

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

**ИНСТИТУТ ХИМИИ И ИНЖЕНЕРНОЙ ЭКОЛОГИИ**

**Кафедра «Рациональное природопользование и ресурсосбережение»**

18.03.02 «Энерго-, ресурсосберегающие процессы в химической технологии,  
нефтехимии и биотехнологии»

(код и наименование направления подготовки)

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

на тему: Разработка биореактора для переработки пищевых отходов

Студент(ка)

А.В. Иоффе

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

К.В. Беспалова

(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





## АННОТАЦИЯ

Тема бакалаврской работы: Разработка биореактора для переработки пищевых отходов.

Работа изложена на 61 листе и состоит из введения, 3 глав, заключения, списка использованных источников, который включает в себя 58 источников.

Во введении обосновывается актуальность выбранной темы, формулируется цель и задачи исследования, указывается практическая значимость проекта.

В первой главе рассмотрена проблема образования и утилизации твердых коммунальных отходов. Проведен анализ эффективных способов переработки пищевых отходов.

Во второй главе рассмотрен механизм получения биогаза и эффективность его использования. Проведено проектирование полигона и разработка конструкции биореактора.

В третьей главе приведен расчет экономической эффективности проекта.

Заключение содержит основные выводы по проделанной работе.

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	7
ГЛАВА 1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПРОБЛЕМЫ ОБРАЗОВАНИЯ И УТИЛИЗАЦИИ ТВЕРДЫХ КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ	8
1.1 Анализ и особенности образования твердых коммунальных отходов	8
1.2 Анализ эффективных способов переработки пищевых отходов	11
1.3 Биоброжение пищевых отходов	16
1.3.1 Стадии анаэробного разложения органических веществ	19
1.4 Анализ существующих биореакторов	20
Вывод по главе	23
ГЛАВА 2. РАЗРАБОТКА БИОРЕАКТОРА ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ ПИЩЕВЫХ ОТХОДОВ	24
2.1 Получение биогаза	24
2.2 Разработка конструкции биореактора	28
2.3 Проектирование полигона	30
2.4 Строительство грунтовой биогазовой установки и выбор размера реактора	33
2.5 Газгольдер	35
2.6 Очистка и осушка газа	37
2.7 Обслуживание биогазовой установки	39
2.8 Расчет выхода биогаза	40
ГЛАВА 3. ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ РАБОТКИ БИОРЕАКТОРА.	43
3.1 Расчет годовой производственной мощности	43
3.2 Расчет капитальных вложений (инвестиций)	44
3.3 Организация труда рабочих	45
3.4 Организация управления производством	48

3.5 Расчет себестоимости продукции	49
3.6 Расчет экономической эффективности проекта	54
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	56
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	57

## ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время разработаны технологии утилизации многих компонентов отходов, которые повсеместно внедряются за рубежом. В этом вопросе наибольшую трудность утилизации представляют пищевые отходы, составляющие 40-45% от общего объема отходов.

Вследствие чего возникает необходимость в создание регулируемого процесса грунтового биоброжения пищевых отходов, что позволит: освободить земли от свалок; уменьшить вред наносимый человеком окружающей среде; значительно уменьшить загрязнение сточных вод; создать дешевую энергию и тепло.

Целью бакалаврской работы является снижение антропогенного воздействия полигонов на окружающую среду за счет повышения эффективности переработки пищевых отходов.

Поставленная цель достигается решением следующих основных задач:

1. Провести качественную и количественную оценку твердых коммунальных отходов.
2. Проанализировать современные методы утилизации твердых коммунальных отходов.
3. Разработать биореактор для переработки пищевых отходов.
4. Провести эколого-экономическую оценку внедрения.

# **ГЛАВА 1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПРОБЛЕМЫ ОБРАЗОВАНИЯ И УТИЛИЗАЦИИ ТВЕРДЫХ КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ**

## **1.1 Анализ и особенности образования твердых коммунальных отходов**

К твердым коммунальным отходам (ТКО) относятся отходы, образующиеся в жилых помещениях в процессе потребления физическими лицами, а также товары, утратившие свои потребительские свойства в процессе их использования физическими лицами в жилых помещениях в целях удовлетворения личных и бытовых нужд. К твердым коммунальным отходам также относятся отходы, образующиеся в процессе деятельности юридических лиц, индивидуальных предпринимателей и подобные по составу отходам, образующимся в жилых помещениях в процессе потребления физическими лицами [28].

ТКО классифицируют по источникам образования, по морфологическому составу, по степени опасности, по направлениям переработки. Юридической основой для классификации ТКО в России служит Федеральный классификационный каталог отходов (ФККО), который классифицирует отходы по происхождению, агрегатному состоянию и опасности. В ФККО используется термин «Твердые коммунальные отходы» код раздела 7310000000.

Сложившаяся в РФ система обращения с ТКО основана на захоронении подавляющего большинства отходов (около 98%) на полигонах и неорганизованных свалках. Из всего количества полигонов только около 8% отвечают санитарным требованиям, большинство полигонов представляют значительную эпидемиологическую опасность, нарушают природный ландшафт и являются источником загрязнения почвы, подземных и грунтовых вод, атмосферного воздуха [52].



Ресурсный потенциал отходов напрямую зависит от их состава и определяет эффективность применения разных технологий, в том числе сортировки и отдельного сбора [54].

Морфологический состав ТКО, индивидуален для каждого населенного пункта и зависит от множества факторов, например от климатических и социально-экономических условий [42].

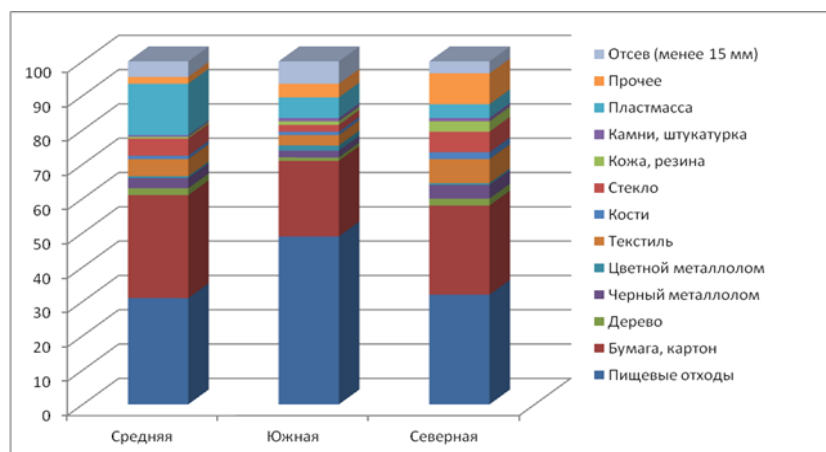
В таблице 1 представлен усредненный морфологический состав ТКО в России. При обращении с ТКО необходимо учитывать, что они содержат ценные утильные компоненты. Как видно из приведенных данных основную массу ТКО составляют пищевые отходы и бумага, а так же прочие компоненты. Для разных городов и регионов России морфологический состав ТКО изменяется в широких пределах, а так же зависит от дней недели и сезонов года (табл. 1, рис. 1) [12]. В последние годы наметилась тенденция к увеличению содержания упаковочных материалов: картона, бумаги, полимерных материалов, основных составляющих энергетической фракции отходов [14]. ТКО российских городов содержат такие ценные компоненты, как бумага, картон, стекло, полимерные материалы, металлы [16].

**Таблица 1 -Морфологический состав ТКО для разных климатических зон (% по массе)**

Компонент	Климатическая зона		
	средняя	южная	северная
Пищевые отходы	35...45	40...49	32...39
Бумага, картон	32...35	22...30	26...35
Дерево	1...2	1...2	2...5
Черный металлолом	1...3	2...3	3...4
Цветной металлолом	0,5...0,9	0,5...1,5	0,5...1,5
Текстиль	3...5	3...5	4...6
Кости	1...2	1...2	1...2
Стекло	2...8	2...3	4...6
Кожа, резина	0,5...1	1	2...3
Камни, штукатурка	0,5...1	1	1...3
Пластмасса	9...15	3...6	3...4
Прочее	1...2	3...4	1...2
Отсев (менее 15 мм)	5...7	6...8	4...6

Сезонные изменения состава ТКО характеризуются увеличением содержания пищевых отходов с 20-25 % весной до 40-55% осенью, что связано с большим употреблением овощей и фруктов в рационе питания (особенно в городах южной зоны) [17].

Зимой и осенью сокращается содержание мелкого отсева фрагментов уличного снега с 20-7 % в городах южной зоны и с 11-5 % в средней зоне [84].



**Рисунок 1 - Морфологический состав ТКО для разных климатических зон (% по массе)**

При захоронении ТКО на полигонах утильные фракции безвозвратно теряются [19]. В частности, теряется 9 млн. т макулатуры, 1,5 млн. т черных и

цветных металлов, 2 млн. т полимерных материалов, 10 млн. т пищевых отходов, 0,5 млн. т стекла.

Важным показателем качественного анализа ТКО, является его химический состав, на основании которого, определяется возможность применения данного вида отхода в качестве сырья для компостирования, сжигания и других видов переработки [35].

Усредненные данные химического состава ТКО по климатическим зонам приведены в таблице 2.

**Таблица 2 - Химический состав ТКО в различных климатических зонах**

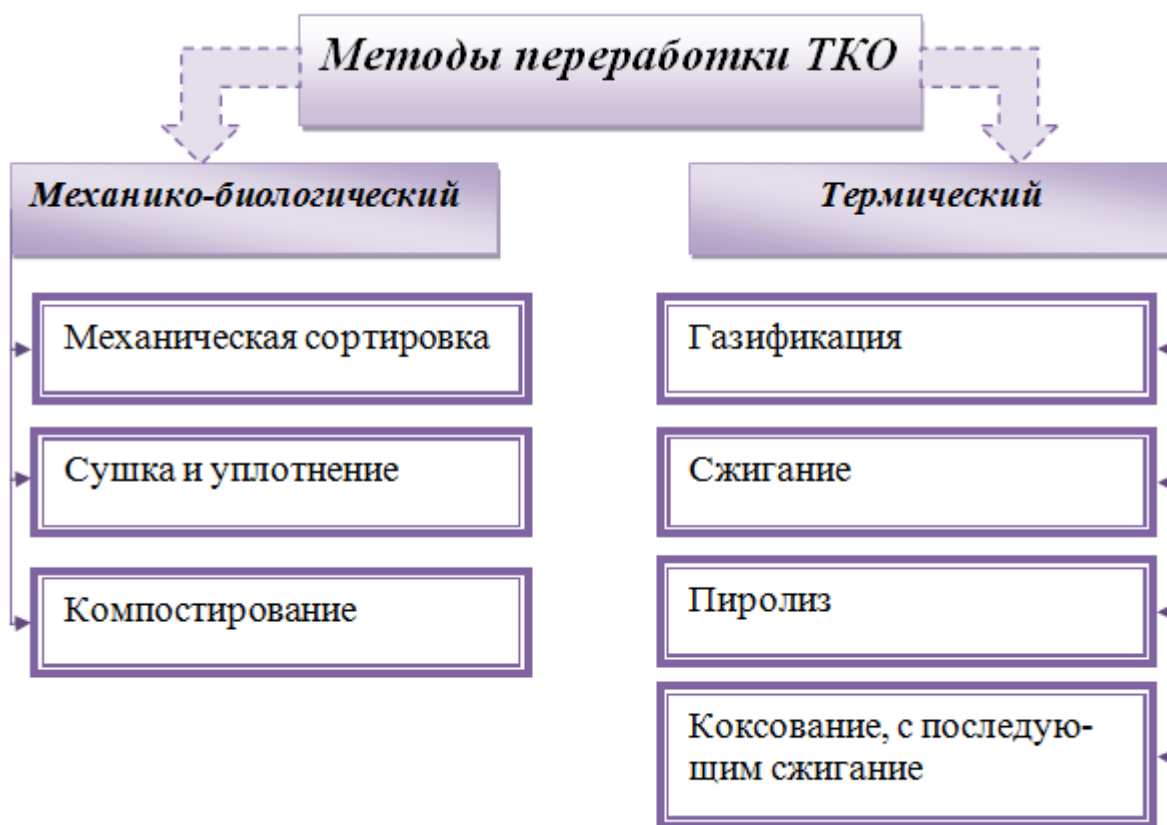
Показатели	Климатические зоны	
	средняя	южная
Органическое вещество	56-72	56-80
Зольность	28-44	20-44
Общий азот	0,9-1,9	1,2-2,7
Кальций	2-3	4-5,7
Углерод	30-35	28-39
Фосфор	0,5-0,8	0,5-0,8
Общий калий	0,5-1	0,5-1,1
Влажность (% от общей массы)	40-50	35-70

На основе данных, представленных в таблице 3, можно сделать вывод, что по содержанию таких элементов, как азот, фосфор, калий и кальций, ТКО могут быть отнесены к веществам, из которых можно получать ценные удобрения [49].

