городе.

Внедрение в городе Тольятти дуальной системы сбора отходов позволит направить потоки пищевых отходов непосредственно на переработку на ОАО «ЗПБО» для производства компоста и органических удобрений, а непищевых на ООО «ПОВТОР» для извлечения вторичных материальных ресурсов.

Таблица 1.2 - Оценка пригодности ОПС к компостированию

Материал	Состав ОПС, %	ГОСТ 55571-2013, %
Смешанная бумага	5,44	20-45
Стекло	6,60	не более 8
Органика	33,61	не менее 45
Пищевые отходы	28,01	25-55
Суммарное содержание инертных материалов	63,19	не более 25

Для сбора пищевых отходов предложено применение современных заглубленных контейнеров, основная часть бака которых на 2/3 находится под землей. Такой контейнер имеет ряд существенных преимуществ, относительно традиционно используемых мусорных контейнеров. Главное преимущество - это отсутствие гниения в заглубленных контейнерах, так как температура под землей более стабильна, чем на ее поверхности. Предварительные расчёты эффективности внедрения дуальной схемы (рисунок 1.2) сбора отходов ТБО в Тольятти показали, что после внедрения отдельного сбора на мусоросортировочный комплекс ООО «ПОВТОР» снизится поступление пищевых составляющих на 90%, что значительно отразится на качестве и количестве используемых для переработки вторичных материальных ресурсов ВМР (таблица 1.3).

Кроме того, поток органических отходов, собранных отдельно будет напрямую поступать на ОАО «ЗПБО».

Таблица 1.3 - Отбор вторичных материальных ресурсов на ООО «ПОВТОР» после внедрения дуальной системы сбора ТБО

Материал	На входе, %	На входе, т	Отобрано, т	ОПС, т
Смешанная бумага	9,1	6625	2000	4625
Пластик	35,0	25375	12870	12505
Металл	3,1	2250	1125	1125
Стекло	15,9	11500	5750	5750
Органика	12,9	9375	0	9375
Текстиль	5,2	3750	0	3750
Смёт	23,9	17330	0	17330
Всего	100,00	72455	21745	50710

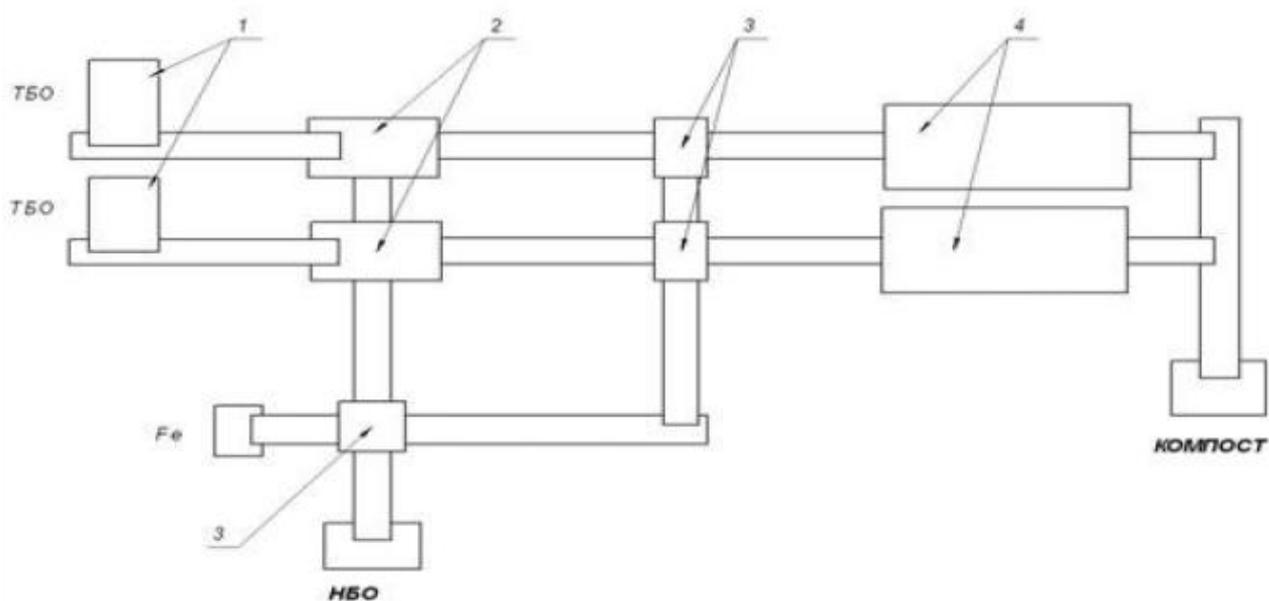
Для оценки пригодности, поступающих после отдельного сбора органических отходов к использованию их для изготовления компоста сравнили их с показателями ГОСТ РФ 55571-2013 (Таблица 1.4).

Таблица 1.4 - Оценка пригодности отдельно собранных органических отходов к компостированию

Материал	Компостируемая смесь, т	Компостируемая смесь, %	ГОСТ 55571-2013, %
Стекло	0	0	не более 8
Органика	51679	100	не менее 45
Пищевые отходы	28125	54	25-55
Суммарное содержание инертных материалов	0	0	не более 25

Данные таблицы 1.4 показывают, что отдельно собранные органические отходы возможно использовать в качестве сырья для производства удобрений в соответствии с ГОСТ РФ 55571-2013. При переработке такого сырья в биобарабанах и реализации технологий дальнейшего обогащения компостной смеси будут получены удобрения высокого качества. Кроме того, при изменении состава отходов, поступающих на компостирование, можно удалить из технологического процесса многочисленные сепараторы, магниты и снизить затраты на производство.

Расчёты показали, что благодаря внедрению дуальной системы сбора ТБО, отбор вторичных материальных ресурсов на мусоросортировочном комплексе ООО «ПОВТОР» возрастет на 14 471 тонн/год, с учетом средней стоимости вторичных ресурсов 20 тыс. рублей/тонну, дополнительная прибыль сортировки составит более 289 млн. руб./год. На ОАО «ЗПБО» будет получено 40 000 тонн высококачественных удобрений, а количество отходов, поступивших на полигон снизится на 47 855 тонн/год.



1 - питатель; 2 - грохот; 3 - магнит; 4 – биобарабан

Рисунок 1.2 – Технологическая схема переработки отдельно собранных органических отходов

Таким образом, предварительные расчёты внедрения дуальной схемы сбора отходов в городе Тольятти показали экономические и экологические преимущества отдельного сбора ТБО:

- увеличение объема производимых вторичных ресурсов в 6 раз;
- снижение загрязнения атмосферы токсичными газами при перевозке ТБО на автотранспорте на 167 тонн/год;
- сокращение объема захоронения отходов в три раза.

Предложенные мероприятия по модернизации системы обращения с отходами позволят сократить количество земель, отводимых под полигоны, а также снизить антропогенную нагрузку на окружающую среду, повысить отбор вторичных материальных ресурсов из отходов и получить новые виды продукции из ТБО, такие как компост и удобрение.

Разработка новых и совершенствование существующих технологий переработки отходов на мусороперерабатывающих заводах при реализации дуальной системы сбора ТБО в городе Тольятти позволят достичь высоких экономических (повышение прибыли от получения и реализации новой продук-

ции) и экологических (снижение негативного воздействия отходов на окружающую среду за счёт уменьшения объёма вывозимых на полигоны отходов) эффектов.

## **1.2 Основы биогазовой технологии**

Возникновение биогаза происходит за счет поочередного разложения (гидролиза, кислотообразования и метанообразования) биологической массы, состоящей в основном из воды, белков, жиров, минеральных веществ и углеводов, разными типами микроорганизмов (бактерий), в итоге образуется газовая смесь - получившая название биогаз. Основным компонентом, которой (до 85%) является метан ( $\text{CH}_4$ ). Данный процесс разложения имеет место только при анаэробных условиях (отсутствие кислорода), его обычно называют гниением (можно наблюдать в болотах) [2-5].

При присутствии в данной среде кислорода, органический субстрат разлагают другие бактерии - в этом случае процесс будет называться компостированием. Другими естественными процессами разложения являются пептирование либо брожение.

Высвобождение энергии вследствие анаэробного процесса не теряется в виде тепла, как при компостировании, а происходит ее превращение в молекулы метана (результат жизнедеятельности метановых бактерий).

Любая органика, при отсутствии кислорода, может служить для получения биогаза (анаэробным процессом). Все зависит от количества времени разложения, поэтому анаэробный процесс чаще применяют для измельченных кашеобразных, текучих субстратов, и вообще биомасс задерживающих большое количество воды, в частности для очистки сточных вод, в то время как материал из больших цельных кусков как например древесина лучше разлагать компостированием или иными способами [9,17,21].

Энергетическая ценность метана, содержащегося в биогазовой смеси, составляет порядка  $10 \text{ кВт/м}^3$  (чистый метан) метан является таким же газом, как и природный газ. Если переводить газовую смесь в электроток с помо-

щью генератора (при его эффективности 35 % с 10 кВт) брутто составит 3,5 кВт тока, который можно подавать непосредственно в электросеть [3].

### **1.3 Этапы процесса возникновения биогаза**

Биогаз продукт обмена веществ, происходящий при разложении бактериями органической биомассы. Процесс делится на 4 основных этапа (рисунок 1.3), на каждом этапе принимают участие разные группы бактерий:

1. первый этап – происходит перестраивание, анаэробными бактериями, высокомолекулярных органических субстанций (белков, жиров, минералрв и углеводов) на низкомолекулярные соединения (сахар, вода, жирные и аминокислоты) с помощью энзимов. Выделяемые гидролизными бактериями энзимы, прикрепляются к внешней стенке бактерий (экзоферменты) при этом происходит расщепление органических составляющих субстрата на малые водорастворимые молекулы. Многомолекулярные образования (полимеры) превращаются в отдельные молекулы (одномеры). Данный процесс, именуемый гидролизом, имеет медленное течение и находится в зависимости от внеклеточных энзимов (например амилазы, протеазы, целлюлоза и липазы). На данный процесс оказывает влияние уровень рН (от 4,5 до 6), а также время пребывания в резервуаре [14,15,25].

2. Следующим этапом происходит проникновение в клетки кислотообразующих бактерий отдельных молекул, где они продолжают разлагаться. При этом процессе частично участвуют анаэробные бактерии, употребляющие остаток кислорода и вследствие этого образуют необходимые для метановых бактерий условия. При уровне рН 6 - 7,5 происходит в первую очередь выработка нестойких жирных кислот, так называемых карбоновые кислот (уксусная, масляная, пропионовая, муравьиная кислоты), а также низкомолекулярного алкоголя (этанол) и газов (сероводород, двуокись углерода и аммиак). Данный этап называют фазой окисления, во время него происходит снижение уровня рН [14,15,25].

3. Третим этапом кислотообразующие бактерии создают из органических кислот исходные для метанообразования продукты: двуокись углерода, углерод и уксусная кислота. Эти бактерии, снижающие количество углерода очень чувствительны к температуре.

4. Во время последнего этапа происходит образование метана, двуокиси углерода и воды как продукта взаимосвязи метановых бактерий с муравьиной и уксусной кислотами, углерода и водорода. До 90 % всего метана вырабатывается на данном этапе, из них порядка 70 % образуется из уксусной кислоты. Следовательно, образование уксусной кислоты (этап 3) является фактором, определяющим скорость метанообразования. Метановые бактерии абсолютно анаэробные. Оптимальный уровень pH составляет 7, при этом амплитуда колебаний температуры может быть в пределах 6,6-8. [3,80]

	Процесс	Бактерии	Выход
I	Гидролиз	Аэробные гидролизные бактерии	Моносахариды, аминокислоты и жирные кислоты
II	Повышение кислотности	Кислотообразующие бактерии	Органические кислоты, двуокись углерода
III	Образование уксусной кислоты	Бактерии образующие уксусную кислоту	Уксусная кислота, двуокись углерода, водород
IV	Образование метана	Метановые бактерии	Метан, двуокись углерода, вода

Рисунок 1. 3 - Фазы брожения

Расщепление органического субстрата на отдельные составляющие и превращение его в метан происходит только во влажных средах, так как бактерии перерабатывают вещества только в растворимом виде. Следовательно для брожения твердых субстратов существует потребность в воде (рисунок 1.4) [67,69,74].

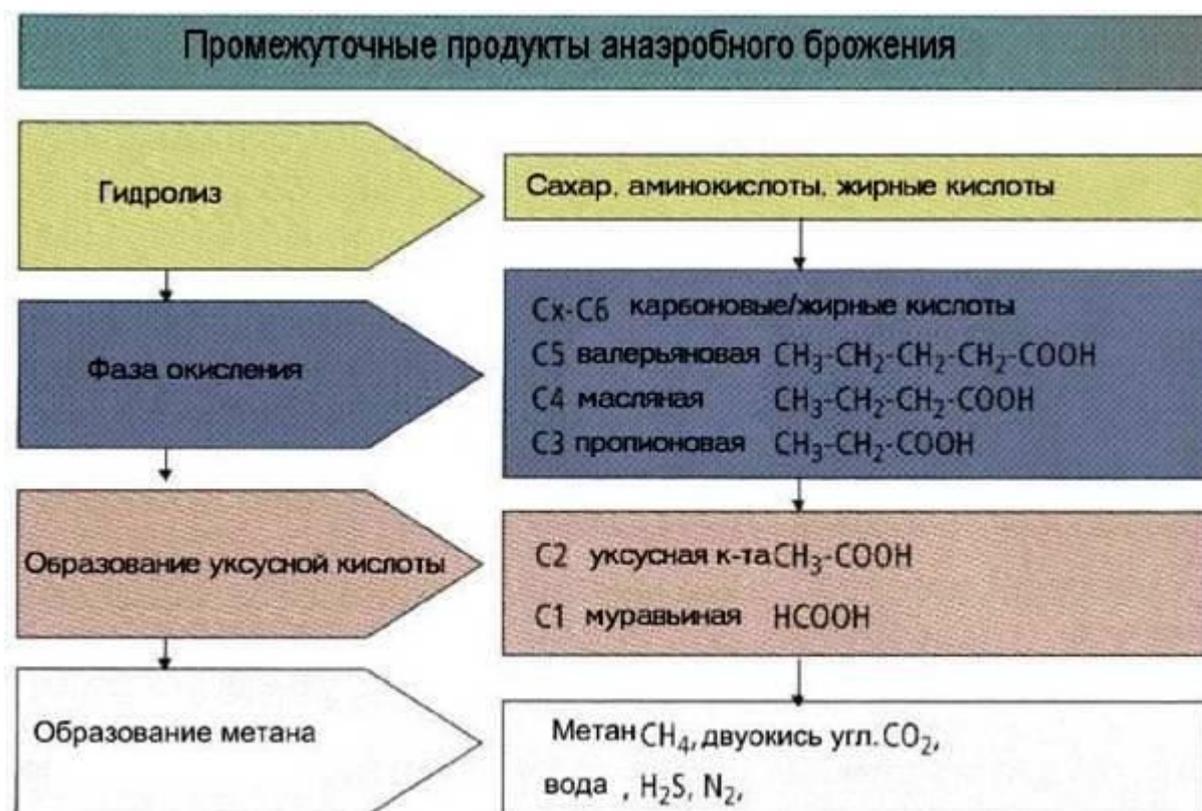


Рисунок 1.4 - Продукты обмена веществ анаэробного разложения

Процесс расщепления происходит таким образом, что продукты обмена веществ (переваривания) каждой группы бактерий выступают в качестве питательных веществ для последующей группы бактерий. Пофазное расщепление органики происходит с разными скоростями (рисунок 1.5), так как разные группы бактерий работают с разной скоростью. Аэробные бактерии удваивают свою массу в течении от 20 минут до 10 часов (время генерации), у анаэробных же бактерий этот процесс значительно медленней.

Наиболее медленно проходит фаза образования уксусной кислоты, бактериям для удвоения своей массы необходимо много дней. Несколько медленных видов есть и среди метановых бактерий, в первую очередь это чистые культуры фаза образования которых от 3 до 5 дней. Остальные расщепляют уксусную кислоту на метан в течении нескольких часов (до трёх дней максимум) [47].



Рисунок 1.5 - Время жизни поколений бактерий

Перекармливание бактерий быстрорасщепляемой биомассой приводит к скоплению кислот за счет кислотообразующих бактерий [3,8,26,47]. Это приводит к резкому падению уровня pH, что не переживут другие бактерии.

Динамическое равновесие также зависит от легкости расщепления биомассы, например крахмал и сахар расщепляются очень быстро требуя минимум времени пребывания в ферментаторе. Соответственно, чем сложнее структура субстрата, тем расщепление длится дольше. Таким образом на время брожения и саму технологию получения биогаза, имеет прямое влияние скорость расщепления биомассы (рисунок 1.6). Следовательно, уже при проектировании биогазовой установки (метантенка) стоит четко понимать, какой субстрат или субстраты будут использоваться в процессе брожения.



Рисунок 1.6 - Скорость разложения субстрата

#### 1.4 Одно- и многоступенчатый процесс

подавляющее большинство биогазовых установок параллельного типа, т.е. процессы расщепления не разделены территориально и во времени. Такой процесс называют одноступенчатым.