## **1.2 Анализ эффективных способов переработки пищевых отходов**

Существует два основных метода переработки ТКО: механико-биологический и термический (рис. 2).

Известно более тридцати методов обращения с ТКО [53]. В общемировой практике широко используют четыре основных способа: захоронение на свалках (полигонах), сжигание, рециклинг и компостирование [57].



**Рисунок 2 - Метода переработки ТКО**

Одна из главнейших проблем, связанная с захоронением отходов, — образование свалочного газа. При захоронении органического вещества (которого в мусорной массе в среднем от 50 до 70%) происходит его биоконверсия с участием микроорганизмов. В результате этого процесса образуется биогаз, макрокомпонентами которого является метан ( $\text{CH}_4$ ) и диоксид углерода ( $\text{CO}_2$ ) [41]. Масштабы образования этого газа также можно считать геологическими. По подсчетам экспертной группы Межправительственной комиссии по изменению климата (IPCC), проведенными в середине 90-х годов, глобальная эмиссия свалочного метана составляет 40 млн. тонн в год, или около 8% его общепланетного потока [37]. Эта величина превышает массу метана, выделяемого угольными шахтами. Вследствие выводов группы свалочный метан занесен в реестр основных источников парниковых газов планеты [61].

Кроме существенного вклада в глобальное потепление, свалочный газ содействует появлению взрывоопасных и пожароопасных условий, как на

самых свалках, так и на близлежащих объектах [64]. Пожары на свалках, в свою очередь, таят немалую экологическую опасность. В структуре коммунальных отходов увеличивается удельный вес полимерных материалов (он составляет более 10% их общей массы и удваивается каждые десять лет), возрастает токсичность отходов (в мусор попадают термометры, приборы, содержащие ртуть, элементы питания, вследствие чего он «обогащается» солями тяжелых металлов и химикатами) [6]. Поэтому неконтролируемое горение свалок приводит к образованию и попаданию в атмосферу токсичных соединений, переносимых на значительные расстояния (табл.3) [33].

**Таблица 3 - Влияние свалок ТКО на окружающую среду**

<b>Вредный фактор</b>	<b>Путь образования</b>	<b>Содержание</b>	<b>Влияние на человека и окружающую среду</b>
<b>Фильтрат</b>	С территории свалок в подземные воды	Болезнетворные бактерии	Брюшной тиф, дизентерия, холера, туберкулез и др.
<b>Крысы, насекомые, бездомные животные</b>	С территории свалок в жилые зоны	Болезнетворные бактерии	Различные болезни (тиф, холера и др.)
<b>Неорганические вещества</b>	С территории свалок с фильтратом	Вредные элементы	Например: С 300 тонн ТКО - 1,5 т натрия и калия; - 1 т хлоридов; - 4 т кислых карбонатов;
<b>Отчуждение земель</b>	Огромные площади заняты свалками и полигонами, для захоронения ТКО	Сокращение земельных угодий	Сокращение площадей, используемых в сельскохозяйственных нуждах, и т.д.

Таким образом, складирование на полигонах, оказывает существенную нагрузку на окружающую среду, и является опасным с экологической точки зрения методом обезвреживания отходов.

Сжигание является вторым по распространенности в мире способом обезвреживания ТКО после захоронения [40].

К преимуществам метода сжигания относятся следующие:

1. Возможность рекуперации (возвращения, полезного использования) образующегося тепла. Теплоту сгорания ТКО следует полезно использовать. Теплотворная способность ТКО достигает 7500 - 8400 кДж/кг, что сопоставимо с бурым углем и другим низкосортным топливом (торфом, сланцем). Таким образом, ТКО можно рассматривать как нетрадиционный вид топлива.

Вырабатываемая тепловая энергия используется на нужды централизованного теплоснабжения или для выработки электроэнергии [48].

2. Сжигание ТКО позволяет примерно в три раза уменьшить вес отходов, устранить некоторые неприятные свойства: запах, выделение токсичных жидкостей, бактерий, а также получить дополнительную энергию, которую можно использовать для получения электричества и отопления [38].

Однако сжигание ТКО также является одним из наиболее сложных и опасных методов (с точки зрения риска загрязнения атмосферы такими веществами, как полихлорированные бифенилы, полибромированные диоксины и дибензофураны и тяжелые металлы). Даже получение за счет сжигания дополнительной электроэнергии не представляется с этой точки зрения достаточно привлекательным [60].

При сжигании несортированного бытового мусора, содержащего синтетические полимерные материалы, особенно имеющие в своем составе атомы хлора (ПВХ и его сополимеры), образуются диоксины и фураны (группа элементов, родственных диоксинам, обладающих подобными токсичными свойствами), и это является самой сложной проблемой при сжигании ТКО [50]. Диоксины - общепринятое название группы органических веществ, относящихся к классу полихлорированных полициклических соединений. Под этим названием объединено более 200 веществ - дибензодиоксинов и дибензофуранов. Расположение атомов хлора может меняться, тогда изменяются и свойства веществ, их токсичность [96].

Из данных таблицы 5 видно, что в дымах мусоросжигательных заводов (МСЗ) опасных металлов в некоторых случаях в тысячи раз больше, чем в «обычном» воздухе. Токсичные металлы выбрасываются в форме солей или окислов, то есть в устойчивом виде и могут лежать неопределенное число лет, накапливаясь постепенно и с пылью попадая в организм человека [3]. Опасность токсичных металлов именно в том, что они могут накапливаться. Поэтому нормы ПДК могут оказаться не применимыми к таким выбросам [46].

Это еще раз доказывает, что сжигание ТКО не выгодно с экологической точки зрения.

**Таблица 4 - Содержание химических элементов в продуктах сжигания твердых коммунальных отходов**

Элемент	Выбросы в воздух		Летучая зола	
	содержание, %%	коэффициент концентрации	Элемент	Содержание, %%
Висмут	0,0003-0,0013	300-1300	Висмут	0,0003-0,0013
Серебро	0,0006-0,0021	86-300	Серебро	0,0006-0,0021
Олово	0,02-0,18	80-720	Олово	0,02-0,18
Свинец	0,155-0,186	97-116	Свинец	0,155-0,186
Кадмий	0,0005-0,0012	38-923	Кадмий	0,0005-0,0012
Сурьма	0,003-0,009	60-180	Сурьма	0,003-0,009
Медь	0,15-0,4	32-85	Медь	0,15-0,4
Цинк	0,18-0,56	22-68	Цинк	0,18-0,56
Хром	0,06-0,16	7-20	Хром	0,06-0,16
Ртуть	0,00004-0,00009	5-10	Ртуть	0,00004-0,00009

Шлаков образуется около тонны на 3-4 тонны мусора. В тех котлах, в которых в печь добавляют известняк в качестве флюса, шлаков еще больше [29]. Из них делают бордюрные камни, барьерные рифы и блоки для строительства, вводить их в асфальт и использовать для других дорожных покрытий. Предлагают делать из шлаков шлаковату для утепления зданий и керамзитоподобный материал для строительных работ [38].

Причины неэффективности мусоросжигающих заводов:

- 1) трудности очистки выходящих в атмосферу газов от вредных примесей (особенно от диоксинов и оксидов азота);
- 2) наряду с дымовыми газами образуется два вида отходов: шлак и зола;
- 3) мусоросжигающие заводы требуют огромных финансовых вложений и имеют долгосрочную по окупаемость.

Все вышеуказанные методы позволяют утилизировать большинство основных компонентов ТКО. Вместе с тем данные методы не применимы для утилизации пищевых отходов и в настоящее время их значительная часть подлежит захоронению. Как отмечалось выше, надлежащая утилизация пищевых отходов безотходно может быть реализована только в сельской местности. Старые свалки образуют «свалочный» газ, в составе которого более 60

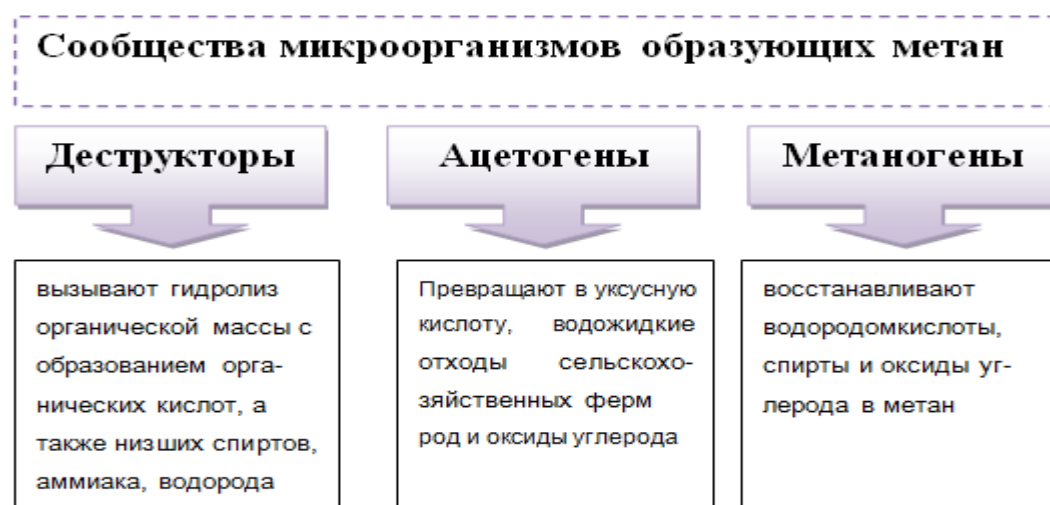
% метана.

### 1.3 Биоброжение пищевых отходов

Биометаногенез - процесс превращения биомассы в энергию. Был открыт в 1876 г. Алессандро Вольта, доказавшим присутствие в болотном газе метана. Биогаз, получаемый в результате биометаногенеза, представляет собой смесь из метана и углекислоты, некоторого количества сероводорода, азота, водорода. Соотношение метана и углекислоты определяет теплотворную способность биогаза и составляет 5-7 ккал/м<sup>3</sup>.

Неочищенный биогаз используют в быту, в качестве топлива в установках, вырабатывающих электроэнергию. Сжатый газ транспортируют и используют в качестве горючего для двигателей внутреннего сгорания.

Деструкция органических субстратов и образование метана осуществляют сообщества микроорганизмов (рис. 3).



**Рисунок 3 - Сообщества микроорганизмов образующих метан**

С точки зрения биохимии биометаногенез - это процесс анаэробного дыхания, электроны с органического вещества переносятся на углекислоту; которая в последствии восстанавливается до метана. Водород и уксусная кислота являются донорами электронов для метаногенов. Основой метанового сообщества являются метаногенные бактерии, ускоряющие реакции синтеза метана.

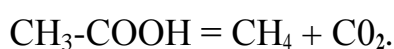




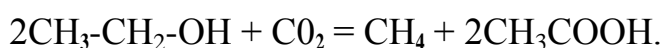
**Рисунок 4- Этапы метанового брожения**

К настоящему времени выделено около 30 метанообразующих бактерий; но список периодически пополняется. *Q-Methanobacterium thermoautotrophicum*, *Methanosarcinaharkerii*, *Methanobrevibacterruminantium* наиболее изученными видами. Все метаногены – термофильные и мезофильные формы анаэробов, гетеротрофы и автотрофы. Химизм процесса метанового брожения состоит из следующих реакций.

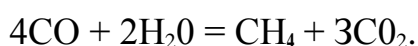
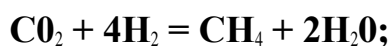
**1. Брожение органических кислот:**

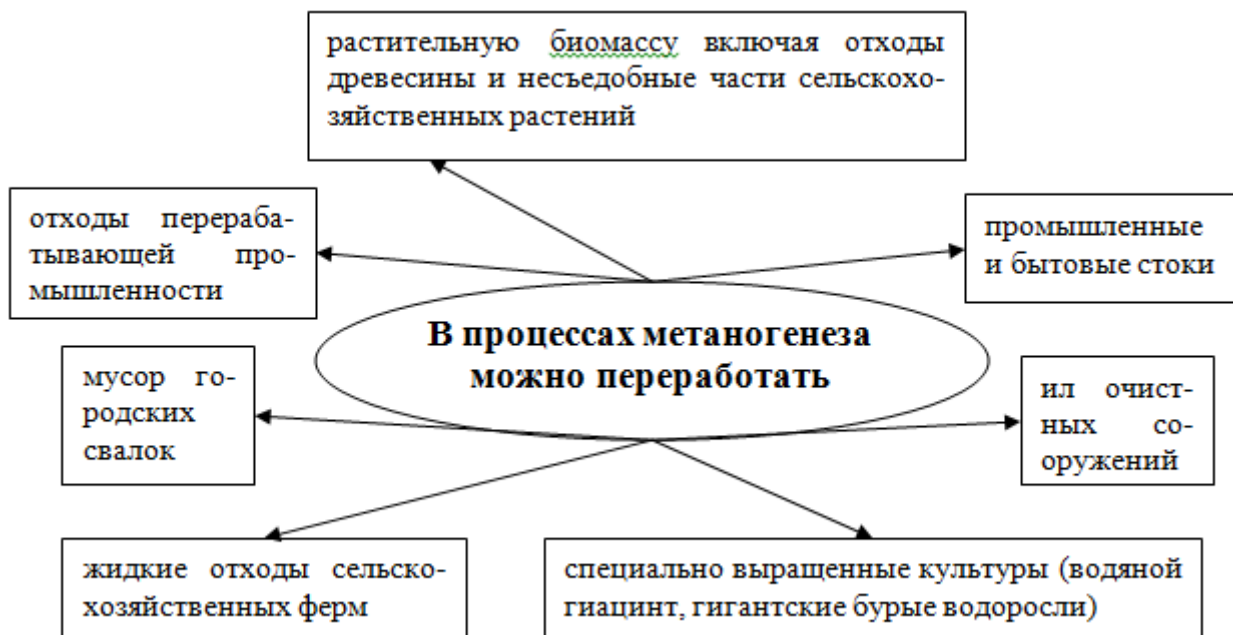


**2. Брожение спиртов:**



**3. Восстановление оксидов углерода:**

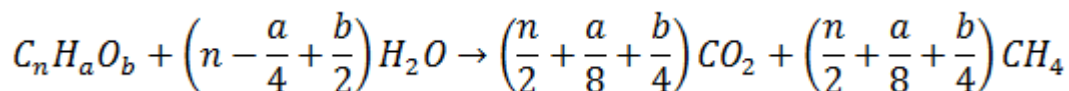




**Рисунок 5 – Исходное сырье для получения биогаза**

Сырье с высоким содержанием целлюлозы эффективно сбраживается и трансформируется в биогаз.

В процессе разложения органического вещества количество конечных продуктов (табл. 6) можно получить согласно уравнению [27]:



Количественный состав биогаза сильно варьирует, однако качественный в достаточной степени постоянен. При этом содержание метана в биогазе варьируется в зависимости от химического состава сырья и может составлять от 50 до 90 %.

Таблица 5 - Состав и выход биогаза при разложении органических веществ

Группа органических веществ	Теоретический выход м <sup>3</sup> СН <sub>4</sub> /кг	Удельный выход биогаза, м <sup>3</sup> /кг	Степень распада, %	Состав биогаза, %		Плотность газа (при 20°C), кг/м <sup>3</sup>
				СН <sub>4</sub>	Н <sub>2</sub>	
Углеводы	0,42-0,47	0,79	64	50	50	1,25
Липиды	0,45-0,55	1,25	70	68	32	1,05
Белки	1	0,704	47	71	29	1,01

В каждом конкретном случае выход биогаза зависит от состава органического вещества, условий процесса. Для группы углеводов навоза и помета степень распада будет иметь следующие значения (табл. 6). В биогаз превращается 30-60% органического вещества.

Таблица 6 - Степень распада углеводов и содержание лигнина в органическом веществе навоза и помета

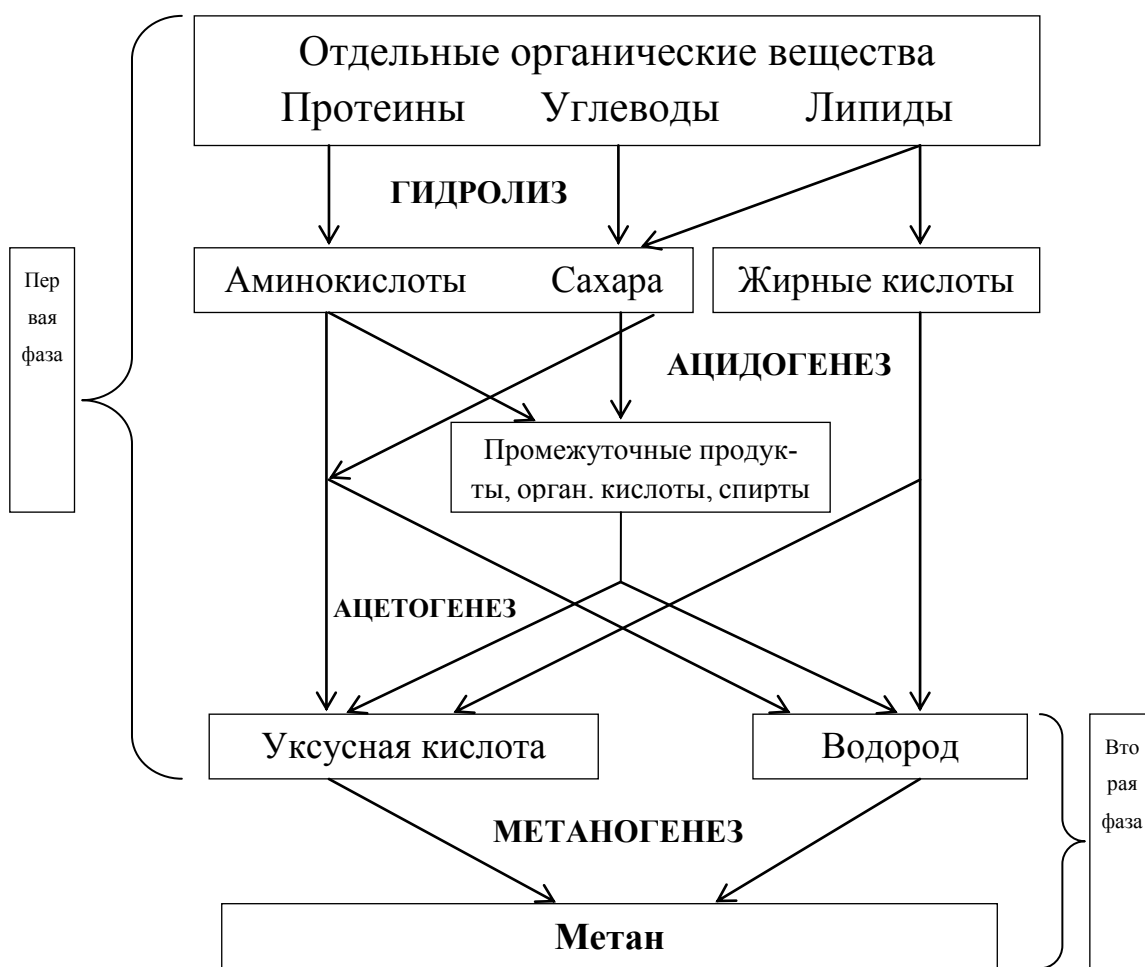
Субстрат	Содержание лигнина, %	Степень распада углеводов, %
Навоз дойных коров	12	30
Навоз КРС (кроме коровьего)	8	42
Навоз свиней	2,2	58
Помет куриный	3,4	54

### 1.3.1 Стадии анаэробного разложения органических веществ

Общая схема метанового «брожения» предложена Баркером представлена на рисунке 6 [27]. Он рассматривал весь процесс, состоящий из двух фаз.

В первой фазе (кислое или водородное брожение) из сложных органических веществ с участием воды образуются кислоты (уксусная, муравьиная, молочная, масляная, пропионовая и др.), спирты (этиловый, пропиловый, бутиловый и др.), газы (углекислый, водород, сероводород, аммиак), аминокислоты, глицерин и др. Этот распад осуществляют обычные сапрофитные анаэробные бактерии, которые широко распространены в природе, быстро размножаются и живут при pH среды 4,5-7. Кислое брожение характеризуется обильным образованием и выделением кислот, что сопровождается подкис-

лением среды и снижением рН до 5-4,5, а также появлением неприятного гнилостного запаха.



**Рисунок 6 - Этапы разложения и анаэробного преобразования органических веществ по Баркеру**

Во второй фазе (щелочное или метановое брожение) метанобразующие микроорганизмы осуществляют дальнейшее разложение веществ, образовавшихся в первой фазе. При этом выделяется газ, состоящий из метана, углекислого газа, водорода и азота.

#### 1.4 Анализ существующих биореакторов

Установки для биометаногенеза с учетом их объемов и производительности можно подразделить на несколько категорий (рис. 7).

### Установки для биометаногенеза

— реакторы для небольших ферм сельской местности от 1 м<sup>3</sup> до 20 м<sup>3</sup>

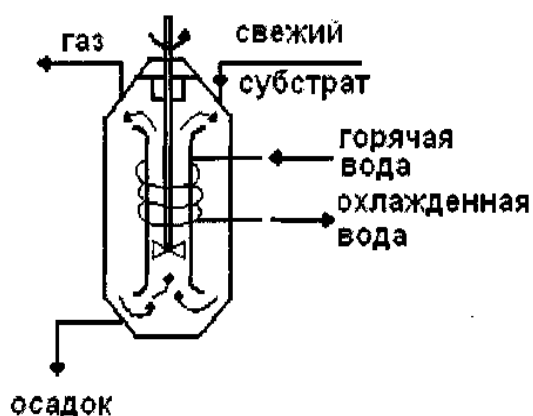
— для переработки твердого мусора городских свалок от 1 м<sup>3</sup> до 100 м<sup>3</sup>

— реакторы для ферм развитых стран от 50 м<sup>3</sup> до 500 м<sup>3</sup>

— реакторы для переработки промышленных отходов от 500 м<sup>3</sup> до 1000 м<sup>3</sup>

**Рисунок 7 – Установки для биометаногенеза**

Метантенк (рис. 8) - это герметичная емкость, частично погружённая в землю снабженная газгольдером - емкостью переменного объема для сбора газа. В конструкции метантенков важным является обеспечение тщательного перемешивания гетерогенного содержимого аппарата. Максимальное выделение метана достигается в аппаратах со слабым перемешиванием. При метаногенезе перемешивание должно обеспечивать гомогенизацию, препятствовать образованию твердой плавающей корки и оседанию твердых частиц.