Для быстрорасщепляемых биомасс, которые из-за этого страдают склонностью к окислению, рекомендуется для процессов гидролиза и окисления использовать отдельный резервуар, чтобы продукты разложения из него дозированно подавать в метантенк (двухступенчатая технология). Преимущество данной схемы, заключается в выдерживании оптимальных условий жизнедеятельности бактерий (в первую очередь уровень pH). Следовательно можно достичь большей производительности биогаза. Неоспоримым преимуществом такой схемы является, то, что не используемые газы можно отделять через биофильтр, соответственно можно отделить лишь газ с высоким содержанием метана. Несмотря на указанное преимущество, двухступенчатые технологии не нашли повсеместного распространения, в связи с дополни-

тельными потерями на второй резервуар, системы смешивания, отопления и насосное оборудование [22,33,35]. Однако на практике часто встречаются два поочередно связанных между собой резервуара. Где первый резервуар выступает ферментатором, с отоплением и мешалками - он рассчитан на быстрое брожение быстрорастворимых масс. А второй резервуар, добавлен к первому и является ферментатором без отопления, в котором происходит образования газа из субстратов, разлагающихся медленнее, а следовательно и процесс длится дольше (рисунок 1.7) [33-35].

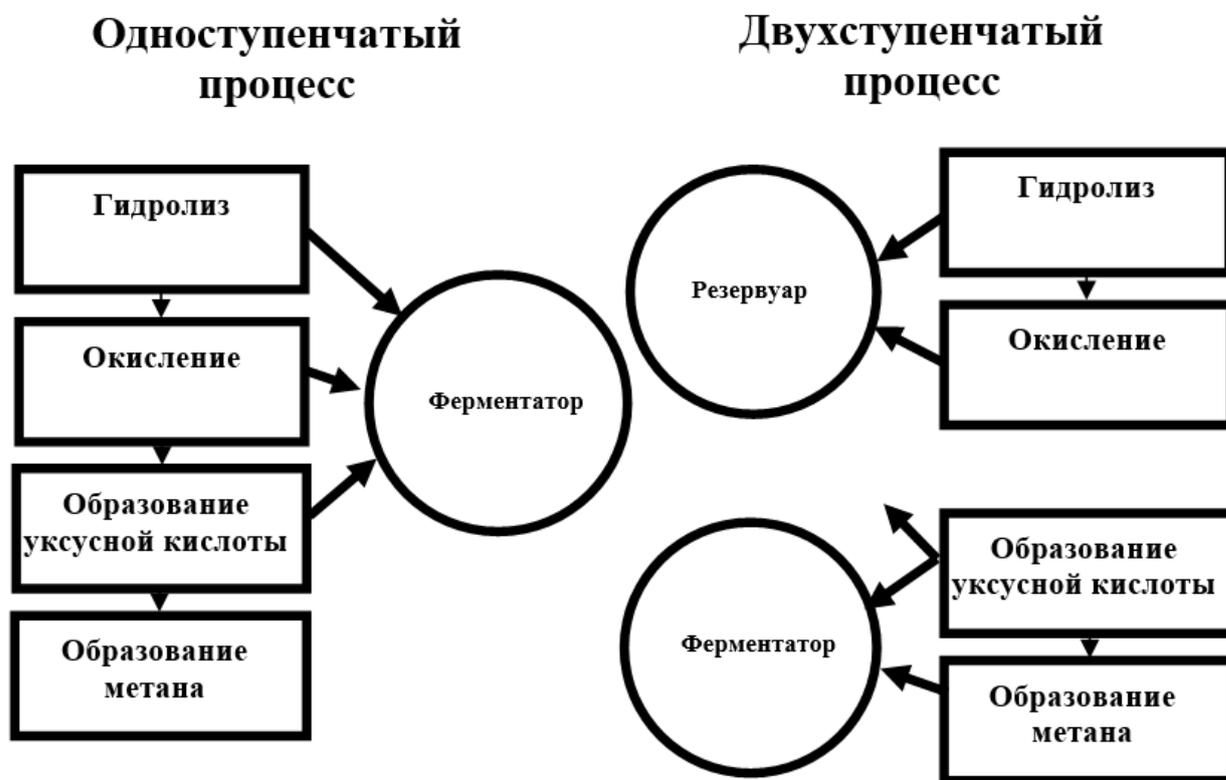


Рисунок 1.7 - Одно- и двухступенчатый процесс

### 1.5 Состав и качество биогаза

Вырабатываемый в биогазовой установке биогаз состоит:

- 50-87 % метана;
- 13-50 % CO<sub>2</sub>;
- остальное H<sub>2</sub> и H<sub>2</sub>S.

После проведения очистки от CO<sub>2</sub> получаем биометан. Биометан - идентичный аналог природного газа [75,76,78,80].

Так как только метан поставляет энергию из биогаза, принято, для описания качественных и количественных показателей биогаза, принимать нормируемые показатели метана. Так как объем газов и уровень его калорийности зависит от температуры, давления и влажности и чтобы выходы газа можно было сравнить между собой, необходимо их соотносить с нормальным состоянием (атмосферное давление 1,01325 bar, температура 0 °С, относительная влажность газа 0 %) [56,57,78].

Данные о производстве газа выражаются в литрах или же кубических метрах метана на 1 кг органического сухого вещества.

### **1.6 Сырье для получения биогаза**

В качестве сырья для биогаза, из органических отходов, пригодны: навоз, мелассная послеспиртовая и зерновая барда, птичий помет, отходы забойных и рыбных цехов, пивная дробина, бытовые отходы, травы, отходы производства биодизеля, отходы молокозаводов, отходы от производства соков, отходы производства крахмала и патоки, водоросли и т.д. [77,79,82]

Также можно производить биогаз из специально выращенных энергетических культур, например, из силосной кукурузы.

Конечный выход биогаза находится в зависимости от содержания сухого вещества и вида используемого сырья. Одна тонна навоза крупного рогатого скота дает, в среднем, 50-60 м<sup>3</sup> биогаза (содержание метана 60 %), различные виды растений позволяют получать от 150 до 500 м<sup>3</sup> биогаза (содержание метана до 70 %). Максимум биогаза удается получать из жира, до 1300 м<sup>3</sup>, с содержанием метана до 88 % [51,52].

Различают теоритический (физически возможный) и технически реализуемый выход газа. Во второй половине XX века технически возможный выход газа не превышал 20-30 % от теоритического [3,47]. В настоящий момент развитие технологий позволяет получать выход биогаза, близкий к теоретическому (до 95 %).

При расчетах получения биогаза, в мировой практике используется понятие сухого вещества (СВ) или сухого остатка (СО). Содержащаяся в биомассе вода, не дает газа.

В среднем из 1 кг сухого вещества на практике получают 300 - 500 литров биогаза [2,15,33,34].

### 1.7 Сравнение биогаза с прочими газами

Количественный и качественный состав биогаза в значимой степени зависит от исходного материала и технологии процесса. В таблице 1.5 представлено сравнение состава биогаза и его характеристик, в зависимости от исходного материала.

Таблица 1.5 - Характеристики газов

	Биогаз	Газ сточных вод	Газ мусорных свалок	Природный газ
CH <sub>4</sub>	50-75	65	50	88
CO <sub>2</sub>	25-50	35	27	-
N <sub>2</sub>	0-5	-	23	5
Плотность (кг/ м <sup>3</sup> Н)	1,2	1,16	1,274	0,798
Теплотворная способность (кВт-ч/ м <sup>3</sup> Н)	5,0-7,5	6,5	4,8	10,1
Метановое число	124-150	134	136	80-90

Так как биогаз содержит «мусорные примеси» (аммиак, сера, кремний, а так же их соединения), то для соответствия предварительно заданным предельным их значениям, эти компоненты необходимо удалять.

### 1.8 Благоприятная среда для образования бактерий

Ниже описаны определенные условия для создания благоприятной среды группам бактерий, в первую очередь во избежание их перекармливания [35,50,51].

### **1.8.1 Влажная среда**

Основное условие размножения метановых бактерий, является растворенность субстратов в воде (50 и более % воды), так как, в отличие от аэробных бактерий, грибов и дрожжей они не могут существовать в твердой фазе. Поэтому для «технологий твердых процессов» необходимо увлажнение материала, при этом несущественно, является ли биомасса влажной изначально или стала увлажнённой путем орошения либо смешивания [49–51,59].

### **1.8.2 Исключение проникновения воздуха**

При анаэробном процессе расщепления органики принимает участие целые группы бактерий. Порядка 50 % бактерий аэробные или факультативно аэробные, т.е. хорошо переносят кислород или «не работают» без него. Метановые же бактерии могут быть только анаэробными. При условии существования в субстрате кислорода, как, например, в свежем навозе, аэробные бактерии будут первостепенно использовать его (первый этап процесса получения биогаза). Поэтому минимально необходимое присутствие кислорода, который проникает в биомассу целенаправленно нагнетанием воздуха (при открывании смотровых отверстий или для очистки от серы), не является вредным [49–51,59].

### **1.8.3 Исключение проникновения света**

Свет является неблагоприятным фактором для жизнедеятельности бактерий, так как замедляет процесс расщепления органики. На практике влияние света на процесс брожения исключают с помощью светонепроницаемых крышек [49–51,59].

### **1.8.4 Равномерная температура**

Активная жизнедеятельность метановых бактерий находится в пределах температур от 0 до 70 °С. За исключением нескольких штаммов (сохраняют жизнедеятельность до 90 °С) температура свыше 70 °С для них смертельна (рисунок 1.8). При температуре ниже 0 °С они выживают, но прекращают свою активность. В литературе [47,80] отмечено, что

минимально необходимая температура для активности метановых бактерий равна 34 ° С.

Для процесса брожения определяющим фактором является температура, чем она выше, тем быстрее процесс расщепления и выше производство газа. Общее время разложения сокращается. Однако при повышении температуры снижается метановая составляющая в биогазе, так как при высоких температурах растворенная в биомассе двуокись углерода быстрее переходит в биогаз, следовательно, относительное содержание метана уменьшается.

Существует три общепринятых режима температуры, в которых комфортно себя чувствуют определенные штаммы бактерий:

1. психрофильные штаммы (ниже 25 ° С);
2. мезофильные штаммы (от 25 до 45 ° С);
3. термофильные штаммы (свыше 45 °С).

Основная масса биореакторов работает в мезофильном режиме.

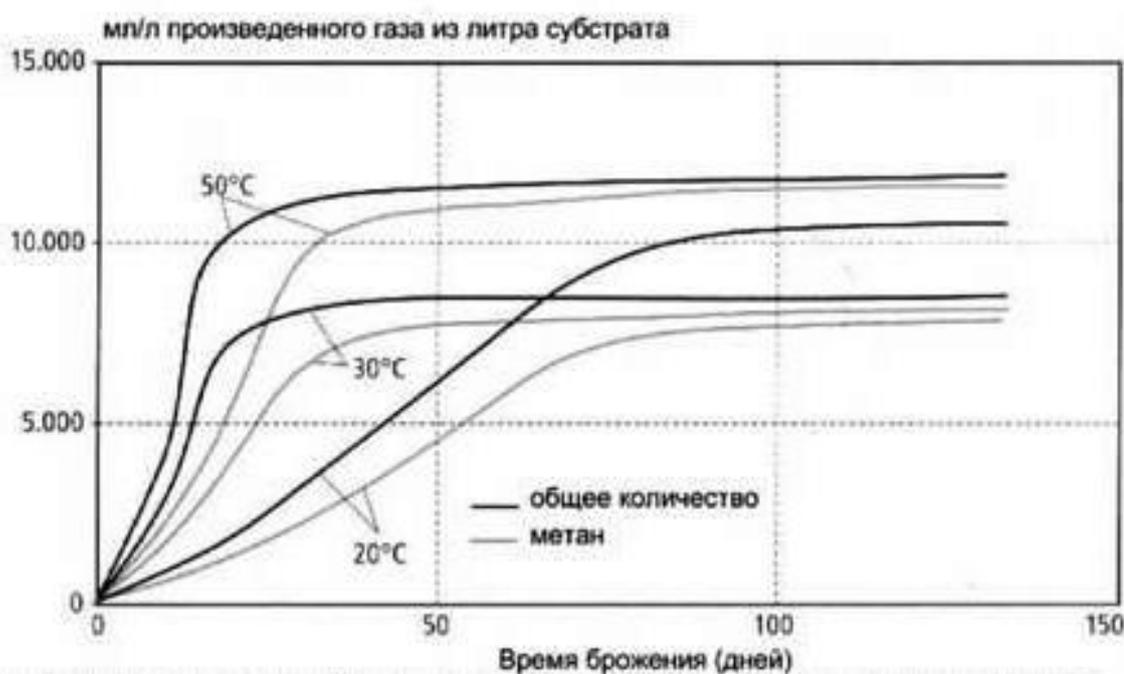


Рисунок 1.8 - Влияние температуры на количество газа

Согласно статистики в основном биогазовые установки работают при температурах 38 - 42 °С. Психрофильный режим работы из-за небольшой

производительности по биогазу и длительности процесса брожения не завоевал в наших широтах популярности, в то время как биореакторы с термофильным режимом работы пользуются постоянно растущим спросом.

Зависимость активности бактерий от температуры ферментатора показана на рисунке 1.9. Увеличение температуры, ведет к повышению чувствительности бактерий к ее колебаниям, в первую очередь, если они краткосрочные. Это отчетливо видно из узкого максимума кривой и ее резкого падения при термофильном режиме. По сравнению с ежедневными колебаниями в 2-4 ° С в мезофильном режиме, не имеющими существенного влияния на бактерии, в термофильном режиме такие колебания не должны превышать 1 ° С [49–51].

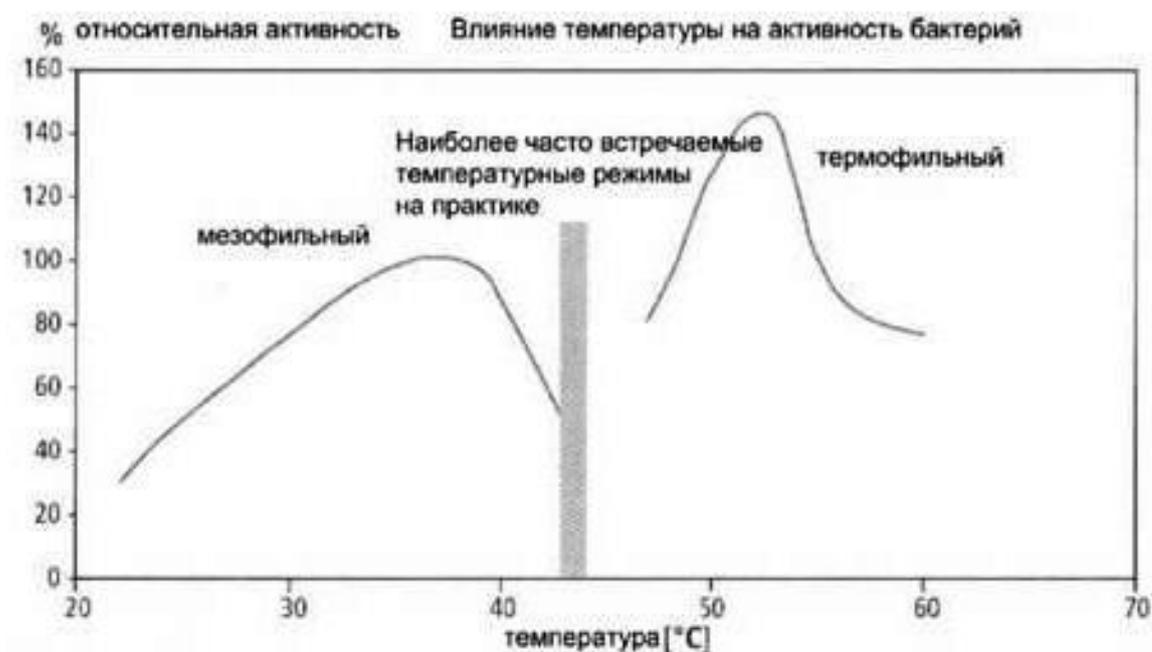


Рисунок 1.9 - Влияние температуры на активность бактерий

Большие объемы легко перерабатываемой биомассы, например растительный, обязательно приводит к реакциям окисления и выделением тепла. Следовательно при брожении кукурузы температура возрастает с 37 ° до 42 ° С. Данный эффект существенно снижает потребление тепла биореактором и должен быть учтен спецификой установки, в частности данная особенность требует установки систем автоматизации. В настоящее время, при интеграции

биогазового оборудования в повседневную работу сельскохозяйственного предприятия и частного домовладения, мезофильный режим более предпочтителен, так как проще в обслуживании.

### 1.8.5 Уровень pH

Уровень pH в пределах 4,5-6,3 является оптимальным для активности кислотообразующих и гидролизующих бактерий в кислой среде. Для бактерий, образующих метан и уксусную и необходимым условием жизнедеятельности, является слабощелочная или нейтральная среда (pH 6,8-8). В общем можно отметить следующее утверждение для существования всех видов бактерий [30,31]:

- если уровень pH выше оптимального, то бактерии становятся менее активными в своей жизнедеятельности (замедляется процесс образования биогаза).

Одноступенчатые процессы следует выдерживать при уровне pH, принятом, для образования метана (оптимум 7). На уровень pH можно влиять количеством субстрата и его типом. Быстроокисляемые субстраты, приводят к резкому уменьшению уровня pH; добавлять их следует только в ограниченных партиями [80].

Биомассы отличаются между собой, также способностью амортизирования уровня pH. Если концентрация  $H^+$  возрастает, то субстраты могут ее выравнять, привязывая к себе свободные ионы. Вследствие этого уровень pH, в среднем, остается стабильным. Когда выравнивающая и связывающая способности исчерпываются, начинается рост уровня pH. Замеры уровня pH соответственно отстают от реальной ситуации. Это является дешевым методом контроля процесса, но управление процессами опираясь только на замеры уровня pH, является не эффективным [60,68,71]. Наиболее эффективным считается замер буферных свойств.

Для буферного эффекта в первую очередь важным являются аммонийные и карбонатные буферы:



Ион гидрокарбоната + ион водорода

<-> угольная кислота

При активизации карбонатного буфера в кислой среде, при высоком уровне рН, будет задействован аммонийный буфер.

Буферные вещества в большом количестве представлены, например, в навозе крупного рогатого скота, поэтому навоз сглаживает большие колебания уровня рН и хорошо улавливает чрезмерную кислотность.

У возобновляемого сырья, этот очень важный буферный потенциал, наоборот, отсутствует. В общем в данном случае устанавливается более высокий уровень рН, так что буфер аммония играет главную роль. В стабильных процессах брожения уровень рН саморегулируется.

### **1.8.6 Подача питательных веществ**

Для образования собственных клеток бактериям, требуются питательные вещества (растворимые соединения азота, витамины, микроэлементы и минеральные вещества [50,51].

Для ориентировочного значения при смешивания используют следующие соотношения питательных веществ:

1.  $C : N : P = 75:5:1$  или  $125:5$ ;
2.  $C : N = 10:1$  или  $30$ ;
3.  $N : P = 5$ .

Из соотношения углеводов с азотом, видно, что на 1% фосфора подают 5 % азота и 75 % углерода. Наилучшим соотношением углерода к азоту считается 30:1 и 10:1. Если соотношение упадет до 8:1, то замедлится развитие бактерий, в связи с большим содержанием аммония в субстрате. такой расчет соотношений веществ можно проводить для каждого вида или смеси субстратов [3].

Тяжелые металлы, в малом количестве, благотворно влияют на жизнедеятельности бактерий, однако они же могут оказывать замедляющее, и даже токсическое влияние на микроорганизмы.

Никель, молибден, железо, кобальт и вольфрам – наиболее необходимые бактериям металлы для образования ферментов [6,12,27].

В принципе, образования биогаза может протекать, как с широким

спектром питательных веществ и высокой их концентрацией, так и наоборот. Так как известно, что через определенное время бактерии все равно приспосабливаются даже к неблагоприятным условиям обитания.

### **1.8.7 Максимальный выход газа**

Большое разнообразие составов субстратов не позволяет привести точные данные о максимально возможном получении биогаза для всех условий протекания процесса разложения.

В среднем при температуре процесса порядка  $32\text{ }^{\circ}\text{C}$  выход газа по отношению к количеству разложившейся биомассы, будет лежать в пределах  $Y_{\text{общ}} = 0,8 - 1,0\text{ м}^3$  на 1 кг разложившейся биомассы [3].

Выход же газа, отнесенный к единице, закладываемой в метантенк биомассы, будет порядка  $Y_{\text{общ}} = 0,4 - 0,6\text{ м}^3$  на 1 кг заложенной в реактор биомассы. Следовательно, в зависимости от доли способной к сбраживанию биомассы в метантенке разлагается около 40 - 50 % всей помещенной массы. Для производства определенного объема газа из разного рода органики, требуется специфическая для продолжительности процесса брожения каждого из них, при этом выход газа в единицу времени первое время увеличивается, а затем по достижению максимального значения постепенно уменьшается [37,39,42].

### **1.8.8 Технологическое время брожения**

Выбирая продолжительность пребывания органической массы в реакторе отталкиваются, в первую очередь, от скорости реакции (индивидуальна у каждого конкретного вида субстрата), во вторую, от назначенной степени разложения, она в свою очередь определяет выход биогаза и ослабление интенсивности запаха забродившей биомассы. Также, учитывается, что чем дольше пребывает субстрат в реакторе, тем больше будет содержание метана в общем объеме выделенного биогаза. Одновременно с этим уменьшится содержание  $\text{CO}$ , что существенно улучшит качество произведенного газа.

Следовательно, для выбора оптимального времени пребывания органики в биореакторе, также нет универсальных рекомендаций [47].

### 1.8.9 Свойства биогаза

Биогаз очень ценный энергоноситель, его можно использовать повсеместно (как и природный газ) и очень эффективно. Теплота сгорания биогаза (зависит от содержания метана) от 5 до 7 кВт·ч на 1 м<sup>3</sup> биогаза. В среднем порядка 6,0 кВт·ч на 1 м<sup>3</sup>. По сравнению с метаном, пропаном и природным газом, биогаз имеет значительно более низкую теплоту сгорания, но в два раза выше чем у водорода (таблица 1.6).

Плотность биогаза 1,2 кг/м<sup>3</sup>, поэтому он легче воздуха, это очень удобно, при эксплуатации биореакторов поскольку вытекающий биогаз собирается не дне реакторов, а вытекает вверх и быстро смешивается с воздухом, что уменьшает взрывоопасность процесса. Температура возгорания составляет 700 °С, что также является преимуществом с точки зрения безопасности [3].

Максимальная скорость воспламенения в воздухе - 0,25 м/с, поэтому биогаз относительно безопасен при пожаре. Так как в биогазе присутствует СО<sub>2</sub>, у него очень узкие пределы зажигания, а значит его горение возможно лишь когда частица газа, в смеси газ-воздух, составляет от 6 до 12%. По сравнению с биогазом, широко распространенные пропан и водород имеют гораздо более широкие пределы воспламенения, и более высокий риск опасности.

Таблица 1.6 - Основные характеристики горючести биогаза и других газов

Газ		Биогаз	Природный газ	Пропан	Метан	Водород
Теплота сгорания	кВт·ч/м <sup>3</sup>	6	10	26	10	3
Плотность	кг/м <sup>3</sup>	1,2	0,7	2,01	0,72	0,09
Соотношение плотности с воздухом		0,9	0,54	1,51	0,55	0,07
Температура воспламенения	°С	700	650	470	650	585

Продолжение таблицы 1.6

Максимальная скорость распространения пламени в воздухе	м/с	0,25	0,39	0,42	0,47	0,43
Предел воспламенения, газа в воздухе	%	6-12	5-15	2-10	5-15	4-80
Теоретическая потребность в воздухе	м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup>	5,7	9,5	23,9	9,5	2,4

Стехиометрическое соотношение у биогаза составляет порядка 5,7 м<sup>3</sup> воздуха на 1 м<sup>3</sup> биогаза. Однако на практике требуется избыток воздуха в 20-30% [36,55,75,76].

То есть сам по себе биогаз гореть не станет, однако следует быть крайне осторожным и следить, чтобы биогаз не вытекал через отверстие, так как, это может привести к образованию горючей смеси газ-воздух.

## **1.9 Использование биогаза**

### **1.9.1 Сжигание**

Применение биогаза непосредственно ради получения термоэффекта при помощи горелки Бунзена или паяльной горелки, например для приготовления пищи или использование для инфракрасного излучателя в отделении для выращивания сельскохозяйственных животных в России почти не практикуется – несмотря на большой КПД и небольшие вредные выбросы. Приготовление пищи на биогазе широкое распространение получило в развивающихся странах (Индия, Китай, Непал и др.), в первую очередь из-за сокращения запасов горючей древесины. Основной проблемой при использовании биогаза в инфракрасных излучателях, заключалась в колебаниях в качества газа (плохой его отчистки от сероводорода), что приводило к техническим проблемам по причине коррозии [3].

### **1.9.2 Отопление биогазом**

Отопление биогазом различается в основном, типом горелок применяемых в котлах. Различают котлы с атмосферными горелками мощностью 10-30 кВт и паяльные горелки для большей мощности. Котлы отопительные, рассчитанные на работу 1 буферного накопителя, обеспечивающего тепло для дома, водоснабжения, ферментатора и по возможности сушки зерна и соломы. Бюджетной альтернативой отопительному котлу служит газовая колонка (перколятор), работающий на одной атмосферной горелке. Перколятор в основном применяется для обогрева водоснабжения, индивидуального или промышленного [1,44,70,81].

Производительность отопительных приборов составляет от 5 до 30 кВт. На всех обогревательных приборах устанавливается предохранитель от возгорания и реле контроля пламени, для предотвращения вытекания несожженного биогаза.

Применяемых в настоящее время пленочных газгольдеров небольшого давления вполне достаточно для работы газовых и дизельных двигателей, но недостаточно для отопительных котлов и газовых колонок. В таком случае применяют компрессор, имеющий возможность регулировать давление. Широкое применение, для данных целей, получили кольцевые компрессоры работающие тихо и с небольшим износом. Согласно нормам безопасности, компрессоры для подачи газа должны быть газонепроницаемы или находиться в специальной капсуле под давлением.

### **1.9.3 Охлаждение при помощи биогаза**

Для использования избытка тепла в летнее время, применяют генераторы, вырабатывающие электроэнергию-тепло-холод. Тепловая энергия в таких генераторах с помощью адсорбирующих установок модифицируется в холод. Такие установки можно использовать в системах кондиционирования и вентиляции или в промышленных холодильных установках. Основным недостатком, данного оборудования, определившим его нераспространенность, является очень низкий КПД [81].

#### 1.9.4 Подача в сеть общего пользования

Возможность подачи биогаза в сети общественного пользования позволило бы использовать газ там, где он действительно необходим, что существенно улучшило бы общие показатели энергоэффективности.

Директива ЕС по энергосбережению внедрила правовые условия для открытости газотранспортных сетей общественного пользования для поступления в них биогаза и газа из биомассы еще в 2001 г. Однако как и в случае с электроэнергией, существуют ряд препятствий касающиеся транспортировки и потребления биогаза.

В таблице 1.7 [80] приведены качественные характеристики био и природного газов. Из данных приведенных в таблице следует, что биогаз должен содержать высокое процентное соотношение метана и низкое сероводорода, чтобы соответствовать характеристикам природного газа. То есть необходима очистка, сушка биогаза, а также необходимо уравнивать его давление с существующим в газосетях природного газа. Очистка газа – это первичное фильтрование, после которого проводят очистку от серы в специальном устройстве, третьим этапом (в случае удаления углекислого газа сухим способом) проводят обезвоживание и очистку от  $\text{CO}_2$ . Для очистки от  $\text{CO}_2$  или обогащения метана в биогазе обычно применяют следующие методы [58,61,62]:

- метод PSA (Pressure Swing Adsorption);
- метод разделения мембраной;
- промывание под давлением;
- разжижение газа.

Таблица 1.7 - Требования и технические нормы к биогазу для подачи его в общественные газовые сети

Состав неочищенных газов	$\text{CH}_4$ %	$\text{CO}_2$ %	$\text{O}_2/\text{N}_2$ %	Углеводороды** мг/м <sup>3</sup>	$\text{H}_2\text{S}$ мг/м <sup>3</sup>	Фторхлоруглеводород
Свалка	40...60	20...40	Остаток	...300	...400	20...1000
Биогазовые установки*	60...80	20...40	Остаток	-	..8000	-

Продолжение таблицы 1.7

Очисные сооружения	60...70	20...40	Остаток	...10	..8000	-
Природный газ Н-область	>96	Специальные нормы отсутствуют	$O_2 < 0,5$	Специальные нормы отсутствуют	<5	***
Природный газ L-область	>90	Специальные нормы отсутствуют	$O_2 < 0,5$	Специальные нормы отсутствуют	<5	-

*\*на сельскохозяйственных предприятиях; \*\* углеводороды; \*\*\* очистные и биогазы: не требуют норм; свалочные газы: подача в общественные газопроводы запрещена.*

Метод промывания, наиболее широко распространенный способ очистки биогаза в Европе (в Швеции до 80% биогаза очищают по этой технологии) базируется на разнице в растворимости  $CO_2$  и  $CH_4$  в воде.

$CO_2$  под давлением растворяется лучше, чем  $CH_4$ , тем самым может быть отсепарирован.

При использовании «сухого метода» биогаз компрессором (при давлении (8-10 бар) прессуют в адсорбирующий резервуар. В котором  $CO_2$  остается на сите (молекулярные сита на основе углерода) или активированном угле и тем самым отделяется.

Также существуют технологии сепарации отдельных составляющих газа при помощи мембран. Мембраны обладая разной пропускной способностью позволяет сепарировать как  $CO_2$  и  $SO_2$  вместе, так по отдельности.

Существует метод сепарация биогаза при низких температурах, где используют разницу в температуры кипения у разных компонентов биогаза, чтобы разделять (дистилляция). Преимуществом метода, является высокая степень очистки. В зависимости от методов очистки, используют также другое дополнительное оборудование:

- компрессорная станция;

- выверенный газомер;
- выверенный прибор измерения качества;
- подводящая линия биогаза к линии газопровода с природным газом;
- смесители газов, позволяющие подмешивать высококалорийные газы, например, пропана или бутан.

Однако рентабельность очистки биогаза, оправдывается только при большом расходе топлива, для газовых реакторов, производительностью не менее 250 м<sup>3</sup>/час. Поэтому на практике применяется крайне редко. Первая установка подающая очищенный биогаз в общественные газовые сети была запущена в 2005г. в Австрии.

### 1.9.5 Биогаз как топливо

Биогаз для применения в качестве топлива ДВС требует тщательной очистки, до уровня природного газа, так как двигатели рассчитаны на него.

Содержание метана, при этом должно быть не менее 85% и 14% азота. Также немаловажным фактором, является качество биогаза, которое должно быть постоянным. Эти обязательные условия необходимы, для предотвращения повышенных концентраций NO<sub>x</sub>. В таблице 1.8 приведены данные по составу природного газа для использования в транспортных средствах [1,10,28,29].

Таблица 1.8 - Состав природного газа для использования в транспортных средствах

Метан	>96%	Меркаптан	<15 мг/Нм <sup>3</sup>
Углекислый газ	<3%	Сероводород	<5 мг/Нм <sup>3</sup>
Кислород	<0,5	Влага (точка росы под давлением)	<-10 до -30 °С
Азот	Сведения отсутствуют	Пыль	(<-1µм)
Общее количество серы	<120 мг/Нм <sup>3</sup>	Масло	<100-200 ppm

В 2015 году в мире насчитывалось около 3,8 млн транспортных средств, работающих на биогазе. Основным достоинством использования биогаза

является уменьшение выброса CO<sub>2</sub> и снижение импортирования энергоносителей, а также снижение выбросов метана. В таблице 1.9 приведены характеристики различных двигателей при использовании в них биогаза, в качестве топлива. [47]

Наиболее передовой страной в мире, в области использования автомобилей на биогазе, является Швеция. Только в одном Гетеборге зарегистрировано более 3000 таких автомобилей. В городе насчитывается 19 биогазовых заправочных станций. Такие большие объемы потребления биогаза стали возможны после строительства в Швеции самой большой в мире биогазовой станции, мощностью 1600 м<sup>3</sup>/ч.

Таблица 1.9 - Характеристики для разных двигателей и процессы сгорания в них для биогаза

Примечания	Двигатель на бензине по принципу газ-Отто	Двигатель на дизеле по принципу газ-Отто	Двигатель на дизеле Воспламенение от впрыскивания топлива
Цена	Низкая	Очень высокая	Высокая
Электр. КПД	20 – 25%	30 – 35%, от 300 кВт более чем 35%	30 – 40%, одинаковая для всех классов мощности
Срок эксплуатации	Низкий	Средний	Средний
Создаваемый шум	Средний	Сильный	Сильный
Сажа в отработанных газах	Отсутствует	Отсутствует	Присутствует
Техническое обслуживание	Высокое	Небольшое	Высокое
Потребление зажигательного топлива	Нет	Нет	Да

### Продолжение таблицы 1.9

Возможная замена топлива в случае отсутствия биогаза	Сжиженный газ (бензин)	Сжиженный газ	Мазут, дизельное топливо
------------------------------------------------------	------------------------	---------------	--------------------------

### 1.10 Литературно-патентный поиск по конструктивным особенностям газовых установок

Все известные биогазовые установки схожи по своей структуре. Основные элементы оборудования:

- реактор для органической массы (метантенк);
- газгольдер;
- нагревательное устройство;
- устройство для перемешивания субстрата.

Биогазовые установки различают по следующим критериям:

- форма реактора;
- способ перемешивания биомассы;
- способ подогрева биомассы

Реактор может иметь разнообразные формы, которые представлены на рисунке 1.10 [43]. Каждый из видов имеет, как преимущества, так и недостатки, однако наибольшее распространение получили метантенки лаконичной цилиндрической формы.