**Рисунок 8 - Устройство метантенка**

При переработке жидких отходов животноводческих ферм соотношение между твердыми компонентами и водой 1:1, что соответствует концентрации твердых веществ от 8% до 11% по весу. Смесь засевают аценогенными и метанобразующими микроорганизмами из отстоя сброженной массы от преды-

дущего цикла или из другого метантенка [7].

В ходе сбраживания органической массы на первой фазе в результате образования органических кислот рН среды снижается. При резком сдвиге рН среды в кислую сторону возможно ингибирование метаногенов. Поэтому процесс ведут при рН 7,0-8,5. Для предотвращения закисления используют известь. Снижение рН среды свидетельствующим об окончании деструкции органики с образованием кислот, то есть необходимо добавить новую партию сырья. Оптимальное соотношение С:N (11-16): 1.

При метановом брожении, протекают эндотермические процессы, требующие подвода тепла извне. Для подогрева сырья и поддержания стабильной температуры процесса сжигают часть образуемого биогаза. Скорость протекания процесса и температура зависят от вида метанового сообщества, используемого в процессе. Для термофильных организмов процесс реализуется при 50-60°C, для мезофильных - при 30-40°C и около 20°C - для психрофильных организмов. При повышенных температурах скорость процесса в 2-3 раза выше по сравнению с мезофильными условиями. Для нормальной работы метантенков осадок в них должен поступать равномерно и при сбраживании подогреваться до заданной температуры. Количество осадка, подаваемого ежедневно в метантенки, должно составлять при мезофильном режиме от 7% до 10% от объема метантенка, при термофильном режиме - от 14% до 19%. Продолжительность сбраживания в мезофильных условиях - от 10 до 14 суток, в термофильных условиях - от 5 до 7 суток. Величина максимально возможного сбраживания для разных по химическому составу осадков в среднем составляет: для осадка первичных отстойников до 53%, для активного ила - до 44%.

Основными путями интенсификации технологии анаэробного сбраживания являются:

- оптимизация исходной влажности осадка и нагрузки на метантенки;
- конструктивное разделение двух свойственных процессу фаз - кислого брожения и метанового брожения - на две и более ступени;

— повышение температуры сбраживания и улучшение условий перемешивания содержимого метантенков.

При фазовом разделении анаэробного сбраживания на две ступени и более общая продолжительность процесса может быть сокращена до 3-4 суток. В целом, анаэробное сбраживание целесообразно применять для крупных очистных станций [7].

### **Вывод по главе**

В результате проведенного литературного обзора выявлено, что многие компоненты твердых коммунальных отходов могут быть утилизированы в виде вторичных ресурсов, исключение составляют пищевые отходы. Показано, что старые свалки выделяют значительное количество биогаза, который можно использовать для получения биогаза в конструируемых биореакторах. Определена необходимость разработки грунтового реактора для биоброжения пищевых отходов городов..

## ГЛАВА 2. РАЗРАБОТКА БИОРЕАКТОРА ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ ПИЩЕВЫХ ОТХОДОВ

### 2.1 Получение биогаза

При нормальных условиях работы реактора биогаз содержит 70% метана, 30% двуокиси углерода, небольшой процент сероводорода, а также примеси водорода, аммиака и окислов азота. Наиболее эффективны реакторы, работающие в термофильном режиме, при 43-52°C. Обработка навоза в течение трех дней обеспечит выход биогаза 4,5 л на каждый литр полезного объема реактора. Для интенсивности процесса анаэробного сбраживания навоза и выделения биогаза в исходную массу добавляют органические катализаторы, способствующие изменению соотношения углерод - азот (оптимальное соотношение C:N 20:1 или 30:1). Чаще всего используют такие органические катализаторы как глюкоза и целлюлоза.

Ориентировочное содержание азота и соотношение содержания углерода и азота в различных отходах по сухой массе представлены в таблице 7.

**Таблица 7- Содержание азота и соотношение C/Nв различных отходах**

Вид отходов	Содержание общего N(%)	Соотношение C/N
<b>Животноводческие фермы</b>		
Моча	15-18	0,8
Смесь отходов	7-10	2,0
Птичий помёт	6,3	-
Навоз		
• овечий	3,8	-
• свиной	3,8	-
• лошадиный	2,3	25
• коровий	1,8	18
<b>Растительные отходы</b>		
Солома	1,1	48
Отходы льна	1,0	58
Сырые опилки	0,25	208

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

Для ускорения процесса брожения и выхода биогаза необходимо проводить в бродильных камерах энергичное перемешивание, чтобы избежать



образование всплывающего вещества в верхнем слое. Для получения такой же производительности без перемешивания объем реакторов должен быть значительно увеличен, что приведет к большим затратам.

В результате сбраживания кроме конечных продуктов образуется остаток, состав которого зависит от химического состава исходного сырья. Остаток содержит значительное количество питательных веществ и может быть использован в качестве удобрения.

Сегодня принято использовать постепенный процесс, при котором субстрат подается на протяжении дня несколько раз небольшими порциями, что в свою очередь ведет к равномерному производству биогаза.

Производство газа из 1 кг органического субстрата постепенно увеличивается вместе с увеличением времени для брожения, вначале быстрее, по мере возрастания времени брожения медленнее. Наступает такой момент, когда количество произведенного газа настолько мало, что долгосрочное пребывание в ферментаторе с экономической точки зрения более нецелесообразно. В большинстве биогазовых установок процессы расщепления протекают параллельно, то есть они не разделены ни территориально, ни во времени. Такие технологии называют одноступенчатыми.

Для субстратов с быстрым расщеплением для гидролиза и окисления рекомендуется предусмотреть отдельный резервуар, чтобы продукты разложения дозировано подавать в ферментатор (двухступенчатая технология). Преимуществом является выдерживание эффективности работы бактерий путем создания оптимальных условий жизнедеятельности. Так можно достичь большего производства биогаза.

Раздел фаз соответствует условиям жизнедеятельности бактерий и имеет свои преимущества, но не имеют большого распространения. Дополнительные потери на второй резервуар, на системы смешивания, отопления и насосы могут окупиться лишь для определенных видов субстратов.

Время брожения субстрата в ферментаторе вместе с температурой брожения имеет большое влияние на степень разложения, выход газа и до-

бычу газа.

Среднее время брожения с 1985 г. возросло с 35 до 51 дня. Эти данные получены после внедрения федеративной программы по измерению длительности брожения на биогазовых установках. Согласно этим исследованиям 55% установок работают в среднем с периодом брожения от 60 до 120 дней.

С экономической точки зрения целесообразно, рассчитывать время брожения и связанный с этим размер ферментатора как можно точнее, поскольку это напрямую связано с затратами на строительство. И все-таки время брожения надо выбирать так, чтобы, загрузка ферментатора не превышала 4 кг орган. СВ/м<sup>3</sup> день, изменения в составе и количестве субстрата оставались в определенных пределах и чтобы для установки оставался потенциал для расширения. Поэтому при расчете размеров ферментатора надо учитывать дополнительных 20% размера резервуара. Для субстратов, которые быстро разлагаются и склонны к переокислению, а также для субстратов с высоким содержанием азота и способных вызвать аммиачную задержку в развитии бактерий, необходимо учитывать более длительное время брожения.

Для субстрата в виде жидкого навоза предварительно действуют такие сроки брожения: 20 - 25°C процессуальная температура, 60 - 80 дней брожения; 30 - 35°C процессуальная температура, 30 - 50 дней брожения; 45 - 55°C процессуальная температура, 15 - 25 дней брожения.

Для энергетических растений время брожения в ферментаторе должно составлять как минимум 42 дня. Субстраты, происходящие из отходов переработки агропромышленности, имеют более короткий период брожения от 20 до 35 дней.

В лабораториях газоанализа в основном через 4-6 недель, в зависимости от вида субстрата, заканчивают исследование по скорости газообразования, поскольку количество образованного газа после этого минимально. Если к этому периоду добавить еще запасных 2 недели, так как в лаборатории всегда удастся создать лучшие рамочные условия чем на практике, то минимальный срок 50 дней для сельскохозяйственной практики вполне реалистичен. Ключ-

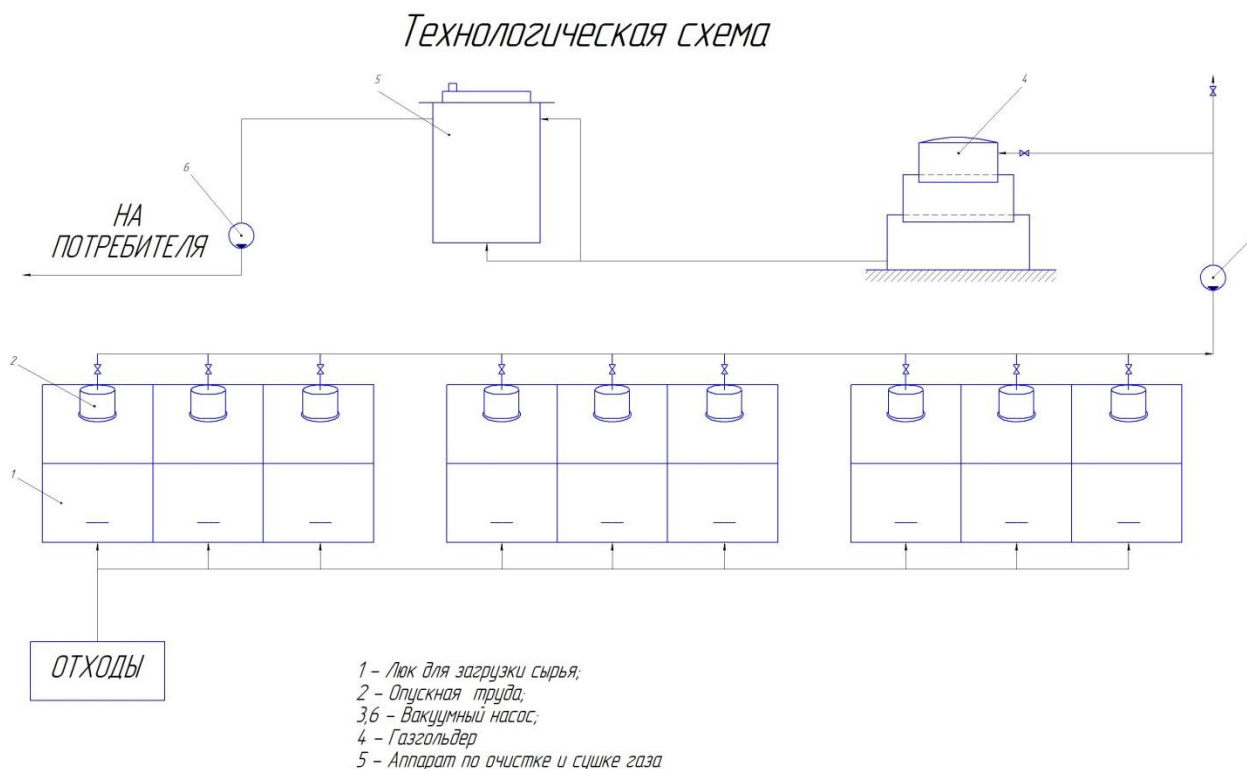
чевые факторы, влияющие на эффективность брожения.

**Температура.** Метановые бактерии проявляют свою жизнедеятельность в пределах температуры 0-70°C, несколько штаммов могут жить при температуре до 90°C. Различают три характерных уровня температур: психрофильный режим — 8...20° С; мезофильный — при 25...40°C, термофильный — при 45...60° С. Режимы с более высокими температурами требуют больших затрат энергии на поддержание оптимальной температуры, но благодаря сокращению продолжительности сбраживания удается значительно сократить объем биореактора и таким образом увеличить производительность биогазовой установки.

**Площадь поверхности частиц сырья.** Чем меньше частички субстрата, тем лучше. Чем больше площадь взаимодействия для бактерий и чем более волокнистый субстрат, тем легче и быстрее бактериям разлагать субстрат.

**Уровень рН.** Для нормального протекания брожения необходима слабощелочная реакция среды (рН=7...8). При оптимальной активности кислотообразующих и метановых бактерий значение рН поддерживается в желательных пределах «автоматически». Однако иногда кислотообразующие бактерии начинают размножаться быстрее, чем метановые, происходит «закисление», в результате чего выход биогаза снижается, а кислотность биомассы увеличивается. В этом случае в содержимое биореактора следует добавить горячую воду, известковое молоко, соду. При нарушении баланса между азотом и углеродом его восстанавливают добавлением в биомассу коровьей мочи [44].

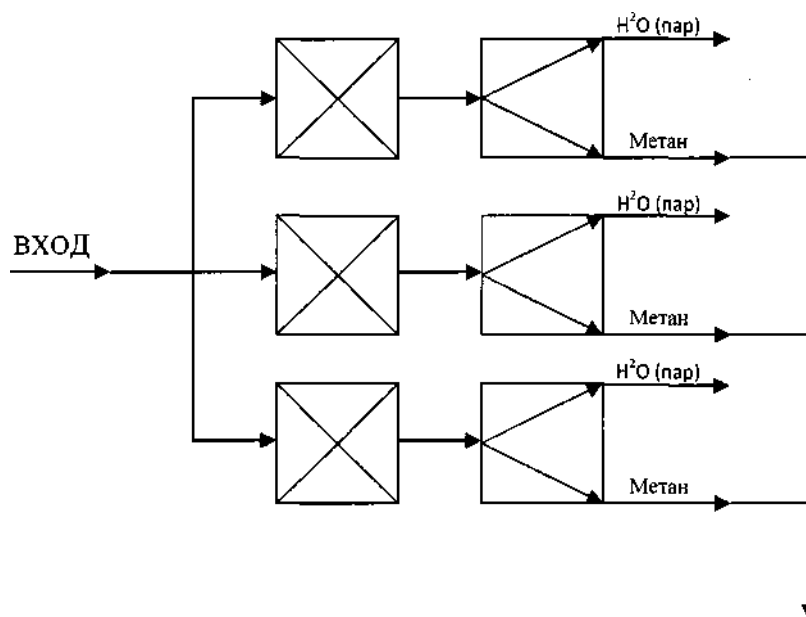
## 2.2 Разработка конструкции биореактора



**Рисунок 9 - Принципиальная схема**

Пищевые отходы на предприятие поступают с помощью самосвалов. Загружаются посекционно в один из трех грунтовых реакторов. Объем одного реактора равен  $2340\text{ м}^3$ . И объем каждой секции равен  $810\text{ м}^3$ . Загрузка каждой секции будет осуществляться в течении трех дней, и данная секция, не зависимо от остальных, становится на режим производства биогаза. выделяющийся газ под действием вакуумного насоса 3 будет выкачиваться в газгольдер 4. Газ, собранный в газгольдере объемом  $30\ 000\text{ м}^3$  может храниться длительное время, если не происходит его переполнение. Либо подаваться на установку 5 для очистки и осушки. Затем с помощью насоса 6 подается потребителю.

По окончании работы каждой секции оставшаяся масса выгружается с помощью крана, для производства из нее эффективных удобрений для сельского хозяйства. В связи с высокой влажностью пищевых отходов (30 %) после выгрузки твердого остатка возможно наличие жидкой фазы, которая также является весьма эффективным удобрением. В перспективе при эксплуатации биореакторов может выявиться необходимость создания системы откачки этой воды из каждой секции и ее хранения для последующей реализации потребителем.



Ри-

**сунк 10 – Функциональная химико-технологическая схема грунтового реактора**

На рисунке 10 приведена функциональная химико-технологическая схема отражающая процессы, происходящие в грунтовом реакторе. Пищевые отходы, собранные по городу, поступают на предприятие по переработке пищевых отходов и загружаются в конкретную секцию грунтового реактора. Выделяющийся за счет вакуумного насоса биогаз, подается на установку очистки, обозначенную на схеме символом разделения. Сухой метан собирается и отправляется потребителям. Очистка производится адсорбционным способом и адсорбент, кроме паров воды, поглощает сопутствующие, не желательные пахучие компоненты, что

существенно повышает качество вырабатываемого биогаза.

### **2.3 Проектирование полигона**

Выбор участка под полигон и изыскательские работы.

1. Полигоны размещаются за пределами городов и других населенных пунктов. Размер санитарно-защитной зоны от жилой застройки до границ полигона 500 м. Кроме того, размер санитарно-защитной зоны уточняется при расчете газообразных выбросов в атмосферу. Границы зоны устанавливаются по изолинии 1 ПДК, если она выходит из пределов нормативной зоны. Уменьшение зоны менее 500 м не допускается.

2. Перед проектированием необходимо определить район, в котором осуществляется подбор участка для размещения полигона.

По гидрогеологическим условиям лучшими являются участки с глинами или тяжелыми суглинками и грунтовыми водами, расположенными на глубине более 2 м. Исключается использование под полигон болот глубиной более 1 м и участков с выходами грунтовых вод в виде ключей, затопляемых паводковыми водами территорий, районов геологических разломов, а также земельных участков, расположенных ближе 15 км от аэропорта.

Под полигоны отводятся отработанные карьеры, свободные от ценных пород деревьев, участки в лесных массивах, овраги и другие территории.

3. Площадь участка, отводимого под полигон, выбирается, как правило, из условия срока его эксплуатации не менее 15-20 лет.

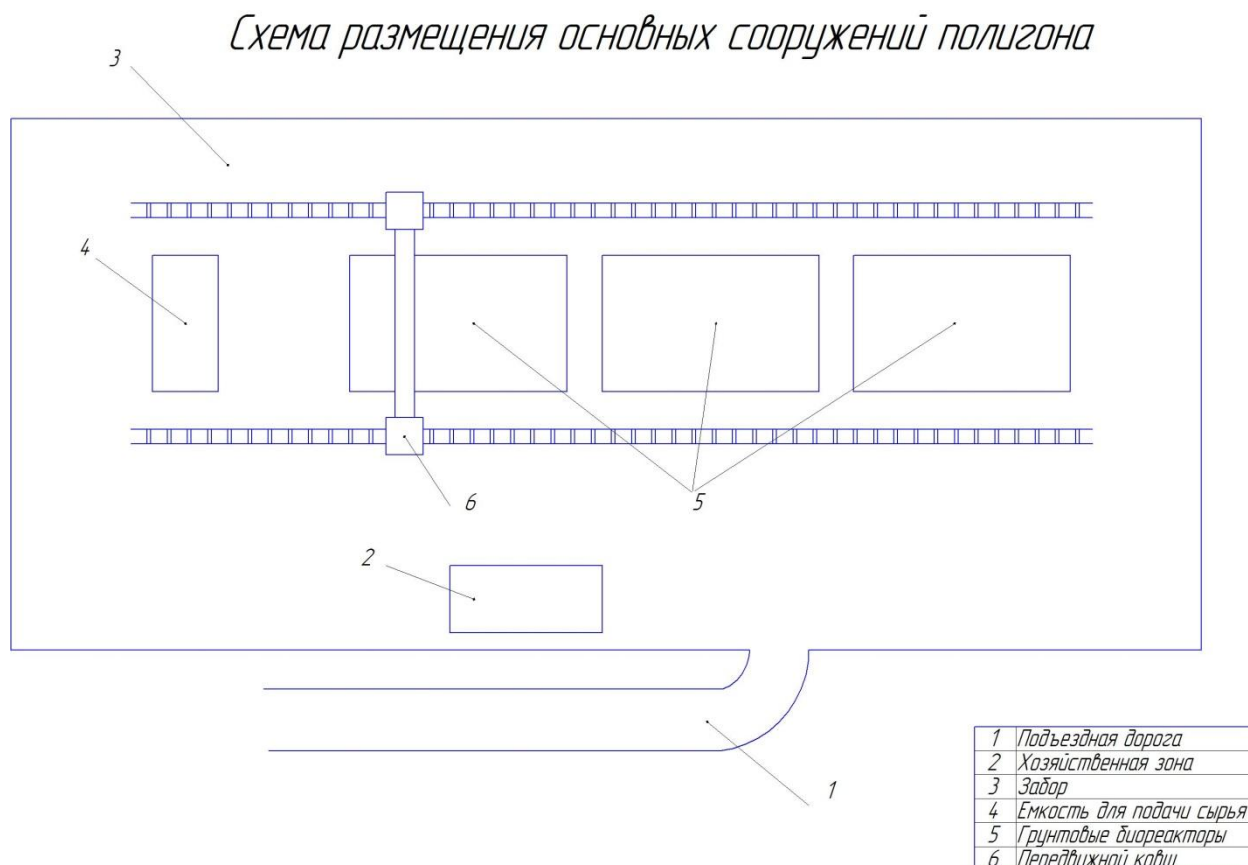
4. Наиболее экономичны земельные участки прямоугольной формы и допускающие максимальную высоту складирования ТКО

5. Подъездная дорога соединяет существующую транспортную магистраль с участком складирования ТКО. Подъездная дорога рассчитывается на двустороннее движение. Категория и основные параметры подъездной автодороги определяются в соответствии с расчетной интенсивностью движения, автомобиль/сутки.

6. По периметру на полосе шириной 5-8 м проектируется посадка де-

ревьев, прокладываются инженерные коммуникации (водопровод, канализация), устанавливаются мачты электроосвещения

7. Хозяйственная зона проектируется на пересечении подъездной дороги с границей полигона, что обеспечивает возможность эксплуатации зоны на любой стадии заполнения грунтового биореактора. В хозяйственной зоне размещаются бытовые и производственные сооружения [26].



**Рисунок 11 - Схема размещения основных сооружений полигона**

При трассировке газопровода необходимо учитывать геометрические отметки местности.

Биогаз легче воздуха ( $\gamma_{\text{б}} = 1,05 - 1,2 \text{ кг/м}^3$ ), поэтому стремится вверх, создавая дополнительное гидравлическое давление, определяемое по формуле:

$$H_{\text{г}} = \pm l(\gamma_{\text{в}} - \gamma_{\text{б}}), \quad (1)$$

где  $H_{\text{г}}$  - изменение давления газа при изменении высоты положения газопровода, Па;

$l$  - разность геометрических отметок, м;

$\gamma_{в}, \gamma_{б}$  - плотность воздуха и плотность биогаза, кгс/м<sup>3</sup>.

Знак «плюс» относится к более высоким отметкам, знак «минус» - к более низким по отношению к исходной плоскости. Для биогаза плотностью 1,15 кгс/м<sup>3</sup> при разности отметок 20 м величина гидростатического давления составит:

$$H_{г} = 20(1,293 - 1,15) = 2,86 \text{ кгс/м}^2 = 28,6 \text{ Па.}$$

При движении биогаза вниз гидростатическое давление увеличивает потери на трение, при движении вверх - уменьшает их.

Нормальная работа газоиспользующего оборудования обеспечивается в условиях стабильного давления газа. Разветвленная газовая сеть характеризуется подача биогаза из разных точек и направлений к одному потребителю. В такой сети расход газа определяется расположением точек питания сети и точки газоразбора. Каждый участок сети пропускает расход, равный сумме расходов всех скважин, лежащих выше данного участка.