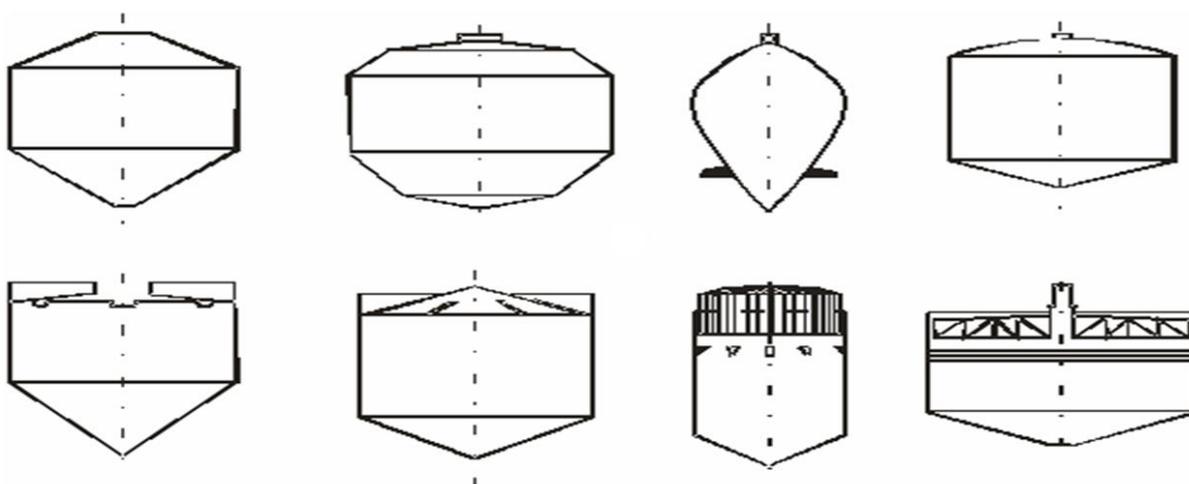


Рисунок 1.10 - Наиболее распространенные типы резервуаров метантенков

### **1.10.1 Отличительные черты броидильной камеры (метантенка)**

- Абсолютная герметичность без возможности газообмена и протечек жидкости через стенки.
- Во-вторых, надежная теплоизоляция.
- В-третьих, коррозионная стойкость. Внутреннее пространство камеры должно быть легкодоступным для обслуживания, обязательны простые устройства для загрузки камеры биомассой от продуктов жизнедеятельности человека, животных и сельскохозяйственных отходов.
- Метантенки часто заглубляют в землю, что обеспечивает хорошую их теплоизоляцию и герметизацию. В реакторе обязательно наличие надежной вентиляции.
- Загрузка происходит автоматически путем сброса оборотной воды с органическими отходами.
- Разгрузка сброженной массы осуществляется оригинальным шнековым и тормозным устройствами (см. приложение) [40,48,50].

### **1.10.2 Нагревательное устройство**

Подогрев в метантенках для активации процесса брожения осуществляется с помощью теплообменников, через которые пропускают горячую воду. Температура воды в теплообменнике не должна превышать 60 °С[40,48,50].

### **1.10.3 Приспособление для перемешивания и разгрузки**

Для эффективной работы метантенка в нем предусмотрено перемешивающее биомассу устройство, которое также служит для предотвращения коркообразования на внутренней поверхности реактора. Конструкция мешалки оригинальна и представляет собой полый вал, с билами и шнеково-тормозящим устройством (см. приложение) [38,40,48,50].

### 1.10.4 Газгольдер

Этот аппарат выполнен в виде надстройки на бродильную камеру. Биогазовая установка (метантенк) производит газ, который состоит в основном из метана и схожий по составу с природным газом. В таблице 1.10 представлены сравнение состава и характеристик био- и природного газа в % содержании [40,48,50].

Таблица 1.10 - Составы био- и природного газов

Компонент	Единица измерения	Природный газ	Биогаз
CH <sub>4</sub>	%	85 - 95	55 - 80
CO <sub>2</sub>	%	<1,0	20 - 45
N <sub>2</sub>	%	4 - 12	-
O <sub>2</sub>	%	<0,5	-
H <sub>2</sub>	%	-	<1,0
H <sub>2</sub> S	%	<5	<3
NH <sub>3</sub>	мг/м <sup>3</sup>	-	<450
Влага	-	Точка росы 10°	Насыщенный
Плотность	кг/м <sup>3</sup>	0,82	1,0 - 1,2
Калорийность	МДж/м <sup>3</sup>	32 - 35	20 - 29

Как видно из таблицы 1.10 в составе биогаза присутствует углекислый газ (CO<sub>2</sub>), поэтому после очистки биогаза от CO<sub>2</sub> получается биометан. Биометан - абсолютный аналог природного газа, отличие только в происхождении.

### 1.10.5 Ферментатор горизонтального типа

В данной работе, с целью выявления передовых конструкторских решений, при проектировании комплексного оборудования для утилизации бытовых отходов с получением биогаза, был проведен патентный поиск, что позволило выделить некоторые технические решения рассмотренные в п.

#### 1.10.5 и 1.10.6.

Установка анаэробного разложения органических отходов [53] (патент РФ № 2427123), состоящая из связанных между собой узлов: загрузки биомассы, подогревателя, выгрузки шлама, реактора с мешалкой и двигателем (длина лопастей мешалки больше уровня биомассы), газгольдера. Подогреватель связан с реактором заслонкой и выполнен с двигателем и мешалкой, ось вращения мешалки перпендикулярна оси подогревателя, узел загрузки биомассы связан с подогревателем. Установка, также включает измельчитель, связанный с загрузочным устройством. Все электродвигатели (подогревателя, измельчителя, реактора) однофазные.

Ферментатор представляет собой стальную трубчатую емкость, разделенную на три части: загрузочную, рабочую и выгрузочную с перегородками-сегментами, не достигающими до дна емкости. Горизонтальная мешалка установлена внутри рабочей части, подключенной к газгольдеру и смещена от центра емкости. Рабочая часть трубчатой емкости разделена на левую и правую секции перегородкой с отверстием, автоматически закрывающимся и открывающимся задвижкой с поплавком, в зависимости от уровня находящегося в емкости, в момент выгрузки, ферментатора. Торцевая стенка правой секции рабочей части дополнительно снабжена резервуаром с горячей водой, предназначенном для нагрева в этой секции жидкого ферментатора до температуры 54-56°C для проявления действия термофильных бактерий, а в левой секции до 30-42°C для развития мезофильных бактерий. Левая и правая емкости рабочей секции связаны общим газгольдером из немагнитного материала, в котором использовано уплотнение (магнитожидкостное). Задвижка для автоматического открывания и закрывания отверстия в перегородке, связана с поплавком тягой.

Ферментатор (рисунок 1.11) состоит из 1 - корпуса ферментатора, (стальная металлическая трубчатая емкость); 2 - перегородка-сегмент между загрузочной частью и рабочей частью; 3 - рабочая часть (состоит из 2 секций А и Б); 4 - газгольдер плавающий; 5 – поплавок (герметичная емкость с воздухом); 6 - задвижка, связанная с поплавком; 7 - перегородка, для деления рабочей части на секции А и Б; 8 - отверстие для переливания

жидкой биомассы; 9 - ось мешалки, с закрепленными на ней лопастями; 10 - лопасти для смешивания жидкой биомассы; 11 - загрузочная секция, соединенная с емкостью А; 12 - биогаз; 13 - трубопровод для регулировки уровня жидкой биомассы; 14 - резервуар с горячей водой; 15 - кран; 16 - трубопровод для слива с емкости Б отработанной биомассы; 17 - склеп для хранения биомассы; 18 - крышка с упорами; 19 - подложка ферментатора; 20 - уплотнение (магнитожидкостое) - смесь жидкого масла с мелкодисперстным порошком из магнитного материала; 21 - датчик для измерения температуры в емкости Б; 22 - датчик для измерения температуры в емкости А; 23 - жидкая биомасса.

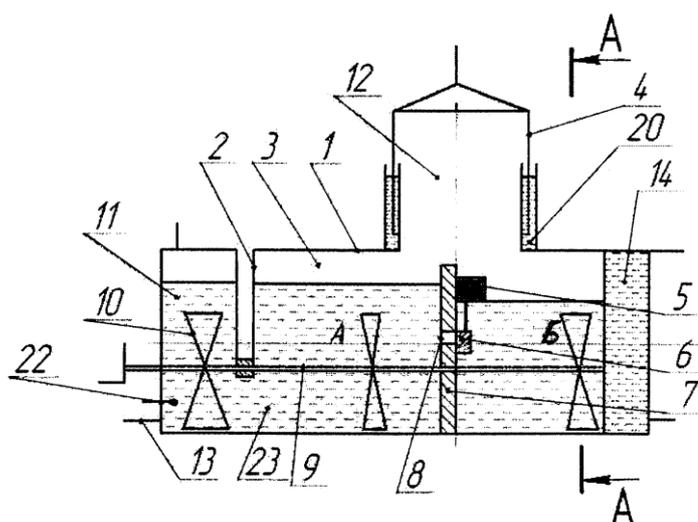


Рисунок 1.11 - Ферментатор горизонтального типа

*Работает ферментатор следующим образом*

Для запуска ферментатора (рисунок 1.11, 1.12) жидкая биомасса 23 загружается в левую А и правую Б секции рабочей части 3 через загрузочную емкость 11 до вершины конуса плавающего газгольдера 4, закрепленного в исходном положении. После производится слив жидкой биомассы (фиг.1) через трубопровод 13 и 16 при открытом кране 15 до верхнего положения поплавка 5, обеспечивающем перекрытие отверстия 8 задвижкой 6. В результате в пространстве газгольдера и частью емкостей создается вакуум, этим достигаются необходимые условия для анаэробного брожения биомассы и выделение из него биогаза. В резервуар 14 подается горячая вода (80...90 °С), тепло от которой через стальную стенку с высокой теплопроводностью

передается секции Б, а затем через перегородку 7 с низкой теплопроводностью - секции А. Вращая ось 9 мешалки, лопасти 10 перемешивают биомассу и выравнивают температуру по всему объему секции Б до 52...54 °С, а в левой секции А до 30...42°С. Величина нагрева измеряется датчиками 21, 22. При термофильном режиме жидкая биомасса работает без добавок и замены до 10 суток, а при мезофильном режиме до 20 суток. В связи с этим, добавляя порции жидкого ферментатора из левой секции в правую в автоматическом режиме (через отверстие 8), процесс образования метана получается непрерывным.

Автоматическое открытие и закрытие отверстия 8 в перегородке 7 осуществляется одновременно при опускании уровня жидкого ферментатора 23 в момент выгрузки его из правой секции Б по трубопроводу 16 и добавлением свежей порции биомассы из левой секции А посредством действия поплавка 5 через тягу на задвижку 6.

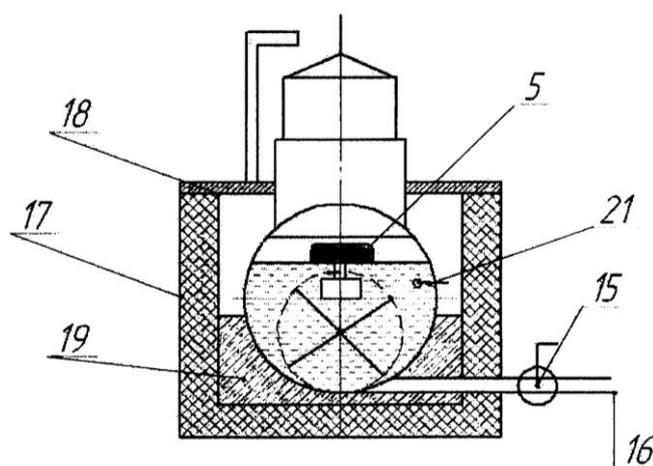


Рисунок 1.12 - Ферментатор (вид спереди)

Для высокой производительности метантенка и поддержания стабильности процесса осуществляется периодическое перемешивание жидкой биомассы мешалкой с лопастями 10. Для обеспечения герметичности плавающего газгольдера 4 применяется магнитожидкостное уплотнение 20, в виде стальной ванны, наполненной смесью жидкого масла с дисперсным магнитным порошком. При подъеме газгольдера 4 под давлением биогаза 12, вследствие того, что газгольдер выполнен из немагнитного материала, смесь магнитной жидкости остается на стенках стального корпуса 1 и не

пропускает биогаз.

Разделение рабочей секции перегородкой с автоматическим открыванием и закрыванием отверстия на две емкости упрощает конструкцию и создает условия для полного использования работы как термофильных, так и мезофильных бактерий, что увеличивает объем биогаза и соответственно производительность биореактора.

Недостатком данной конструкции является отсутствие автоматической подачи субстрата внутрь метантенка, а также перемешивание субстрата происходит вручную.

### **1.10.6 Биогазовая установка вертикального типа**

Изобретение [54] относится к сельскому и коммунальному хозяйствам. В основном предназначено для использования в индивидуальном жилом секторе сельских населенных мест, для жителей содержащих сельскохозяйственных и домашних животных, приусадебный участок и постоянно имеющих органические отходы различного вида, которые могут быть применены для производства биогаза в бытовых целях и удобрений для собственных нужд. Биогазовая установка (патент РФ №2228583) состоящая из мокрого газгольдера переменной емкости и метантенка для поочередного пофазного анаэробного брожения измельченных, разжиженных органических отходов (рисунок 1.13). Корпус газгольдера состоит из днища и подъемного газового колокола. Резервуар метантенка состоит из конического купола, расположенного над ним газосборника и коаксиально присоединенную снизу к куполу разделительную перегородку, в виде усеченного конуса с направленным вниз основанием, которая делит метантенк на внутреннюю и внешнюю камеры реактора. Установка содержит патрубок ввода в метантенк измельченных и разжиженных органических отходов с тройником сверху и патрубки вывода из метантенка осадка сброженной массы и биогаза.

Патрубки метантенка встроены в корпус газгольдера, причем патрубок вывода из метантенка осадка сброженной массы снабжен отводом, а патрубок вывода биогаза выполнен в виде коаксиально установленной и закрепленной центрирующими держателями трубы.

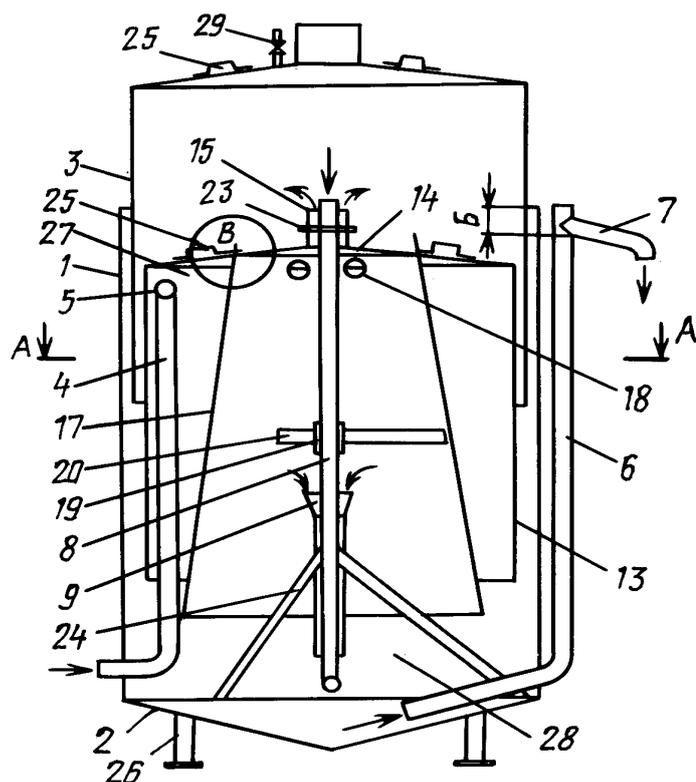


Рисунок 1.13 - Вертикальный метантенк

Резервуар метантенка без его днища с боковой стенкой, коническим куполом и газосборником над ним и с коаксиально присоединенной снизу к куполу концентрической разделительной перегородкой закреплен своим газосборником на коаксиально установленной в корпусе газгольдера трубе патрубка вывода биогаза. Предлагаемый Метантенк прост в изготовлении и обслуживании и доступен к использованию жителями частного сектора.

Изображенный на рисунке 1.14 метантенк содержит корпус газгольдера 1 с коническим днищем 2 и с подъемным газовым колоколом 3, в корпус 1 которого неподвижно установлены и закреплены патрубки метантенка, включая патрубков ввода во внешнюю камеру резервуара метантенка измельченных и разжиженных различных отходов 4 с тройником 5 сверху, патрубки вывода сброженного осадка 6 с отводом 7, отметка порога присоединения которого установлена ниже отметки уровня верха корпуса 1 на величину “Б”, и патрубки вывода биогаза 8, вертикально коаксиально установленный в виде центрирующей трубы, забора сбразживаемой массы на перемешивание и подогрев 9, напорный патрубок возврата сбразживаемой

массы 10, патрубков опорожнения корпуса 1 от сбрасываемой массы с вентилем 11 и люк 12.

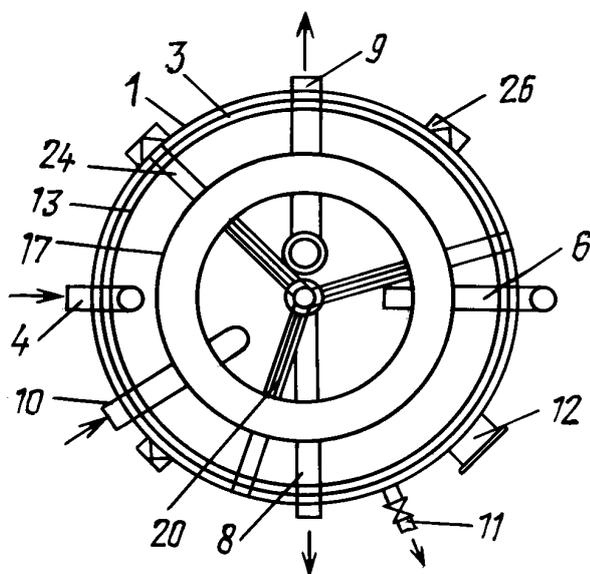


Рисунок 1.14 - Метатенк горизонтального типа (вид сверху)

Сверху на закрепленные в корпусе 1 патрубки установлен резервуар метантенка без его днища с боковой стенкой 13, коническим куполом 14 с газосборником 15 и с присоединенной снизу к куполу 14 съемными штифтами 16 концентрической разделительной перегородкой 17, в верхней части которой выполнены отверстия 18, а внутри установлена центрирующая втулка 19, закрепленная распорками 20 со стенкой разделительной перегородки 17, тогда как сверху разделительной перегородки 17 выполнены проушины 21 с отверстиями для штифтов 16, устанавливаемых после ввода проушин 21 в щелевые пазы 22, выполняемые в коническом куполе 14.

Приведенная выше сборка деталей метантенка установлена на трубе патрубка вывода биогаза 8 и соединена с ней съемным штифтом или фиксатором 23, вводимым в соосно выполняемые отверстия в стенках газосборника 15 и трубы патрубка вывода биогаза 8, центрирующее положение которой фиксируется распорками 24. Подъемный газовый колокол 3, установленный в корпус 1 между ним и боковой стенкой метантенка 13 в сбрасываемую в установке разжиженную и измельченную органическую массу, служащую гидрозатвором, снабжен роликами, перемещаемыми по установленным на корпусе 1 направляющим /на чертеже не показаны/, и

ручками 25 для его подъема и съема при выполнении метантенков малого объема емкостью до 2-х кубометров. Такие же ручки 25 выполнены и на куполе 14, что обеспечивает возможность сборки и разборки малоемких метантенков вручную. Устойчивость положения метантенка обеспечивается выполнением снизу его корпуса 1 опор 26, если он изготовлен из листовых материалов. При изготовлении корпуса биогазовой установки из бутового камня, кирпича, бетона или железобетона опорой служит грунт.

Работа биогазовой установки, в зависимости от вида и качества биомассы, необходимости иметь максимальную производительность биогаза или максимальный выход веществ в сброженной массе (удобрений), может осуществляться в широком диапазоне, при температурах брожения 10 - 58 ° С, что назначается спецификацией конкретного использования метантенка.

Анаэробное сбраживание различных биомасс (в виде отходов жизнедеятельности домашних животных, птиц, растительных отходов приусадебного участка в предложенной установке осуществляют ниже описанным образом.

Предназначенный к анаэробному сбраживанию в установке различных органический субстрат измельчают до частиц фракцией порядка 20 мм с последующим их разжижением до влажности 92% и получением путем перемешивания однородной пульпы.

При вводе установки в эксплуатацию первоначальное разбавление измельченных органических отходов может быть осуществлено преимущественно нагретой до 40-45 ° С водой с доливом в приготовленную пульпу специальной бактериальной закваски или сброженную массу из другого биогазовой установки или метантенка, при отсутствии которых в качестве закваски могут быть использованы свежие экскременты крупного рогатого скота или лошадей в количестве до 15% объема загружаемой в установку пульпы. Для ввода установки в эксплуатацию объем впервые приготавливаемой пульпы должен быть не менее 1,5 объема загружаемой установки, т.к. на последующую загрузку установки потребуются пульпа в количестве до 10% емкости установки для нескольких его загрузок и получения активного сброженного осадка для приготовления разбавителя

/рециркулята/ измельченной органики вместо воды, что обеспечит также обсеменение измельченной органики сбраживающими микроорганизмами до поступления пульпы в установку, ускорит сбраживание органики в установке.

Загружаемая в установку пульпа по патрубку 4 и его тройнику 5 вводится двумя разнонаправленными потоками во внешнюю камеру 27, обеспечивая перемешивание загружаемой пульпы со сбраживаемой в камере 27 массой, вытесняя при этом вниз во внутреннюю камеру 28 часть ранее загруженной в камеру 27 пульпы, которая подверглась воздействию содержащихся в камере 27 симбиоза расщепляющих /гидролизующих/ микроорганизмов, обеспечивая в первой фазе анаэробного сбраживания при рН менее 7,2 разрушение сложных органических соединений с образованием плотных жирных кислот и аминокислот. Во внутренней камере 28, в которой во второй фазе анаэробного сбраживания из поступающей из камеры 27 массы метаногенерирующими микроорганизмами осуществляется выработка биогаза со значительным содержанием метана, завершается анаэробное сбраживание органики, и образуемый в камере 28 биогаз устремляется вверх, где к нему через отверстия 18 в разделительной перегородке 17 поступает тощий биогаз из камеры 27 и их смесь, осуществляя “кипение” и препятствуя тем самым образованию “корки” у основания газосборника 15, выходит через верх газосборника 15 в подколокольное пространство подъемного газового колокола 3 и затем по трубе патрубка вывода биогаза 8, что на фиг.1 показано стрелками, поступает к потребителю.

Одновременно с поступлением сбраживаемой массы из камеры 27 в камеру 28, из камеры 28 по патрубку 6 и его отводу 7 в сетчатое поворотное ведро разделителя, что показано на фиг.4, выливается осадок сброженной массы, количество которой примерно равно количеству загружаемой в установку свежей пульпы.

Залив в установку по патрубку 4 приготовленной из измельченной и разжиженной органики свежей пульпы может осуществляться диафрагменным насосом с ножным приводом или ручным поршневым насосом, например марки БКФ-4. Эти же насосы используются для периодического перемешивания сбраживаемой во внутренней камере 28

массы с забором ее через патрубок 9 и возврата в камеру 28 с перемешиванием под напором через патрубок 10.

Для упрощения удобства обслуживания установки целесообразно объем поворотного сетчатого ведра (рисунок 1.15) выполнять равным или несколько большим суточного объема загружаемой в установку свежей пульпы, что обеспечит эффективный суточный отстой в сетчатом поворотном ведре осадка биомассы на жидкую и густую фракции, первая из которых является разжижителем и обсеменителем микроорганизмами измельченных органических отходов, а вторая - удобрением. Излишек жидкой фракции для разжижения измельченной органики может также использоваться в качестве удобрения самостоятельно или с разбавлением водой при поливе.

Для нужд частного сектора описываемая биогазовая установка может изготавливаться различных размеров, емкостью реактора 1-10 м<sup>3</sup>. Биогаз производимый данной установкой может быть использован в качестве топлива для бытовых газовых плит, проточных и емкостных газовых водонагревателей, а также для систем отопления, кондиционирования и вентиляции.

Биогазовое оборудование может быть изготовлено в сборно-разборном исполнении основных его составляющих узлов, что позволяет вручную производить сборку-разборку, регулировку, чистку (например от длинных всплывших неизмельченных веток, стеблей растений и стружки хвойных деревьев).

Недостатком данной биоэнергетической установки является совмещение функционально обособленных фаз анаэробного сбраживания, путем ввода в реактор свежих разжиженных органических отходов с их общим перемешиванием, что не только замедляет действие гидролизующих микроорганизмов в проведении необходимого выполнения первой фазы анаэробного сбраживания с разрушением сложных соединений на более простые с образованием жирных кислот и аминокислот, но и ухудшает также и условия в выполнении второй фазы анаэробного сбраживания по выработке метаногенирующими бактериями горючего биогаза, не позволяет эффективно использовать анаэробный процесс сбраживания.

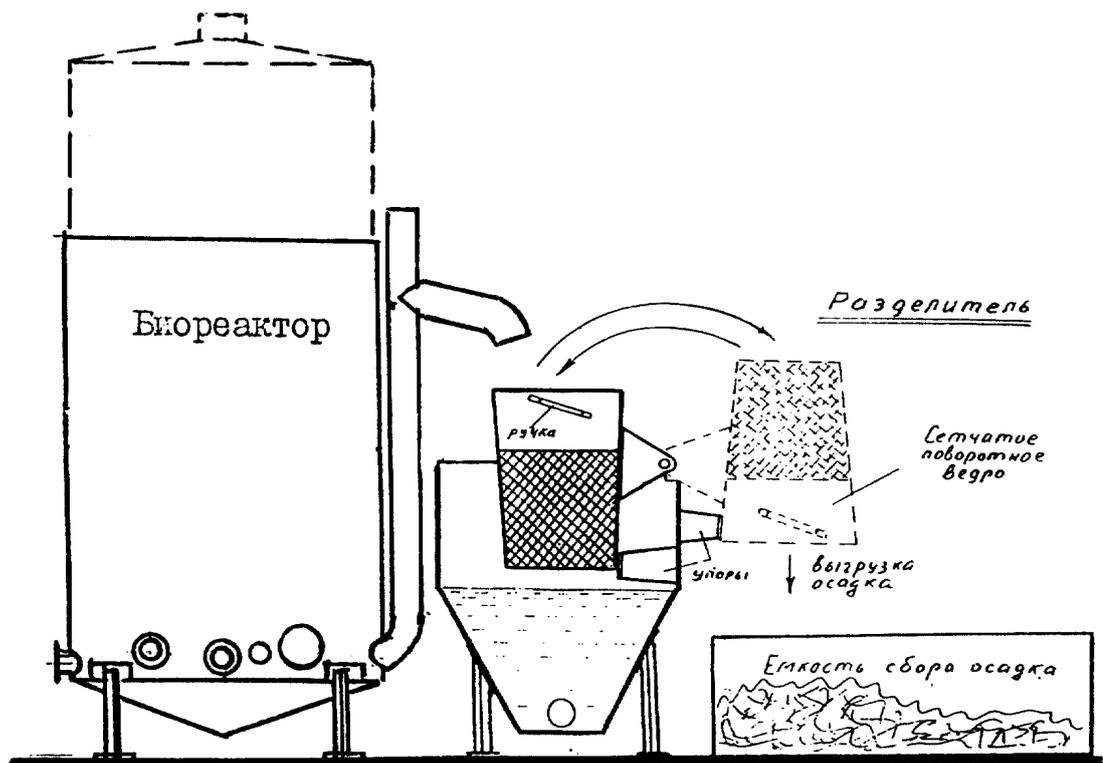


Рисунок 1.15 - Схема выгрузки

Недостатком известной биоэнергетической установки является и то, что выполнение обособленного вокруг корпуса бродильной камеры кругового водяного канала-резервуара для гидрозатвора подъемного колокола газгольдера усложняет изготовление и обслуживание установки.

## ГЛАВА 2. ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ КОМПЛЕКСНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ УТИЛИЗАЦИИ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ ИНДИВИДУАЛЬНОГО ЖИЛОГО ДОМА

### 2.1 Назначение и устройство основных узлов комплексной установки

Корпус (поз. 3, Схема переработки ТБО, см. ПРИЛОЖЕНИЕ – далее «схема») - представляет собой стальной резервуар диаметром 1500 мм., длиной 4600 мм. и объемом 6 м<sup>3</sup>., с толщиной стенки 30 мм. В верхней части имеется отверстие диаметром 500 мм., предназначенная для установки газгольдера (поз. 15, схема). По осевой линии имеется отверстие диаметром 120 мм. и 300 мм. для установки подшипниковых (поз. 23, схема) и сальниковых (поз. 21, схема) узлов и крепления вала.

Привод (поз. 7, схема) - предназначен для вращения вала (поз. 24, схема) и представляет собой мотор редуктор ЗМП-40 (см. п. 2.1.1). и цепную передачу (поз. 7, схема), который передает вращение валу, мешалке. Мощность привода и цепная передача выбирались исходя из объема заполнения реактора субстратом, учитывая жидкофазное состояние субстрата. Работа привода дискретна в течении 14 суток включается 2-3 раза (во время загрузки) и в период разгрузки в течении 20 минут [13,41,46].

Подшипниковый узел (поз. 23, схема) - представляет собой сваренный стакан в корпус, систему уплотнений, роликовый подшипник закрепленный хвостовой гайкой и шайбой гровера. Подшипник вставляется в корпус подшипника и закрывается фланцем (см. Узел подшипниковый в сборе, ПРИЛОЖЕНИЕ).

Сальниковый узел (поз. 21, схема) - представляет собой набивку по периметру вала и системой уплотнения.

Правая опора - представляет собой систему устройств: сальниковый узел (поз. 21, схема) с уплотняющими втулками, подвесную роликовую систему (поз. 6, схема) с упорными роликами, регулируемые по высоте.

Вал (поз. 24, схема) - представляет собой трубу диаметром 120 мм по всей длине метантенка опирающийся на опоры (поз. 21, 23, схема) с дополнительными опорами с бронзовыми втулками (поз. 22, схема). В третьем отсеке метантенка на валу имеются два отверстия (см. Вал центральный в сборе, ПРИЛОЖЕНИЕ), предназначенные для выгрузки отработанного субстрата через шнек.

Била (поз. 2, схема) - предназначены для перемешивания субстрата и представляют собой изогнутые V-образные пруты расположенные под углом 30 градусов к валу с резьбовым креплением. Заслуживают внимания била расположенные в третьей части метантенка, представляющие собой плоские черпаки с отверстиями, которые при вращении вала забрасывают отработанный субстрат в специальное отверстие вала.

Система выгрузки отработанного субстрата - представляет собой оригинальное решение, полый вал, плоские била с отверстиями и наличие шнека (поз. 8, схема) без привода внутри полого вала с системой торможения.

Газгольдер (поз. 15, схема) - представляет собой герметичный колпак, вставляемый в отверстие в верхней части метантенка с системой масляного затвора [41,46].

Система транспортировки отходов - представляет собой прямоточную трубу между источниками биоотходов и заливным отверстием метантенка. Данная система предложена впервые, транспортировка осуществляется обратной водой. Приводимый в движение насосом (поз. 12, схема) - серийного производства (см. п. 2.1.1).

Измельчитель пищевых отходов (поз. 2, схема) - применяется серийного производства (см. п. 2.1.1).

Система фильтрации (поз. 13, схема), для фильтрации и удаления запаха оборотной воды, — серийного производства (см. п. 2.1.1).

Обратный клапан (поз. 14, схема) - не допускает обратной циркуляции оборотной воды (см. п. 2.1.1)..

Накопитель биогаза (поз. 17, схема) - предназначен для сбора производимого биогаза с системой отделения  $\text{CO}_2$  и сероводорода (см. п. 2.1.1).

Система контроля давления газа (поз. 18, схема) - осуществляется серийным газовым редуктором. При превышении давления газа более 1 атмосферы.

МиниТЭЦ (поз. 19, схема) представляет собой Когенератор (газопоршневую электростанцию) с системой утилизации тепла (см. п. 2.1.1).

Происходит выработка энергии:

- электрической (переменный 3-хфазный ток с частотой 50 Гц);
- тепловой (горячая вода).

Расчетный общий КПД станции может достигать 100%, за счет высокой (до 50 °С) температуры оборотной воды.

Подогреватель биомассы биогазовой установки (поз. 20, схема) выполнен в виде электротенов

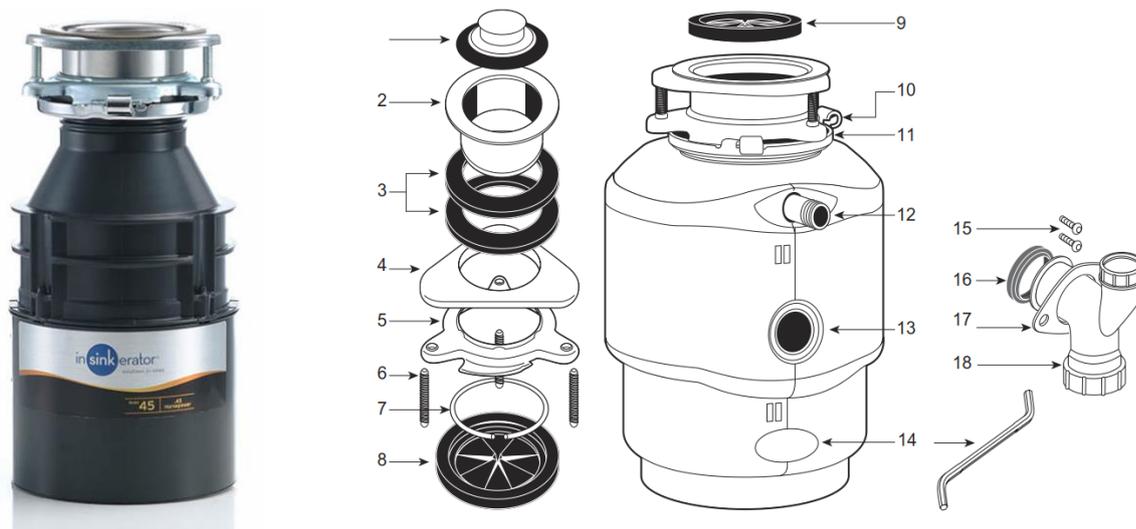
### **2.1.1 Компоненты серийного оборудования комплексной установки для утилизации ТБО**

*Шредер для измельчения биоотходов с кухни Insinkerator 45 (поз. 2, схема)*

Шредер для измельчения пищевых отходов In Sink Erator 45 (рисунок 2.1) предназначен для установки в мойку любого типа с большим (89-90 мм согласно международным стандартам 3 1/2 дюйма) отверстием для слива. Также возможна установка в мойку с отверстием диаметром 50 мм (если мойка изготовлена из нержавеющей стали). При этом необходимо провести развальцовку сливного отверстия.