**Таблица 8 - Исходные данные по г. о. Тольятти**

Компонент	Содержание, % массы	Содержание, по г. Тольятти масса, тыс.т/г	Автозав. р-н, тыс.т/г	Центр.р-н, тыс.т/г	Комс. р-н, тыс.т/г
1	2	3	4	5	6
Бумага, картон	28.0	89.6	50.4	28.0	11.2
Пищевые отходы	33.0	105.6	59.4	33.0	13.2
Дерево	10.0	32	18.0	10.0	4.0
Металл черный	3.0	9.6	5.4	3.0	1.2
Металл цветной	0.7	2.24	1.26	0.7	0.28
Текстиль	2.0	6.4	3.6	2.0	0.8
Кости	1.0	3.2	1.8	1.0	0.4
Стекло	1.0	3.2	1.8	1.0	0.4
Кожа, резина	3.0	9.6	5.4	3.0	1.2
Камни	1.0	3.2	1.8	1.0	0.4
Пластмасса	2.5	8.0	4.5	2.5	1.0
Прочее	2.0	6.4	3.6	2.0	0.8
Отсев (< 15 мм)	12.8	40.96	23.04	12.8	5.12
Итого:	100%	320.0	180,0	100.0	40.0

Исходные данные для расчетов взяты из ежегодных отчетов экологической службы города Тольятти.

Для Автозаводского района количество пищевых отходов составляет



59,4 тыс. т/г. Для дальнейших расчетов округлим это значение до 60 тыс. т/г.

## **2.4 Строительство грунтовой биогазовой установки и выбор размера реактора**

Планирование сооружения биогазовых установок реактора долгосрочное действие. В работе рассмотрено строительство три грунтовых реакторов. Каждый, из которых будет принимать по 20 тыс. т /г. Его размеры составят: длина 54 м, ширина 9 м, глубина 5 м. Так как полная загрузка реактор на три секции размерами 18x9x5. Запуск реактора будет происходить посекционно, по мере заполнения.

В дальнейшем для расширения производительности грунтовых реакторов, возможно следующие приемы:

- введение в состав отходов глюкоза-содержащих компонентов, которые являются катализаторами процесса биоброжения;
- введение подогрева сырья путем подачи тепла на змеевики, расположенные на опускных скважинах.

**Обеспечение герметичности реактора.** При строительстве биогазовой установки с бетонным реактором, необходимо обеспечить газо- и водонепроницаемость. Изнутри реактор необходимо покрыть слоем вещества устойчивого к температурам до 60°C и к воздействию органических кислот и сероводорода [18].

Приготовленную яму заливаем бетоном М3-50. Водо- и газонепроницаемость обеспечивается добавлением к бетону водонепроницаемых материалов. Нанесение на стены должно происходить слоями. Время между нанесением слоев не должно быть более суток, после к водонепроницаемой поверхности следующий слой не прикрепится. Конструкция состоит из 10 слоев по 2 см каждый, между 5 и 6 слоем арматурная сетка. Рассчитаем необходимое количество материала:

$$V_{\text{дно}} = 54 \cdot 9 \cdot 0,2 = 97,2 \text{ м}^3, \quad (2)$$

$$V_{\text{бол.стена}} = 54 \cdot 5 \cdot 0,2 = 54 \text{ м}^3, \quad (3)$$

$$V_{\text{мал.стена}} = 9 \cdot 5 \cdot 0,2 = 9 \text{ м}^3, \quad (4)$$

$$V_{\text{перегородка}} = V_{\text{мал.стена}} 9 \cdot 5 \cdot 0,2 = 9 \text{ м}^3, \quad (5)$$

$$V_{\text{общ}} = 97,2 + 2 \cdot 54 + 2 \cdot 9 + 2 \cdot 9 = 241,2 \text{ м}^3, \quad (6)$$

Будем считать, что на строительство реактора будет достаточно 6 т арматурной сетки 20x20x0,8 мм.

Контрольно-измерительные приборы включают: контроль уровня сырья в реакторе, контроль температуры и давления внутри реактора.

Перед тем, как загрузить пищевые отходы в реактор их собирают в емкость для подачи сырья. Размер емкости должен равняться суточному объему сырья. Емкость используют для достижения однородности и влажности сырья, иногда с применением механических перемешивающих устройств. Для того, чтобы процесс сбраживания начинался сразу после загрузки новой порции, путем подогрева сырья, емкость располагают на солнечной стороне.

В своей работе предлагаю использовать контейнер с открывающимся нижним люком, заполняющийся приезжающими мусоровозами и перемещаемого с помощью крана в секции. Для простоты его обращения, необходимо проложить рельсы вдоль всех трех реакторов. Для выгрузки предлагаю использовать механический строительный ковш. Циклическая работа реакторов позволит своевременную выгрузку остатков со дна реактора.

Биогазовую установку с газовыми приборами, с помощью труб, соединяет газовая система. Она должна быть безопасной, экономичной и обеспечивать необходимое количество газа. Чаще всего используют трубы из гальванизированной стали или пластиковые. Важно обеспечить газонепроницаемой газовой системы, чтобы она служила на протяжении всего эксплуатационного периода.

Трубопроводы для подачи биогаза должны быть защищены от повреждения. Утечки можно проверить мыльным раствором, путем нанесения на места швов. Также газопровод должен быть оснащен предохранительно-сбросным клапаном. Избыток биогаза необходимо сжигать в факельных горелках. Для больших установок необходим особый расчет размера труб. При установке газовых труб особое внимание должно уделяться газонепро-

нищаемости соединений; водяному затвору на самом низком участке труб; защите от повреждений.

Гальванизированные стальные трубы являются надежными и долговечными, удароустойчивыми, могут использоваться повторно. Но дорогостоящие и их установка возможна только высококвалифицированными специалистами. Для отвода газ непосредственно от биогазовой установки рекомендуется использовать гальванизированные стальные трубы с перфорацией диаметром 2,4 см. Для промежуточных и магистрального газопроводов используем трубы из полиэтилена низкого давления с маркировкой «ГАЗ».

Самые надежные краны это хромированные шаровые клапаны. Главный газовый клапан должен быть установлен близко к реактору. Шаровые краны должны быть установлены на всех газовых приборах. Правильно подобранные краны и арматура позволяют проводить работы по ремонту и чистке газовых приборов без отключения главного газового крана.

## **2.5 Газгольдеры**

Газгольдер (поз.9) стационарное стальное сооружение для приёма, хранения и выдачи газов в распределительные газопроводы или установки по их переработке и применению. Различают газгольдеры переменного и постоянного объёма. Газгольдер переменного объёма состоит из цилиндрического вертикального резервуара, наполненного водой, и колокола. Сверху этот резервуар снабжён сферической крышей. Через дно бассейна под колокол подводится газопровод. При заполнении внутреннего пространства Газгольдер газом колокол поднимается; при отборе газа — опускается.

В настоящее время наибольшее распространение получили мокрые газгольдеры. В нашей технологической схеме используется именно он.

В мокром газгольдере переменной емкости, днище резервуара коническое, у его основания установлена заборная часть патрубка опорожнения резервуара от осаждающихся веществ проточной жидкости. В качестве проточной жидкости применяется нагретая анаэробно сброженная осаждающаяся жидкая масса. Периодичность ввода проточной жидкости устанавливают в

соответствии с периодичностью выгрузки массы из метантенка. В резервуаре есть патрубок опорожнения от жидкости и люк очистки дна резервуара от осадков.

На рисунке 10 схематично приведено устройство мокрого газгольдера переменной емкости, где на фиг.1 показан в разрезе общий вид мокрого газгольдера, а на фиг.2 - показан вид по А-А на фиг.1.

Предложенный мокрый газгольдер переменной емкости содержит резервуар 1 с конусным днищем 2 и с подъемно-опускаемым колоколом 3. В резервуаре 1 выполнены патрубки заполнения 4 и 5 опорожнения резервуара 1 проточной жидкостью, патрубок подвода и отвода биогаза 6, заборная часть 7 патрубка опорожнения 5 резервуара 1 от проточной жидкости с осадком, выполненная в виде изогнутой трубы, нижний конец которой установлен в центре конусного днища 2, а верхний - вмонтирован в расширенную верхнюю часть изогнутого патрубка опорожнения 5 на расстоянии "Б" от верха резервуара 1 и несколько выше патрубка 5, что обеспечивает слив из резервуара 1 проточной жидкости, вытекающей с осадком с верхнего конца трубы заборной части 7. Для опорожнения резервуара от жидкости в днище 2 выполнен патрубок 8, а для периодической очистки днища 2 раз в 3-4 года от осадков снизу в стенке резервуара 1 выполнен люк с крышкой 9. Для установления регламентируемого СНиП давления биогаза в метантенках и газгольдерах к колоколу 3 снизу прикреплены съемные грузы 10, вес которых назначается с учетом диаметра и веса колокола 3.

Эксплуатация должна осуществляться с соблюдением руководства по безопасности. Должны быть учтены температура и влажность загружаемой сброженной массы.

Основным экономическим эффектом от использования предлагаемого мокрого газгольдера переменной емкости является значительное снижение затрат на эксплуатацию зимой за счет исключения необходимости применения пароструйных элеваторов и других средств подогрева.

# Устройство мокрого газгольдера

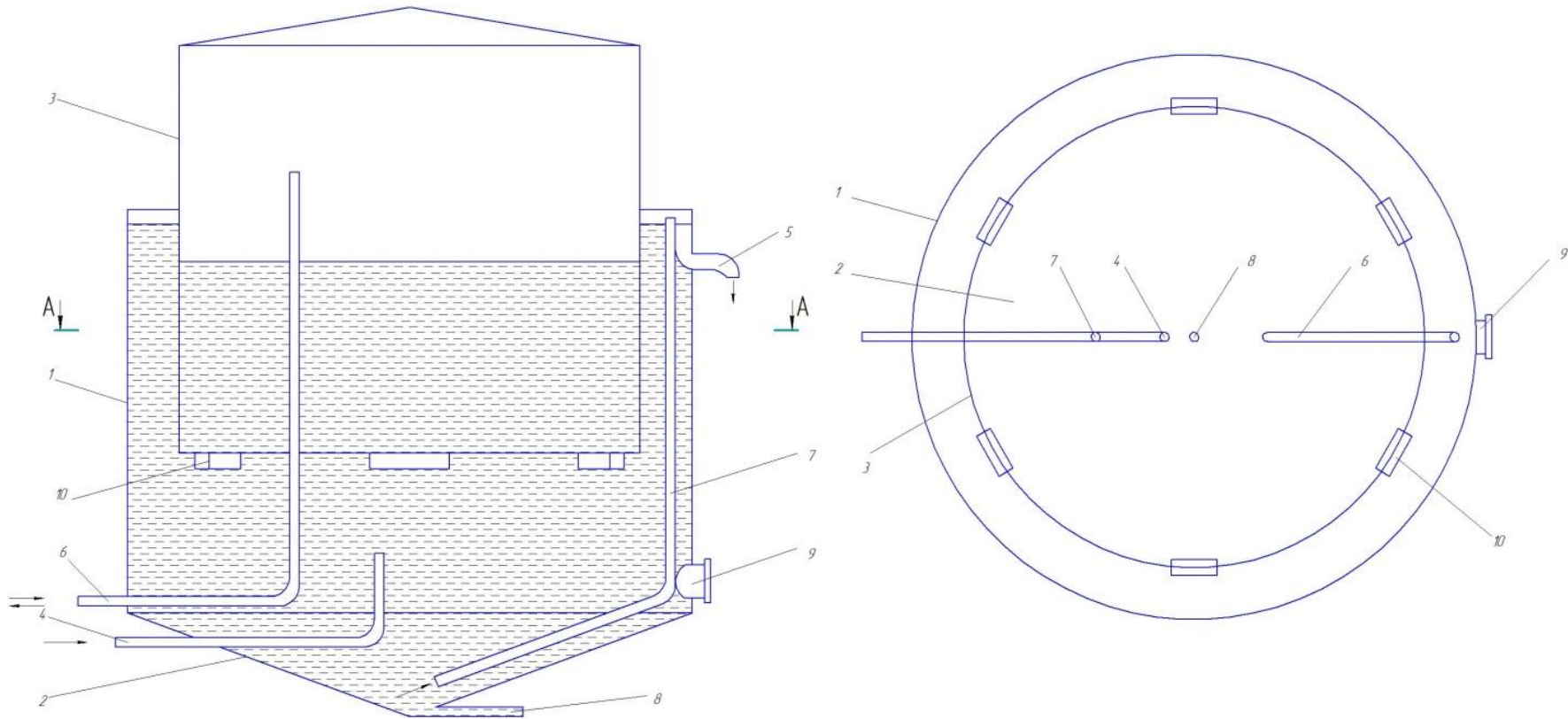
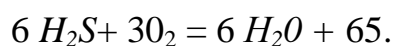
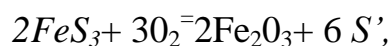
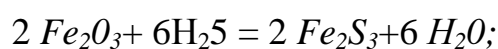


Рисунок 10 - Устройство мокрого газгольдера

## 2.6 Очистка и осушка биогаза

В конечной точке газопровода установлено устройство по очистке и осушке биогаза. Полученный биогаз имеет высокий процент влажности и содержит сероводород. Улавливание сероводорода осуществляют несколькими способами. По назначению их делят на два: с поглощением серы и без. По агрегатному состоянию сорбента на твердофазные и жидкофазные. На полигонах ТКО рекомендуют использовать сухую очистку без утилизации серы, с использованием в качестве сорбента оксид железа.