*Основные характеристики*

- Напряжение питания: 220-240В, 50Гц;
- Мощность - 0.5 л.с.;
- Потребляемая мощность - не более 450 Вт.;
- Двигатель индукционного типа "Dura-Drive".;
- Автоматическая защита от перегрузок;
- Габаритные размеры: высота-318 мм, диаметр: 159 мм, Вес: 7015 гр.;
- Тип загрузки пищевых отходов - непрерывная загрузка.



1. Блокиратор; 2. Фланец раковины; 3. Резиновые прокладки (2);
4. Уплотнитель; 5. Крепежное кольцо; 6. Шурупы (3); 7. Защелкивающееся кольцо; 8. Съемный блокиратор

Рисунок 2.1 - Шредер для измельчения биоотходов с кухни Insinkerator 45

*Насос поверхностный Pedrollo Pkm 60 (поз. 12, схема)*

Предназначен для перекачки воды с небольшим количеством абразивных частиц и химически неагрессивных жидкостей к материалам, из которых сделан насос (рисунок 2.2).

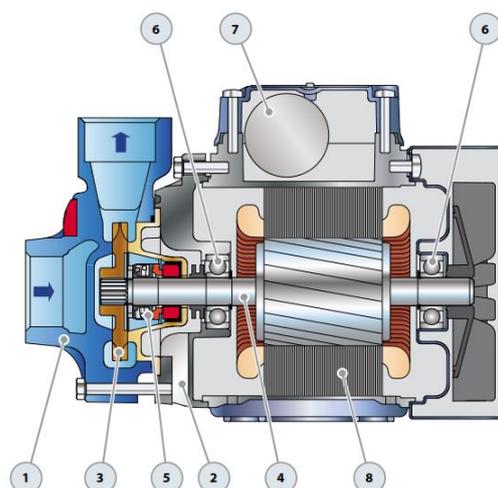
Благодаря их надежности, простоте в эксплуатации и экономичности, эти насосы нашли свое применение, прежде всего в быту, в частности, для подачи воды совместно с небольшими резервуарами автоклавами для орошения огородов и садов. Основные технические характеристики представлены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Технические характеристики насоса Pedrollo Pkm 60

Напряжение (В):	220
Мощность (Вт):	370
Производительность (л/мин):	40
Высота подъема (м):	40
Присоединительный размер ("):	1
Допустимая температура жидкости (С°):	от +1 до +60

Продолжение таблицы 2.1

Манометрическая глубина всасывания (м):	7
Материал корпуса:	чугун
Материал крыльчатки:	латунь
Механические примеси (г/м <sup>3</sup> ):	40
Допустимый диаметр твердых частиц (мм):	1
Вес (кг):	5



1. Корпус насоса; 2. Крышка двигателя; 3. Рабочее колесо; 4. Ведущий вал;  
 5. Механическое уплотнение; 6. Подшипники; 7. Конденсатор;  
 8. Электродвигатель.

Рисунок 2.2 - Насос поверхностный Pedrollo Pkm 60

*Дисковый фильтр ARKAL 1-1/2" Super (поз. 13, схема)*

Предназначен для качественной механической очистки воды, а также жидкостей тех. назначения с посторонними примесями и включениями, такими как песок, окалина и другими частицами размером от 30 мкм.

Изготовлен по технологии Spin Klin, с возможностью автоматического процесса фильтрации реализуемой в объемной дисковой конструкции. С помощью фильтров Arkal достигается максимально возможное удерживание твердых взвешенных частиц при минимальных сервисных мероприятиях (рисунок 2.3).

Наименьший размер задерживаемых примесей определяется исходя из параметрных условий глубины и ширины нарезанных на дисках канавок. В режиме фильтрации вода проходит через суммарную площадь всех фильтров Arkal, которые при сжатии образуют особую сетчатую рабочую поверхность. При автоматической промывке дренажная вода легко удаляет захваченные и удержанные частицы, смывая их с поверхности дисков и тем самым очищая их структуру.

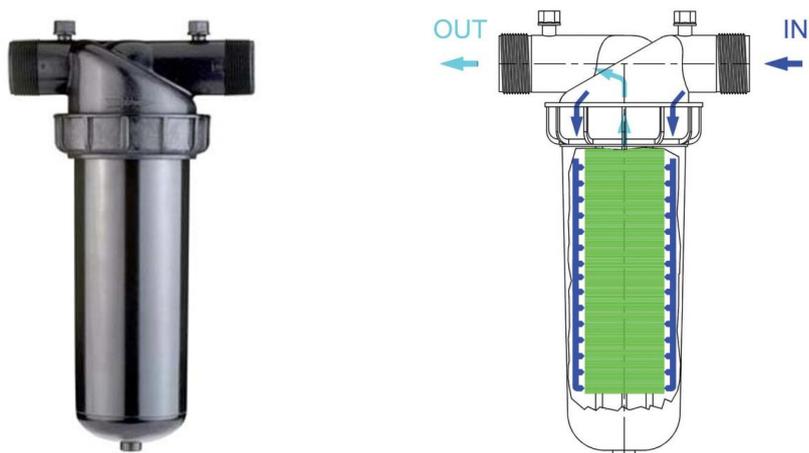


Рисунок 2.3 - Дисконый фильтр ARKAL 1-1/2" Super

#### *Технические характеристики*

Размер (длина*высота*ширина)	200*350*130 (мм)
Размер резьбы	1½" (наружная)
Материал корпуса	Полипропилен
Материал крышки	Полипропилен
Материал уплотнительного кольца	EPDM
Макс. рабочее давление	10 бар
Рабочая температура	2°C - 60°C
Площадь фильтрующей поверхности	501 см <sup>2</sup>
Производительность	12 м <sup>3</sup> /ч
Вес фильтра (пустой /с водой)	1.51 / 2.1

*Мотор-редуктор ЗМП-40 (поз. 7, схема)*

Для вращения вала (поз. 3, сборка) выбираем мотор-редуктор ЗМП-40-56-1,5 (рисунок 2.4) - планетарный, предназначен для снижения частоты вращения и передачи крутящего момента на вал биогазовой установки. Основные технические характеристики мотор-редуктора приведены в таблице 2.2.

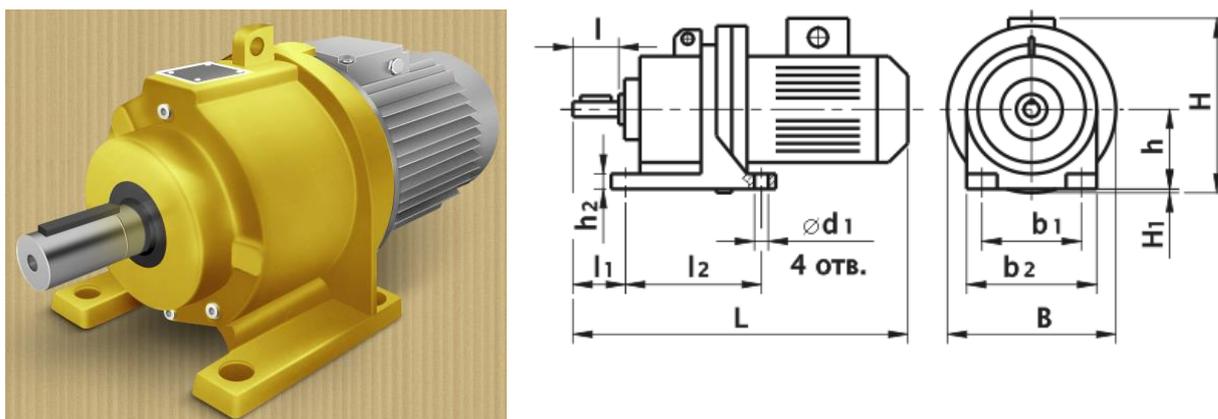


Рисунок 2.4 - Мотор-редуктор ЗМП-40-56-1,5

Таблица 2.2 – Технические характеристики выбираемого мотор-редуктора

Наименование мотор-редуктора	Номинальная частота вращения выходного вала, об/мин	Номинальный крутящий момент на выходном валу, Н·м	Передаточное отношение редукторной	Масса, кг не более	Двигатель	
					Тип	Мощность, кВт
ЗМП-40-56-1,5	56	248	25,6	40	АИР80В4	1,5

*Фильтр грубой очистки (поз. 9, схема)*

Фильтр грубой очистки Bugatt: 170 - 1 1/2" (рисунок 2.5) - применяется для очистки потока от нерастворимых механических примесей в системах трубопроводов горячей и холодной воды, сжатого воздуха, масла и жидких углеводородов.

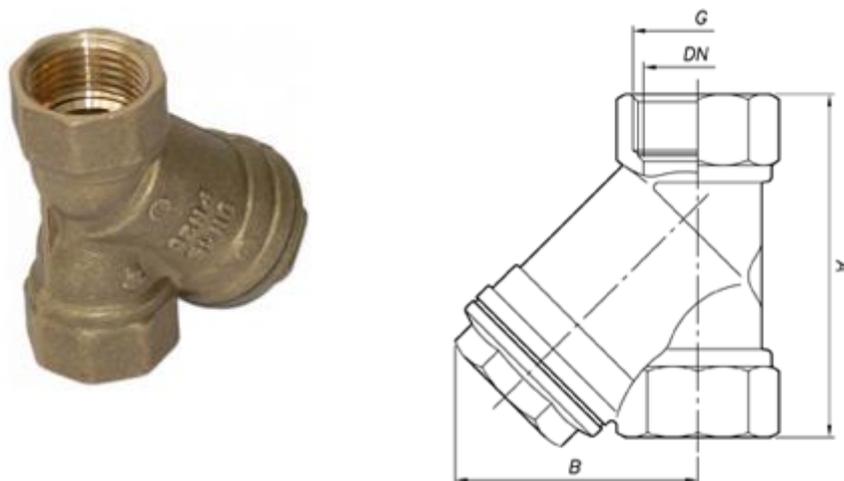


Рисунок 2.5 - Дискový фильтр ARKAL 1-1/2" Super

Корпус: латунь CW617N кованная

Затвор: латунь CW617N кованная

Резьбы: ISO 228/1

Уплотнение затвора: бутадиен-нитрильный каучук/NBR 70SH

Установочная шайба уплотнения: нержавеющая сталь AISI 302

Пружина: нержавеющая сталь AISI 302

Диапазон температур: воздух от -20°C до +110°C, вода 0°C до +90°C

Рабочее давление: до 16 bar

#### *Обратный клапан (поз.14, схема)*

Нерегулируемый обратный клапан RBM 1 1/2" (рисунок 2.6) предназначен для любых систем (промышленных и гражданских, гидравлических и пневматических). Клапан работает в вертикальном, горизонтальном и наклонном положении. Внутренняя конструкция клапана разработана с расчетом превышения давления в сети.

Нерегулируемый обратный клапан является устройством безопасности и устанавливается в разрыв цепи, он обеспечивает движение жидкости лишь в одном направлении и предотвращает ее течение в противоположном. Технические характеристики приведены в таблице 2.3.

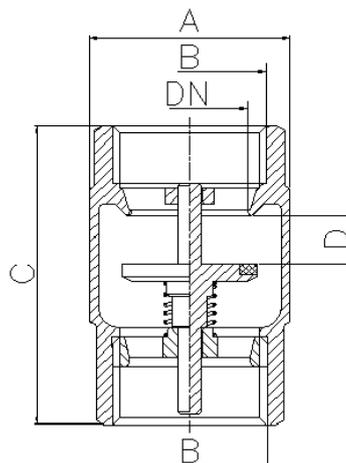


Рисунок 2.6 - Обратный клапан RBM 1 1/2"

Таблица 2.3 – Технические характеристики

Рабочее давление $P_{max}$ :	12 бар
Макс. давление удержания, $P_{max}$ :	12 бар
Мин. давление отпирания $P_{min}$ :	0,04 бар (4 КПа)
Макс. рабочая температура, $T_{max}$ :	0° ÷ 90 °С (вода) -20° ÷ 110°С (воздух)
Рабочая среда:	вода, воздух

*МиниТЭЦ (поз. 19, схема)*

В данной работе предлагается к использованию серийно выпускаемая газопоршневая электростанция малой мощности серии G-Vox изготовленная на базе двигателя MAN, отличающаяся компактным размером, высокой экономичностью и КПД (рисунок 2.7). Общий КПД миниТЭЦ, может достигать 100% (макс, температура оборотной воды 50 °С). Основные технические характеристики ТЭЦ представлены в таблице 2.4.



Рисунок 2.7 - МиниТЭЦ G-Box 20

Таблица 2.4 – Технические характеристики МиниТЭЦ G-Box 20

Топливо	биометан
Уровень шума	макс. 52,0 dB(A)
Двигатель	4 цилиндр. 4-тактный ДВС (MAN)
Скорость вращения	1.500 об/мин
Эмиссии NOx	< ½ TA-Luft
Эмиссии CO	< ½ TA-Luft
Электрическая мощность	10-20 кВт
Тепловая мощность	20-43 кВт
КПД электр.	32,0% (при 20 кВт)
КПД тепловой	73,0%
Общий КПД	105% (T° обратной воды 50°C )
Соотношение электрической / тепловой энергии	0,46

*Мембранные установки подготовки природного и биогаза НПК Грасис (поз. 17, схема)*

Блочно-модульные установки НПК Грасис мембранного типа в основном ориентированы на масштабную нефтегазодобывающую промышленность, однако благодаря модульной конструкции может быть обеспечена любая производительность установки, под любые нужды.

В мембранных установках отсутствуют движущиеся элементы, требующие постоянного контроля со стороны обслуживающего персонала, поэтому они легко адаптируются к изменению требуемого объема подготавливаемого газа и состава исходного газа.

Принцип разделения газовой смеси, посредством мембраны, основан на различающейся скорости проникания компонентов смеси через полимерную мембрану за счет перепада парциальных давлений газа по обе стороны мембраны. Отличительными особенностями новой мембраны, используемой в установке, являются полуволоконная конфигурация, принципиально другая последовательность скоростей проникновения компонентов газа (рисунок 2.8). При подготовке попутного нефтяного и природного газа все нежелательные примеси концентрируются в потоке низкого давления, а подготовленный газ выходит практически без потери давления.

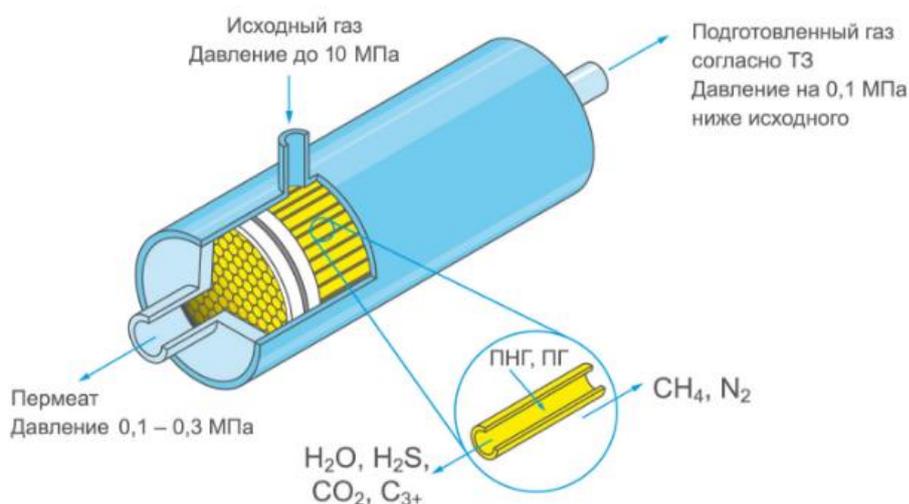


Рисунок 2.8 - Схема распределения газовых потоков в модуле Грасис

Технические характеристики очищенного газа (на примере природного газа) представлены в таблице 2.5.

Таблица 2.5 - Технические характеристики очищенного газа

Технические характеристики	Исходный газ	Подготовленный газ
Метан. % объёмн.	78,5	84,9
$\Sigma C_{4+}$	3,61	1,65
CO <sub>2</sub>	1,66	1,32
Температура точки росы по углеводородам, °С	+5	-23
Температура точки росы по воде, °С	+35	+6

## 2.2 Технология работы комплексной установки

Твердые бытовые отходы и продукты жизнедеятельности человека из источника (поз. 1, схема) по системе транспортировки поступают в первый отсек метантенка, при необходимости перерабатывается измельчителем (поз. 2, схема), лишняя оборотная вода сбрасывается по замкнутой системе в накопительный резервуар (поз. 11, схема), процесс накопления отходов происходит автоматически. В данном отсеке брожение не происходит.

При запуске метантенка загрузка происходит полностью всего объема реактора, затем вода сливается на 2/3 метантенка для образования вакуума и сбора биогаза. Такой уровень поддерживается в течении всей работы. Второй и третий отсек метантенка имеет дополнительные подогрев до 35 – 60 °С водяными электротенами (поз. 20, схема), для активации процесса брожения. Объем выделившегося газа контролируется манометром (поз. 16, схема) идет к потребителю через мембранную систему отделения CO<sub>2</sub> и сероводорода (поз. 17, схема). Перемешивание субстрата осуществляется билами (поз. 5, схема) по мере его накопления. Выгрузка отработанного субстрата осуществляется шнеком (поз. 8, схема). Обратная вода приводящая в движение

насосом (поз. 12, схема) фильтруется (поз. 9,13, схема). Избыточная транспортная обратная вода отправляется на автополив. Выработанный биометанол очищенный от  $\text{CO}_2$  и сероводорода поступает на миниТЭЦ (поз. 19, схема), после переработки имеем энергию электрического тока (переменный 3-хфазный ток с частотой 50 Гц) и тепловую (горячая вода до 90 °С) для потребителя. Часть тепловой и электроэнергии идут по замкнутому циклу для работы электротенов (поз. 20, схема) на подогрев биомассы в реакторе.

## ГЛАВА 3. ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ БИОГАЗОВЫХ УСТАНОВОК И ОБОРУДОВАНИЯ ПО ПЕРЕРАБОТКЕ ТБО

### 3.1 Техника безопасности

Установки для производства биогаза в ряде случаев могут выступать источником опасности:

- при вдыхе концентрированного биогаза и задержании его на определенное время, можно вызвать смерть вследствие отравления или удушья. Не очищенный от серы биогаз, оказывает сильное токсическое воздействие. Наиболее опасна ситуация, когда при высокой концентрации серы, гнилостной запах сероводорода больше не воспринимается человек как опасность (таблица 3.1) [7,16,18];
- очищенный от серы биогаз, также может привести к летальному исходу через удушье из-за недостатка кислорода. Биогаз легче воздуха (спец. плотность = 1,2 кг/Нм<sup>3</sup>), но склонен к расслоению. При этом тяжелый углекислый газ собирается (спец. плотность = 1,85 кг/Нм<sup>3</sup>) внизу, а более легкий метан (спец. плотность = 0,72 кг/Нм<sup>3</sup>) поднимается кверху. Последствия такие же, как если бы углекислый газ собрать в силосе для зеленого корма [32,73];
- биогаз в смеси с воздухом, при его концентрации от 6 до 12% и тепловым источником более 700°С, - взрывоопасен, также опасность взрыва возникает при концентрации биогаза в воздухе более 12% (без источника поджига) [63-65];
- опасность при эксплуатации биогазовых установок может исходить от электрических приборов, вращающихся частей установки, трубопроводов и резервуаров под давлением.

Таблица 3.1 - Токсическое воздействие сероводорода (общие химические показатели)

Концентрация в воздухе	Воздействие
0,03-0,15 ppm*	Волна восприятия, запах тухлых яиц.
15-75 ppm	Раздражение глаз, тошнота, рвота, головная боль
150-300 ppm Δ 0,015-0,03%	Паралич нервов осязания
> 375 ppm Δ 0,038%	Смерть вследствие отравления (через несколько часов)
> 750 ppm Δ 0,075%	Потеря сознания и смерть от остановки дыхания в течении 30-60 минут
От 1000 ppm Δ 0,1%	Мгновенная смерть из-за паралича органов дыхания в течение нескольких минут

Ppm = Parts per million (с англ. частиц на миллион) = 0,0001%.

Соблюдение соответствующих правил и норм техники безопасности можно ограничить степень опасности, исходящую от биогазового оборудования. Федеральным союзом сельскохозяйственных работников и Профсоюзом Биогазовой отрасли были разработаны «Правила техники безопасности для сельскохозяйственных биогазовых установок» специально для оборудования по производству биогаза. Все сельскохозяйственные биогазовые установки подлежат этим нормам техники безопасности и должны выполнять заложенные в них требования. Рекомендуется, уже на стадии проектирования и конструкторской проработки биореакторов, соблюдать свод этих правил по технике безопасности, чтобы не пришлось впоследствии, при запуске и эксплуатации биогазового оборудования, задействовать непредвиденные инвестиционные вложения.

Дальнейшие требования, законы и предписания по технике безопасности изложены в таблице 3.2.

Таблица 3.2 - Документы, регулирующие эксплуатацию сельскохозяйственных установок

Регулируемый вопрос	Законы, предписания
Безопасность установи во время строительства и эксплуатации.	Закон о безопасности при работе с оборудованием и на производстве Нормы по безопасности при работе с взрывчатыми веществами BGR 104, BGR 132 Безопасность эксплуатации предприятия Европейские нормативы 94/9/ЕС Нормы по предотвращению несчастных случаев и профсоюзные требования.
Безопасность при работе с техникой на производстве.	Закон о безопасности при работе с техникой и на производстве, Европейские нормы. Нормы по работе с техникой и на производстве: минимальные требования GPSGV 1 нормы при работе с низким напряжением GPSGV 9 нормы по обращению с техникой. GPSGV 11 и 14.
Техника безопасности трудящихся на рабочем месте.	Закон о защите труда. Нормы о безопасности работы предприятия. Нормы о работе с биовеществами. Нормы по предотвращению несчастных случаев на рабочем месте. Нормы в сельском хозяйстве по технике безопасности и сохранению здоровья.

Правила и нормы техники безопасности, при обращении с биогазовым оборудованием, сельскохозяйственного, промышленного и индивидуального назначения, дают детализированные указания по безопасной эксплуатации отдельных узлов биогазовых установок, комплектации технических помещений по размещению биогазовых установок, приему и сдаче выполненных работ, правильной организации зон повышенной опасности

(взрывоопасных участков), предотвращению несчастных случаев и травмабезопасности.

К данным правилам прилагаются требования по охране труда, поскольку на биогазовых установках работает отдельный персонал. Работодатель обязан предоставить документ с взрывоопасными зонами, по которому можно было бы определить:

- насколько велика опасность образования взрывоопасных смесей на производстве и место их возможного возникновения [63-65];
- меры предпринимающийся для минимизации этой опасности.

### **3.2 Инструкция по обслуживанию комплексной биогазовой установки в случае поломки**

#### **Машинное отделение и генератор**

- перекрыть подачу газа, в другие помещения (за пределы машинного);
- остановить работу оборудования выключателем, находящемся вне машинного отделения;
- принудительно проветрить отделение, если это необходимо;
- не включать освещение и не допускать открытого пламени и искрообразования, при первых признаках появления запаха газа.

#### **Газгольдер**

- закрыть подачу газа;
- выпустить газ из газгольдера;
- не допускать обслуживающий персонал, пока не проведется надлежащее проветривание газгольдера.

Обязательно присутствие третьего человека, вблизи входного отверстия газгольдера с спасательным тросом.

## **Отопление**

При вытекании воды из системы отопления существует опасность ожога.

### **Трубопроводы для навоза и шиберы, насосы и миксеры**

- незамедлительно устранить засорение;
- если произошла поломка системы насосов: перекрыть все шиберы.

После полной остановки насоса, выключить электроэнергию и установить предохранители с целью невозможности их несанкционированного включения. Особенно важно это при проведении работ в бродильных и предварительных резервуарах.

### **Электротехника**

Не допускать к электрооборудованию неквалифицированных сотрудников, работы могут проводить только специалисты.

### **Котлованы и шахты**

- при вхождении и во время присутствия в каналах и котлованах следует убедиться, что не существует опасности удушья или отравления и достаточно кислорода для дыхания;
- оборудование должно быть обязательно защищено от включения;
- во время присутствия в каналах и котлованах следить за надлежащим проветриванием;

#### *Стандартные требования по технике безопасности:*

- отдельные узлы и агрегаты биогазового оборудования должны быть легкодоступны, иметь надежное основание и устойчивость;
- соединения всех электропроводящих компонентов установки должно быть выполнено через выравнивающую электропроводку и общее заземление, во избежание разницы в потенциале;
- бродильные реакторы должны быть надежно теплоизолированы, как минимум на уровне средней воспламеняемости в радиусе 1 м вокруг

отверстия для вытекания газа.

- электроприборы внутри реактора должны быть выполнены из взрывобезопасного материала;

- газгольдеры должны быть непроницаемыми, устойчивыми к воздействию температуры, давления и ультрафиолета. Пленочные накопители должны быть защищены защитной пленкой от неблагоприятного воздействия окружающей среды. При превышении рабочего давления свыше 100 мбар, в силу вступают нормы по работе с резервуарами под давлением.

### **3.2.1 Инструкция по отключению комплексной биогазовой установки**

- остановить подачу биомассы в реактор, забор продолжать. Количество подаваемой биомассы не должно превышать количества произведенного биогаза.
- Если количество подаваемой биомассы превышает количество биогаза на выходе, система газозабора отключится и биогаз выводится в атмосферу, например из-за опустошения устройства с запорной жидкостью.
- отделить газгольдер от камеры реактора во избежание оттока биогаза;
- отключить мешалки и насосы, а также поставить предохранители от их повторного включения;
- не допускать в защитной зоне вокруг бродильной камеры очагов воспламенения;
- перед входением и во время пребывания в камере реактора обязательно убедиться, в отсутствии опасности отравления или удушья, что имеется достаточное количество кислорода, во избежание случайного включения все узлы установки должны быть поставлены на предохранители. Обеспечить необходимую вентиляцию.

### 3.3 Защитные зоны

Вокруг бродильных реакторов газовых накопителей необходимо предусматривать защитные зоны, с действующим запретом открытого пламени, искры, курения. Защитная зона и прилегающая территория должна быть снабжена указывающими запретительными табличками. В зависимости от объема производимого биогаза, типа строения резервуара и использованных при строительстве материалов размеры защитной зоны обустраивают от 1,5 до 20 м [66].

#### *Защитные дистанции*

Определяются, в зависимости от опасности, при возможном взрыве:

- зона 0 - в которой, при нарушении рабочих режимов и техники безопасности, постоянно существует опасность взрыва;
- зона 1 - территория, на которой время от времени может возникнуть взрывоопасная среда из различных газов (например около горловины продувочного трубопровода, газовых факелов);
- зона 2 - территория на которой невозможна взрывоопасная среда из газов.

Взрывоопасные зоны (1 и 2) обязательно документируются на плане взрывоопасных зон. План подается вместе с документами по планированию строительства в надлежащие контрольные органы, для выдачи разрешения на строительство.

Запорная арматура и газопроводы должны проходить проверку на непроницаемость. Они должны быть коррозионностойкими к рабочей среде, на практике обычно изготавливаются из нержавеющей или оцинкованной стали, поливинилхлорида и полиэтилена (выдерживающего высокое давление). Цветные металлы не применяются, ввиду их неустойчивости к воздействию биогаза.

Трубопроводы из искусственных материалов разрешается применять и в качестве соединительных линий ферментатора и газгольдера. Трубопрово-

ды и арматура предназначены для уровня номинального давления PN 6 и должны находиться в непромерзаемой зоне.

Газопроводы должны быть маркированы соответствующими обозначениями направления потока движения и выкрашены в желтый цвет.

Запорная арматура должна быть обеспечена безопасным доступ для обслуживания. Вентили для газозабора должны иметь предохранители от несанкционированного открывания.

Шиберы в насосных шахтах должны быть выполнены, так чтобы их можно было обслужить без захождения в шахту.

Сепараторы для конденсата и предохранительные устройства должны находиться доступном (не в шахтах). Доступ к работающим под давлением устройствам, должен быть простым для обслуживания, а также эти устройства обязаны иметь защиту от промерзания и вытекания рабочей жидкости.

Подземные помещения, которые регулярно посещаются при обслуживании и в которых возможно накапливание газа (например: предохранители предельного давления, контрольные шахты, сепараторы конденсата и др.) должны периодически принудительно проветриваться. В качестве альтернативы в шахты можно устанавливать газовый сенсор.

Газгольдеры и газовые резервуары должны снабжаться предохранителями граничного давления газа. Гидрозапоры должны быть защищены от промерзания и вытекания. Сливной трубопровод предохранителя граничного давления должен выходить в окружающую среду. Территории, на расстоянии 1 м вокруг горловин является защитной зоной 1.

Установка газоотопительных котлов должна соответствовать техническим правилам по установке газового оборудования. Помещения для генераторов должны иметь площади, позволяющие иметь свободный доступ к генератору с 3 сторон. Двери должны открываться по направлению выхода из помещения. Донные сливы должны быть оснащены сепараторами масла.

Помещения, где устанавливается газообогревательное оборудование и генераторы должны иметь перекрестную вентиляцию с притоком - в половой зоне и выводом - под перекрытием.

Выключатели генератора и газозапорного вентиля должны находиться вне технического помещения, чтобы была возможность отключить агрегат в любое время.

Огнетушитель на 12 кг порошка и защитный колпак для пожаров категорий А, В и С согласно DIN EN 319 должен находиться в хорошо видимом месте на помещении генератора [19,20,64].

Перед запуском биогазовая установка проходит экспертное заключение [45].

Орган, выдающий разрешение перед запуском биогазовой установки должен получить свидетельство о проверке на непроницаемость газгольдера с указаниями прочности на разрыв, а также газопроницаемости в отношении метана и устойчивости использованного материала пленки к температуре, необходимо предоставить образец материала пленки. Также обязательным является наличие протокола о принятии со стороны эксперта в газовой отрасли, которое бы свидетельствовало что газовая установка, включая все газопроводы соответствует всем общепринятым правилам безопасности техники, а также требует подтверждения этого со стороны специалиста по электротехнике о том, что электрическое оборудование соответствует требованиям безопасной эксплуатации.

### **3.4 Снижение экологически вредных факторов для окружающей среды при производстве биогаза**

#### **3.4.1 Снижение интенсивности запахов**

Снижение интенсивности запахов навоза является для многих фермеров решающим фактором для строительства биогазовых установок. Выделяющие запахи вещества возникают вследствие протекания биохимических процессов разложения летучих жирных кислот, имеющих неприятный запах.

Интенсивность запаха измеряют ольфактометром (прибор для измерения остроты обоняния). Согласно исследованиям Института гидротехники, качества воды и проблем утилизации отходов при университете г. Штутгарт, навоз от биогазовых установок имеет 10 - 35% той интенсивности запаха, которую имеет навоз, хранящийся в обычных условиях.

Эксперименты проведенные институтом сельскохозяйственной техники Кильского университета показали, что гниение грязи от биогазовой установки через 3 часа уже не выделяет запахов, которые возможно зафиксировать.

Биомасса, после работы биореактора, как правило имеет так мало запаха, что сельское население почти не чувствует его неприятное воздействие.

### **3.4.2 Очистка биогаза от сероводорода**

Одним из основных ограничений использования биогаза в водных обогревателях и двигателях, является сероводород, так как при смешивании в биогазе с водой он образует кислоту, вызывающую коррозию металла.

Для очистки от сероводорода, на практике чаще всего применяют сухую очистку, как наиболее простой и экономичный способ, заключающийся в абсорбировании серы металлической «губкой», состоящей из смеси окиси железа и деревянной стружки. С помощью 0,035 м<sup>3</sup> металлической губки из биогаза извлекается до 3,7 кг серы. Если содержание сероводорода в биогазе составляет 0,2%, то этим объемом металлической губки можно очистить от сероводорода до 2500 м<sup>3</sup> газа. Для очистки губки (регенерации) ее необходимо поместить на воздухе. Низкая стоимость и простота эксплуатации фильтра и чистка абсорбера делают этот метод практически безальтернативным средством защиты компрессоров, двигателей внутреннего сгорания и газгольдеров от коррозии, вызванной сероводородом, присутствующим в биогазе [10,72].