Тогда сорбция протекает следующим образом:

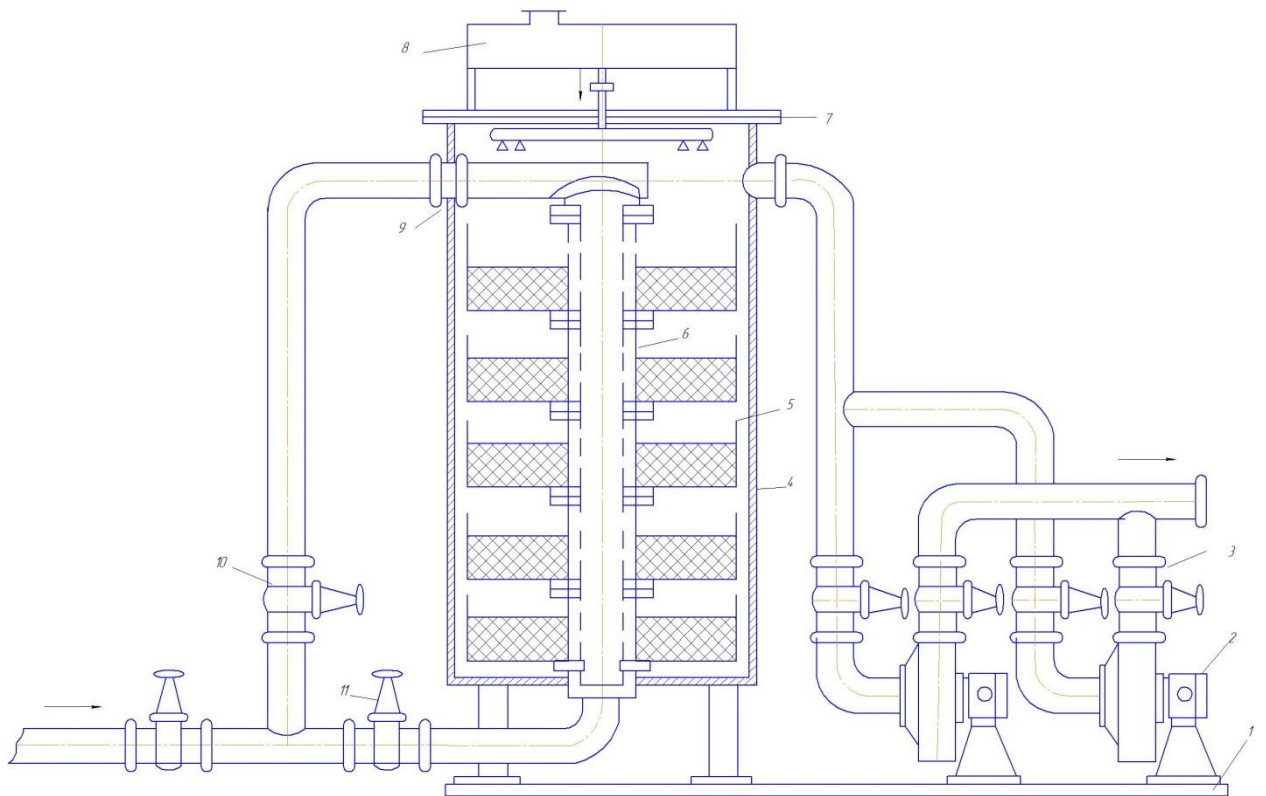


Чтобы избежать снижение активности сорбента, при достижении концентрации серы в массе сорбента 30 - 40 % засыпают новую порцию.

Очистку прекращают когда содержание сероводорода достигает не более 0,002 г/м<sup>3</sup>. Время контакта сорбента с биогазом необходимо поддерживать до 5 мин, а скорость 5-7 мм/с.

Процесс улавливания сероводорода с помощью оксида железа экзотермический. Выделяемой теплоты достаточно для осушки биогаза. Конструкция аппарата башенного типа по очистке и осушке биогаза приведена на рисунке 11. Высота 3 м, диаметр 1,2 м, имеет пять контейнеров для сорбента, высотой 10 - 12 см, производительность 250-500 м<sup>3</sup>/ч биогаза.

## Аппарат по очистке и осушке биогаза



**Рисунок 11 - Аппарат по очистке и осушке биогаза**

1 - рама; 2 - вентилятор; 3, 10, 11 - задвижки; 4 - корпус; 5 - контейнеры; 6 - ствол; 7 - крышка; 8 - бак; 9 - трубопровод.

Контейнеры 5 собираются на ствол 4 и устанавливаются на корпус 2. На корпус 2 устанавливается ствол 4 на который крепятся контейнеры 5, заполненные сорбентом в два слоя. Между верхним внутренним фланцем корпуса 2 и фланцем верхнего контейнера 5 установлен трубопровод 6. Корпус 2 закрыт крышкой 3. На баке 8 с аммиачной водой устанавливают запорные вентили в положение «Закрыто». Задвижки 10, 11 и 7 на входе в корпус 2 и выходе из него находятся в положении «Закрыто». Открыв чугунную задвижку 11, газ направляют в ствол 4. Газ из центрального ствола поступает в контейнеры 5 в пространство между двумя слоями сорбента. Затем газ выходит в кольцевое пространство и направляется к выходному патрубку. Периодически сорбент орошается аммиачной водой, для чего открываются запорные вентили на баке 8.

Для равномерного поглощения сероводорода сорбентом предусмотрено переключение направления движения газа снизу-вверх на движение сверху-вниз. В качестве сорбента может быть использован активный уголь марок АГ-3, АГ-5, СКД.

## **2.7 Обслуживание биогазовой установки**

Для оптимальной эксплуатации биогазовых установок большое значение имеют суточная доза загрузки свежего сырья и периодичность ее внесения. Для мезофильного режима оптимальной дозой суточной загрузки считается 6- 10% от полного объема сырья с продолжительностью сбраживания до 20 суток. Для термофильного режима оптимальной дозой загрузки можно считать 15-25% при продолжительности брожения от 4 до 8 суток. При использовании термофильного режима сбраживания рекомендуется загружать не более 2% при ежесуточном добавлении нового сырья. Если используется метод порционной загрузки, то реактор загружается сразу на 2/3 и сырье перерабатывается без добавления свежего навоза в течении 40 и более дней.

Суточная доза должна вноситься порциями через одинаковые промежутки времени 4-6 раз в сутки. После каждой загрузки необходимо перемешивать сырье.

Интенсивность выделения биогаза и цвет сброженной массы характеризуют процесс сбраживания сырья в реакторе. Слабое образование биогаза свидетельствует о низкой активности микроорганизмов, при это сброженная масса имеет серый цвет.

При избытке питательных веществ возможно образование кислот и снижение активности микроорганизмов. Цвет сброженного сырья в этом случае изменяется на черный, а на его поверхности может образоваться белая пленка. Нейтрализовать кислоты можно введением растительной золы или известковой воды.

Если сброженная масса имеет темно-коричневый цвет и при этом на ее поверхности образуется пена, то можно считать, что идет нормальный про-



цесс брожения.

Особой проблемой маленьких установок является закупорка отверстий реактора. Это может привести к слишком большому давлению внутри реактора и закупорке газовой трубы. Для предотвращения этого необходимо проверять уровень сырья и состояние отверстий установки ежедневно.

**Еженедельные операции:** контроль водяных затворов; обновление газовых фильтров; чистка купола в установках с плавающим куполом; проверка гибких шлангов и труб на появление пор.

**Ежегодные операции:** удаление корки на поверхности сырья и осадка со дна реактора установки; вся установка и газовая система должны быть проверены на герметичность давление.

## 2.8 Расчет выхода биогаза

Результаты анализов проб отходов, отобранных на полигоне:

- содержание органической составляющей -  $O = 55\%$ ;
- содержание жироподобных веществ в органике отходов -  $O_{ж} = 27\%$ ;
- содержание углеводородных веществ в органике отходов -  $O_{у} = 23\%$ ;
- содержание белковых веществ в органике отходов -  $O_{б} = 50\%$ ;
- влажность отходов -  $W = 47\%$ .

Полигон действует 16 лет. Образование отходов составляет 163578,3 т.

Удельный выход биогаза за период активного его выделения определяем по формуле 7:

$$V_{\text{б,уд}} = 10^{-6} \cdot 55 \cdot (100 - 47) \cdot (0,92 \cdot 27 + 0,62 \cdot 23 + 0,34 \cdot 50) = 0,163531 \frac{\text{кг}}{\text{кг}} \text{отходов} \quad (7)$$

Период активного выделения биогаза ( $t_{\text{ср}} = 12,7^{\circ}\text{C}$ ;  $T_{\text{тепл}} = 244$  дн.) равен:

$$\tau_{\text{выд}} = \frac{10248}{244 \cdot (12,7)^{0,801}} = 19,5 \text{лет} \quad (8)$$

Определяем количественный выход биогаза за год, отнесенный к одной тонне захороненных отходов по формуле 9:

$$Q_{\text{биогаз}} = \frac{0,163531}{19,5} \cdot 10^3 = 8,38 \text{ кг/т отходов в год} \quad (9)$$

Плотность биогаза определяем по формуле 10:

$$\rho_{\text{биогаз}} = 10^{-6} \cdot 1249223 = 1,249 \text{ кг/куб.м} \quad (10)$$

Весовое процентное содержание компонентов в биогазе определяем по формуле 11 (исключаем CO<sub>2</sub> так как вещество не нормируется):

$$C_{\text{вес}i} = 10^{-4} Ci / \rho_{\text{биогаз}} \quad (11)$$

Удельные массы компонентов биогаза, выбрасываемые за год определяем по формуле (12):

$$\rho_{\text{уд}i} = (C_{\text{вес}i} \cdot \rho_{\text{уд}}) / 100, \text{ кг/т отходов в год} \quad (12)$$

Активно вырабатывают биогаз отходы, завезенные на полигон за период с начала его работы до момента расчета минус последние два года, т.е. за 14 лет:

$$Q_{\text{сум}} = 163578,3 \cdot 14 = 2290092 \text{ т} \quad (13)$$

Рассчитываем максимальные разовые и валовые выбросы загрязняющих веществ по формулам 14-15.