Также в качестве эффективного абсорбента используют окись цинка, при этом получая дополнительные преимущества в виде способности абсор-

бирования органических соединений серы (меркаптан, карбонил и др.). Однако на практике данный абсорбент не получил широкого распространения, ввиду более высокой стоимости.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

- Проанализированы существующие технологии и конструкции переработки ТБО, указывающие на сложность их изготовления и указана невозможность их применения для индивидуальных частных хозяйств. Простейшие технические решения примитивны и не дают получения полного вторичного продукта.
- Спроектирована оригинальная конструкция комплексного оборудования для утилизации бытовых отходов и энергоресурсосбережения, с детализацией отдельных узлов для внедрения в индивидуальном частном хозяйстве.
- В технологии получения вторичного продукта использован замкнутый цикл работы метантенка и предложено использование оборотной воды для смыва продуктов жизнедеятельности человека.
- Рассмотрены основные меры безопасности жизнедеятельности при производстве и эксплуатации комплексной биогазовой установки.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Андрижиевский А. А. Энергосбережение и энергетический менеджмент : учеб. пособие / А. А. Андрижиевский. - 2-е изд., испр. - Минск : Вышэйш. шк., 2005. - 294 с. : ил.
2. Аристархов, Д. В. Технологии переработки отходов растительной биомассы, технической резины и пластмассы / Д. В. Аристархов, Г. И. Журавский и др. // Инженерно-физический журнал. – 2001. – № 6. – С. 152 – 156.
3. Бобович, Б. Б. Переработка отходов производства и потребления : справочное пособие / Б. Б. Бобович, В. В. Девяткин ; под ред. д-ра техн. наук, проф. Б. Б. Бобовича. – Москва : «СП Интермет Инжиниринг», 2000. – 496 с. . : ил.
4. Бытовые отходы: эпоха потребления // Экологический вестник России. – 2007. – № 12. – С. 22 – 29.
5. Бобович, Б. Б. Переработка промышленных отходов : учебник для вузов / Б. Б. Бобович. – Москва : «СП Интермет Инжиниринг», 1999. – 445 с.
6. Биохимия : лаб. практикум для специальности 260501 "Технология продуктов общественного питания" / ТГУ ; Ин-т химии и инженерной экологии ; каф. "Пищевые технологии и товароведение прод. товаров" ; [авт.-сост. А. В. Иванова, Т. Н. Клапанова]. - ТГУ. - Тольятти : ТГУ, 2009. - 67 с.
7. Безопасность и экологичность объекта дипломного проекта : учеб.-метод. пособие / ТГУ ; каф. "Управление пром. и экол. безопасностью" ; [сост. Л. Н. Горина и др.]. - ТГУ. - Тольятти : ТГУ, 2008. - 32 с.
8. Биохимия : учеб. пособие для студентов специальности 260501.65 "Технология продуктов общественного питания" и направления 260100.62 "Технология продуктов питания" очной формы обучения / ТГУ ; Ин-т химии и инженерной экологии ; каф. "Пищевые технологии

- и товароведение прод. товаров" ; сост. А. В. Иванова. - ТГУ. - Тольятти : ТГУ, 2011. - 207 с. : ил.
9. Безопасное обращение с отходами: Сборник нормативно- методических документов / под ред. И. А. Копайсова. – Санкт- Петербург : РЭЦ «Петрохимтехнология», «Интеграл», «Тема», 1999. – 448 с.
  10. Вредные химические вещества. Углеводороды и галогенпроизводные углеводородов: справочник / Л.А.Бандман и др.; Под общ.ред. В.А.Филова. - Л. : Химия, Ленингр. отд-ние, 1990. - 732 с.
  11. Волков А.Е. Проблема утилизации твердых бытовых отходов // Чистый город. - 2010.
  12. Васильев А. В. Раздел "Безопасность и экологичность" в дипломном проекте : учеб. пособие / А. В. Васильев; ТолПИ. - Тольятти : ТолПИ, 1995. - 38 с.
  13. Васильев А. В. Методические указания к выполнению выпускной квалификационной работы по специальности 280202-65 "Инженерная защита окружающей среды" и по направлению бакалавриата 280200-62 "Защита окружающей среды" / А. В. Васильев; ТГУ. - ТГУ. - Тольятти : Изд-во СамНЦ РАН, 2010. - 27 с.
  14. Вторичные ресурсы: проблемы, перспективы, технология, экономика : учебное пособие / Г. К. Лобачев, В. Ф. Желтобрюхов и др. – Волгоград, 1999. – 180 с.
  15. Гринин, А. С. Промышленные и бытовые отходы: хранение, утилизация, переработка / А. С. Гринин, В. Н. Новиков. – Москва : Фаир-пресс, 2002. – 336 с.
  16. ГОСТ 12.1.004-91. Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность. Общие требования. - Введ. 01.07.92, 1992. - 78 с.
  17. ГОСТ Р 51769-2001 "Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Документирование и регулирование деятельности по обращению с отходами производства и потребления. Основные положения". Введ. 01.01.02, 2002.

- 18.ГОСТ 12.4.280-2014 Система стандартов безопасности труда. Одежда специальная для защиты от общих производственных загрязнений и механических воздействий. Общие технические требования. - Введ. 01.12.15, 2015. - 20 с.
- 19.ГОСТ 27331-87 Пожарная техника. Классификация пожаров. Введ. 01.01.98, 1998.
- 20.ГОСТ 12.1.004-91. Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность. Общие требования. - Введ. 01.07.92, 1992. - 78 с.
- 21.Гридэл Т. Е. Промышленная экология = Industrial Ecology : учеб. пособие для вузов / Т. Е. Гридэл, Б. Р. Алленби; пер. с англ. под ред. Э. В. Гиурсова. - Гриф УМО. - Москва : ЮНИТИ-ДАНА, 2004. - 513 с.
- 22.Горина Л. Н. Промышленная экология : учеб. пособие / Л. Н. Горина, О. В. Шайкенова; ТГУ. - ТГУ. - Тольятти : ТГУ, 2007. - 210 с. : ил.
- 23.Гомоницкая А.О., Заболотских В.В., Нагайцева М.П. Внедрение дуальной системы сбора ТБО в г. Тольятти: проблемы и перспективы // материалы IX Международной научно-практической конференции "Научные перспективы XXI века. Достижения и перспективы нового столетия". – 2015. – С. 5-8.
- 24.ГОСТ 55571-2013 Удобрения органические на основе твердых бытовых отходов. Технические условия. – М.: Стандартиформ, 2013. - 6 с.
- 25.Гринин, А. С. Промышленные и бытовые отходы : Хранение, утилизация, переработка : учеб. пособие / А. С. Гринин, В. Н. Новиков. - М. : ФАИР-ПРЕСС, 2002. - 332 с. : ил.
- 26.Димитриев А. Д. Биохимия : учеб. пособие / А. Д. Димитриев, Е. Д. Амбросьева. - Москва : Дашков и К°, 2010. - 165 с. : ил.
- 27.Инженерная экология : [учебник] / под ред. В. Т. Медведева. - Гриф МО. - Москва : Гардарики, 2002. - 867 с. : ил.
- 28.Инженерная экология и экологический менеджмент : учебник / М. В. Буторина [и др.]; под ред. Н. И. Иванова [и др.]. - 2-е изд., перераб. и доп. - Москва : Логос, 2004. - 518 с. : ил.

29. Инженерная экология и экологический менеджмент : учебник [для вузов] / под ред. Н. И. Иванова, И. М. Фадиной. - Москва : Логос, 2002. - 527 с. : ил.
30. Инженерная защита окружающей среды : в примерах и задачах : учеб. пособие / под ред. О. Г. Воробьева. - Санкт-Петербург : Лань, 2002. - 288 с. : ил.
31. Инженерная защита окружающей среды : Очистка вод. Утилизация отходов / под ред. Ю. А. Бирмана, Н. Г. Вурдовой. - Москва : АСВ, 2002. - 295 с. : ил.
32. Избавление биосферы от токсичных отходов. Проблемы и пути ее эффективного решения. Соликамск, 1995.
33. Комов В. П. Биохимия : учеб. для вузов / В. П. Комов, В. Н. Шведова. - 2-е изд., испр. ; Гриф МО. - Москва : Дрофа, 2006. - 639 с. : ил.
34. Комов В. П. Биохимия : учеб. для вузов / В. П. Комов, В. Н. Шведова. - Гриф МО. - Москва : Дрофа, 2004. - 639 с. : ил.
35. Кольман Я. Наглядная биохимия = Taschenatlas der Biochemie / Я. Кольман, К.-Г. Рём; пер. с нем. Л. В. Козлова [и др.] ; под ред. П. Д. Решетова, Т. И. Соркиной. - Изд. 4-е. - Москва : Бинوم. Лаборатория знаний, 2011. - 469 с. : ил.
36. Колесников А. И. Энергосбережение в промышленных и коммунальных предприятиях : учеб. пособие / А. И. Колесников, М. Н. Федоров, Ю. М. Варфоломеев. - Москва : ИНФРА-М, 2005. - 122, [1] с. : ил.
37. Кураков, В. М. Технология полного цикла обращения с отходами / В. М. Кураков // ЖКХ : журн. руководителя и гл. бухгалтера. – 2009. – № 2, Ч. 1. – С. 55 – 58.
38. Клушанцев, Б. В. Дробилки. Конструкция, расчёт, особенности эксплуатации / Б. В. Клушанцев, А. И. Косарев, Ю. А. Муйземнек. – Москва : Машиностроение, 1990. – 320 с.
39. Калыгин В. Г. Промышленная экология : учеб. пособие для студентов вузов / В. Г. Калыгин. - Москва : Academia, 2004. - 431 с. : ил.

40. Келов К., Байрамов Р., Юферев И.Р., Кашанов А. Исследование показателей производительности биогазовых реакторов при метановом сбраживании органических отходов животноводства. // Изв. АН ТССР, Сер. физ-техн., хим. и геолог.н. - 1990 - № 3 - с. 54—57.
41. Лезнов Б. С. Энергосбережение и регулируемый привод в насосных и воздуходувных установках / Б. С. Лезнов. - Москва : Энергоатомиздат, 2006. - 359 с. : ил.
42. Ларионов, Г. Утилизация ТБО – одна из приоритетных экономических задач современности / Г. Ларионов // РИСК: ресурсы, информация, снабжение, конкуренция. – 2009. – № 4. – С. 207–208.
43. Мелентьев Г.Б. Промышленные и бытовые отходы: инновационная политика и научно-производственное предпринимательство как средство решения проблемы / Экология пром. пр-ва. - 2003. - N 4.
44. Милицкова, Е. А. Рециклинг отходов / Е. А. Милицкова // Научные и технические аспекты охраны окружающей среды: Обзорная информация / ВИНТИ. – Москва, 1997. – № 3. – С. 52 – 70.
45. Неорганическая биохимия = Inorganic biochemistry. Т. 1 / ред. Г. Эйхгорн ; пер. с англ. Е.М. Вольпина, К. Б. Яцимирского. - Москва : Мир, 1978. - 712 с.
46. Научно-технические основы применения смазочно-охлаждающих жидкостей при резании металлов : сб. статей / под ред. М. И. Клушина. - Иваново : ИПИ, 1968. - 172 с. : ил.
47. Охрана окружающей среды в России. 2012: Статистический сборник / Росстат. М, 2012.
48. Одесс, В. И. Вторичные ресурсы: хозяйственный механизм использования / В.И. Одесс. – Москва, 1988. – 15 с.
49. Обращение с отходами производства и потребления в системе экологической безопасности : научно-методическое пособие / В. А. Грачев, А. Т. Никитин, С. А. Фомин и др. ; под общ. ред. член-корр. РАН,

- проф. В. А. Грачева и проф. А. Т. Никитина. – Москва : Изд-во МНЭПУ, 2009. – 500 с.
50. Паршина С.Н., Коцюрбенко О.Р., Некрасова В.К., Кожевникова А.Н. Анаэробная обработка отходов животноводства в экспериментальных условиях.// Микробиол. Охрана биосферы в регионах Урала и Сев. Прикаспия: Тез. докл. Всес. симп.-Оренбург, 1991 - с. 98—99.
51. Проскурина И. К. Биохимия : учеб. пособие для вузов / И. К. Проскурина. - Гриф МО. - Москва : ВЛАДОС-ПРЕСС, 2001. - 236 с. : ил.
52. Проскурина И. К. Биохимия : учеб. пособие для вузов / И. К. Проскурина. - Гриф МО. - Москва : ВЛАДОС-ПРЕСС, 2003. - 236 с. : ил.
53. Пат. 2427123 Российская Федерация. МПК А01С 3/02, МПК С02F 11/04, С02F11/04. Биореактор [Текст] / Осетров В.Г. [и др.]; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО Ижевский государственный технический университет - № 2010112092/21; заявл. 29.03.2010; опубл. 27.08.2011
54. Пат. 2228583 Российская Федерация. А01С003/00, С02F011/04. Биореактор [Текст] / Андрюхин Т.Я.; заявитель и патентообладатель Андрюхин Т.Я. - № 2002125432/122002125432/12; заявл. 20.09.2002; опубл. 20.05.2004.
55. Полонский В. М. Энергосбережение : учеб. пособие / В. М. Полонский, М. С. Трутнева. - Гриф УМО. - Москва : Изд-во АСВ, 2005. - 160 с. : ил.
56. Пурим, В. Р. Бытовые отходы. Теория горения. Обезвреживание. Топливо для энергетики / В. Р. Пурим. – Москва : Энергоатом- издат, 2002. – 112 с.
57. Пальгунов, П. П. Утилизация промышленных отходов / П. П. Пальгунов, М. В. Сумароков. – Москва : Стройиздат, 1990. – 352 с.
58. Родионов, А. И. Техника защиты окружающей среды / А. И. Родионов, В. Н. Клушин и др. – Москва, 1989. – 512 с.
59. Родионов, А. И. Технологические процессы экологической безопасности / А. И. Родионов, В. Н. Клушин, В. Г. Систер. – Калуга : Изд-во Н. Бочкаревой, – 2000. – 800 с.

- 60.Соколовская Г. А. Ресурсосбережение на предприятиях / Г. А. Соколовская, Т. С. Сигарева. - Москва : Экономика, 1990. - 156 с. : ил
- 61.Сотникова Е. В. Техносферная токсикология : учеб. пособие для студентов вузов, обуч. по направлениям 280200 - "Защита окружающей среды" и 280700 - "Техносферная безопасность" / Е. В. Сотникова, В. П. Дмитренко. - гриф УМО. - Санкт-Петербург ; Москва ; Краснодар : Лань, 2013. - 399 с. : ил.
- 62.Сметанин, В. И. Защита окружающей среды от отходов производства и потребления : учебное пособие / В. И. Сметанин. – Москва : Колос, 2000. – 232 с.
- 63.СП 1.13130.2009 Системы противопожарной защиты. Эвакуационные пути и выходы (с Изменением N 1). - Введ. 01.05.09, 2009.
- 64.СП 9.13130.2009 Техника пожарная. Огнетушители. Требования к эксплуатации). - Введ. 01.05.09, 2009.
- 65.СП 2.13130.2009 Системы противопожарной защиты. Обеспечение огнестойкости объектов защиты. - Введ. 01.05.09, 2009.
- 66.СанПиН 2..2.1./2.1.1984–00 «Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов», Москва – 2000г.
- 67.Сазыкин Ю. О. Биотехнология: учебное пособие для студентов высш. учеб. заведений / Ю.О. Сазыкин, С. Н. Орехов, И.И. Чакалева; под ред. А.В. Катлинского. - 3-е изд., стер. - М.: Издательский центр "Академия", 2008.
- 68.Северин С.Е. Биохимия и медицина – новые подходы и достижения / С.Е. Северин. – М.: Русский врач, 2006. – 94 с.
- 69.Степановских А. С. Биологическая экология : теория и практика : учеб. для вузов / А. С. Степановских. - Гриф УМО. - Москва : ЮНИТИ-ДАНА, 2009. - 791 с. : ил.
- 70.Тимонин, А. С. Основы расчёта и конструирования химико- технологического и природоохранного оборудования : справочник : в 3-х то-

- мах. / А. С. Тимонин. – 2-е. изд. – Калуга : Изд-во Н. Бочкаревой, – 2002. – Т. 2. – 996 с.
71. Твёрдые бытовые отходы (сбор, транспорт и обезвреживание). Справочник / В. Г. Систер и др. – Москва : АКХ им. К. Д. Памфилова, 2001. – 316 с.
72. Тетельмин В. В. Геоэкология углеводородов : [учеб. пособие] / В. В. Тетельмин, В. А. Язев. - Долгопрудный : Интеллект, 2009. - 303 с. : ил.
73. Thomas Kupper. Kompost und Gärgut in der Schweiz: Herausgeber Bundesamt für Umwelt BAFU, - Bern., 2007. - 38 p.
74. УМКД "Промышленная экология" [Электронный ресурс] : спец. 280102 "Безопасность технологических процессов и производств" / ТГУ ; каф. "Управление промышленной и экологической безопасностью" . - ТГУ. - Тольятти : ТГУ, 2007. - 100-00
75. Фердман Д. Л. Биохимия : учебник / Д. Л. Фердман. - 2-е изд., перераб. ; Гриф МО. - Москва : Высш. шк., 1962. - 614 с.
76. Хван Т. А. Промышленная экология : учеб. пособие для вузов / Т. А. Хван. - Ростов-на-Дону : Феникс, 2003. - 315 с. : ил.
77. Шаповалов С. В. Энергосбережение и энергосберегающие технологии : учеб. пособие / С. В. Шаповалов, О. В. Самолина, Н. А. Шаповалова; ТГУ ; Ин-т энергетики и электротехники; каф. "Электроснабжение и электротехника". - ТГУ. - Тольятти : ТГУ, 2012. - 98 с. : ил.
78. Шубов, Л. Я. Технология твёрдых бытовых отходов : учебник / Л. Я. Шубов, М. Е. Ставровский, А. В. Олейник ; под ред. Л. Я. Шубова. – Москва : Альфа-М: ИН-ФА-М, 2011. – 400 с.
79. Шаповалов В.А. Энергосбережение и энерго-сберегающие технологии : практикум / В. А. Шаповалов, В. В. Вахнина, А. Н. Черненко ; ТГУ ; Электротехн. фак. ; каф. "Электроснабжение и электро-техника". - 2-е изд. ; ТГУ. - Тольятти : ТГУ, 2011. - 58 с. : ил.
80. Экология энергетики : учеб. пособие / под общ. ред. В. Я. Путилова. - М. : Изд-во МЭИ, 2003. - 716 с. : ил.

81. Энергосбережение в системах теплоснабжения, вентиляции и кондиционирования воздуха : (справ. пособие) / под ред. Л. Д. Богуславского [и др.]. - Москва : Стройиздат, 1990. - 621 с. : ил.
82. Энергосбережение в теплоэнергетике и теплотехнологиях : учеб. для студ. вузов, обуч. по напр. подготовки "Теплоэнергетика" / О. Л. Данилов [и др.]; под ред. А. В. Клименко. - Гриф МО. - Москва : Изд. дом МЭИ, 2010. - 423 с. : ил

**ПРИЛОЖЕНИЕ**  
(графический материал)