Суммарный максимальный разовый выброс биогаза полигона составит:

$$Q_i = 0,01 \cdot Q_{\text{сум}} \cdot C_{\text{вес}i}, \text{ г/с} \quad (14)$$

В том числе без CO<sub>2</sub> - формула 15:

$$V_{\text{бмак}} = \frac{8,38 \cdot 2290092}{86,4 \cdot 244} = 910,32 \quad (15)$$

Валовые выбросы биогаза, т/год рассчитываются по формуле 16:

$$V_{\text{бвал}} = 910,32 \cdot \left( \frac{5 \cdot 365 \cdot 24 \cdot 3600}{12} + \frac{3 \cdot 365 \cdot 24 \cdot 3600}{12 \cdot 1,3} \right) \cdot 10^{-6} = 17482,35 \quad (16)$$

(а = 5 мес.; в = 3 мес.).

**Таблица 9 – Результаты расчета выхода биогаза**

Компонент	$C_i$ , мг/м <sup>3</sup>	$C_{\text{вес}i}$ , %	$\rho_{\text{уд}}$ кг /т отх. в год	Qсум, г/с	Вбмах, т/год
Метан	660908	52,915	4,504019	622,73805	11959,4459
Углерода диоксид	558958				163,40696
Толуол	9029	0,723	0,061540	8,50873	120,46461
Аммиак	6659	0,533	0,045368	6,27269	100,12349
Ксилол	5530	0,443	0,037707	5,21351	56,95512
Углерода оксид	3148	0,252	0,021450	2,96570	25,08738
Азота диоксид	1392	0,111	0,009448	1,30632	21,69719
Формальдегид	1204	0,096	0,008171	1,12979	21,47118
Этилбензол	1191	0,095	0,008086	1,11802	15,82087
Ангидрид сернистый	878	0,070	0,005958	0,82381	5,87632
Сероводород	326	0,026	0,002213	0,30598	
ИТОГО	1249223				

## ГЛАВА 3. ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ РАЗРАБОТКИ БИОРЕАКТОРА

Одним из альтернативных способов получения энергии является получение биогаза с помощью биореактора. Состав биогаза:  $\text{CH}_4$  (55-70%),  $\text{CO}_2$  (28-43%),  $\text{H}_2\text{S}$  в малых количествах [1].

Установка, выбранная в качестве проекта, включает в себя грунтовый биореактор, загрузочная емкость, теплообменник, бункер-отстойник, газгольдер.

Биореактор объемом 20 тыс.м<sup>3</sup> вырабатывает 9000 м<sup>3</sup> газа в сутки. На создание грунтового биореактора потребуется материала: газонепропускающий бетон М 350 в количестве 241 м<sup>3</sup> по цене 3250 руб. за 1 м<sup>3</sup>, арматурная сетка 20x20x0,8 в количестве 6 тонн по цене 60000 руб. за тонну. Оплата работы составит 200000 р. Сброженная масса накапливается в бункере-отстойнике, стоимость которого примерно 5 тыс. руб. Стоимость загрузочной емкости колеблется в районе 10 тыс. руб. Из биореактора биогаз подается в газгольдер, примерная цена которого 200 тыс. руб .

### 3.1 Расчет годовой производственной мощности

В данном разделе рассчитаем производственную мощность установки. Производственная мощность определяется по ведущему оборудованию - биореактор, в котором осуществляется основной производственный процесс - анаэробное разложение биомассы и выделение биогаза.

$$M = Q_{\text{час}} \cdot \Phi_{\text{эф}}, \quad (17)$$

где  $Q_{\text{час}}$  — часовая производительность аппарата, м<sup>3</sup>/час;

$\Phi_{\text{эф}}$  — эффективный фонд времени работы оборудования в год, час.

$$M = 375 \cdot 8280 = 3105000 \text{ м}^3$$

В рассматриваемом проекте биореактор работает круглосуточно. Остановка производится только для выполнения планового ремонта.

$$\Phi_{эф} = (D_k - D_{рем}) \cdot 24, \quad (18)$$

где  $D_k$  – календарная продолжительность года, сут;

$D_{рем}$  – плановые простои оборудования для ремонта, сут.

$$\Phi_{эф} = (365 - 20) \cdot 24 = 8280 \text{ часов,}$$

**Таблица 10 - Расчет годовой производственной мощности основного оборудования**

№ п/п	Показатели	Количество
1	Календарная продолжительность года, сут.	365
2	Плановые простои оборудования, сут.	20
3	Эффективное время работы оборудования, сут.	345
4	Эффективное время работы оборудования, час.	8280
5	Часовая производительность оборудования, т/час	375
6	Годовая производственная мощность, т/год	3105000

### 3.2 Расчет капитальных вложений (инвестиций)

В данном разделе рассчитываются все капитальные вложения, связанные с внедрением разрабатываемого проекта. В данном случае достаточно учесть только затраты на приобретение оборудования.

Капитальные затраты на оборудование складываются из прямых затрат на его приобретение и сопутствующих затрат:

$$K_{общ} = K_{об} + K_{соп}, \quad (19)$$

Сначала рассчитаем прямые капитальные вложения в основное оборудование. Это затраты, которые понесет объект непосредственно на приобретение оборудования.

**Таблица 11 - Прямые капитальные вложения в основное оборудование**

Наименование оборудования	Кол-во	Стоимость оборудования, руб.		Амортизация	
		за ед.	всего	%	руб.
Грунтовый биореактор	3	1343250	4029750	10	402975
Загрузочная емкость	1	10000	10000	-	10000
Бункер-отстойник	1	5000	5000	-	5000
Газгольдер	1	300000	300000	10	30000
Итого	6	1658250	4344750	-	447975

Все затраты, связанные с доставкой и установкой оборудования, берут на себя поставщики. Следовательно, определением часовой заработной платы конструктора или технолога можно пренебречь.

Таким образом, капитальные затраты равны затратам на приобретение оборудования:

$$K_{\text{общ}} = K_{\text{об}} = 4344750 \text{ р.}$$

### 3.3 Организация труда рабочих

На установке предположительно будет работать 4 человека, т.к. био-реактор работает круглосуточно, то для производственного персонала принят двенадцатичасовой рабочий день и четырех бригадный принцип комплектования.

Рассчитаем номинальный годовой фонд времени рабочего:

$$\begin{aligned} \text{ФНР} &= (\text{Дк} - \text{Дпр} - \text{Двых}) \cdot \text{Тем} - \text{Дпред}) \cdot \text{Тсок}, & (20) \\ \text{ФНР} &= (365 - 14 - 102) \cdot 8 - 4 \cdot 2 = 1987 \text{ часа} \end{aligned}$$

где

$\text{Дк}$  - количество календарных дней в году;

$\text{Дпр}$  - количество праздничных дней;

$\text{Двых}$  - количество выходных;

$\text{Тем}$  - продолжительность рабочей смены;

$\text{Дпред}$  - количество предпраздничных дней;

$\text{Тсок}$  - время, на которое сокращается предпраздничный день, час.

Анализируя график сменности производственного рабочего следует, что половина дней месяца и года являются рабочими.

$$\begin{aligned} \text{Фдр} &= \text{Дк} / 2, & (21) \\ \text{Фдр} &= 365 / 2 - 12 = 2190 \end{aligned}$$

Количество часов переработки сверх нормы рабочего времени:

$$\begin{aligned} \text{Фпер} &= \text{Фдр} - \text{ФНР}, & (22) \\ \text{Фпер} &= 2190 - 1987 = 203 \text{ часа} \end{aligned}$$

Рассчитаем действительный эффективный фонд времени рабочего:

$$\Phi_{\text{Эдр}} = \Phi_{\text{др}} \cdot (1 - \text{В}_0/100), \quad (23)$$

где  $\text{В}_0$  - планируемый процент времени на отпуск рабочих, болезни и т.д., 12%.

$$\Phi_{\text{Эдр}} = 2190 \cdot (1 - 12/100) = 1927 \text{ часа}$$

**Таблица 12- Штат рабочих**

	Производственный рабочий
Явочное число в смену	2
Тариф, руб/час	45
Количество смен (бригад)	2
Списочная численность	4

### **Расчет заработной платы рабочих.**

Для расчета заработной платы используется средневзвешенная тарифная ставка в размере 45 рублей ( $\text{З}_{\text{ср}}$ ).

Годовой фонд заработной платы определяется по формуле:

$$\text{З}_{\text{год}} = \text{З}_{\text{осн}} + \text{З}_{\text{доп}}, \quad (24)$$

где  $\text{З}_{\text{осн}}$  - основной фонд заработной платы;

$\text{З}_{\text{доп}}$  - дополнительный фонд заработной платы.

$$\text{З}_{\text{осн}} = \text{З}_{\text{тар}} + \text{З}_{\text{прем}} + \text{З}_{\text{празд}} + \text{З}_{\text{ночн}} + \text{З}_{\text{св.н.}},$$

где  $\text{З}_{\text{тар}}$  - оплата по тарифу;

$\text{З}_{\text{прем}}$  - премия;

$\text{З}_{\text{празд}}$  - доплата за работу в праздничные дни;

$\text{З}_{\text{ночн}}$  - доплата за работу в ночное время;

$\text{З}_{\text{св.н}}$  - доплата за работу сверх нормы рабочего времени.

$$\text{З}_{\text{доп}} = \text{З}_{\text{отп}} + \text{З}_{\text{уч}} + \text{З}_{\text{гос}}$$

где  $\text{З}_{\text{отп}}$  - оплата дней отпуска;

$\text{З}_{\text{уч}}$  - оплата ученических отпусков,  $\text{З}_{\text{уч}} = 0$ ;

$\text{З}_{\text{гос}}$  - оплата дней за выполнение государственных обязанностей,

$\text{З}_{\text{гос}} = 0$ .

Оплата по тарифу:

$$\text{З}_{\text{тар}} = \text{З}_{\text{ср}} \cdot \Phi_{\text{Эдр}} \cdot \sum \text{Ч}_{\text{сп}} \cdot \text{К}_{\text{з}}, \quad (25)$$

где  $Kз$  - коэффициент загрузки,  $Kз = 1$ .

$$Зтар = 45 \cdot 1927 \cdot 4 = 346860 \text{руб}$$

$$Зпрем = Зтар \cdot КПР,$$

где  $КПР$  - коэффициент премий,  $КПР = 0,4$  (40%).

$$Зпрем = 346860 \cdot 0,4 = 138744 \text{руб}$$

Доплата за работу в праздничные дни:

$$Зпразд = Зср \cdot t_{см} \cdot n_{см} \cdot Чя \cdot Дпр \cdot Кз, \quad (26)$$

где  $t_{см}$  - продолжительность смены, час;

$n_{см}$  - число смен в сутки.

$$Зпразд = 45 \cdot 12 \cdot 2 \cdot 1 \cdot 14 \cdot 1 = 30240,$$

$$Зночн = Зтар \cdot (1 + Кн) / 3 \cdot Кз, \quad (27)$$

$$Зночн = 346860 \cdot 1 + 1,2/3 \cdot 1 = 254364 \text{руб.},$$

$$Зсв. н. = Зср \cdot Фпер \cdot Чсп \cdot Ксв. н. \cdot Кз, \quad (28)$$

$$Зсв. н. = 45 \cdot 203 \cdot 4 \cdot 0,4 \cdot 1 = 14616$$

$$Зосн = 346860 + 138744 + 30240 + 254364 + 14616 = 784824 \text{руб.}$$

Оплата дней отпуска:

$$Зотп = Зосн \cdot (Фдр - Фэдр) / Фэдр, \quad (29)$$

$$Зотп = 784824 \cdot \frac{(2190 - 1927)}{1927} = 107114 \text{руб.},$$

$$Здоп = 107114 \text{руб.},$$

$$Згод = 784824 + 107114 = 891938 \text{руб.},$$

Расчет единого социального налога:

$$ЕСН = Згод \cdot Кс,$$

где  $Кс$  - коэффициент социального страхования,  $Кс = 0,356$ .

$$ЕСН = 891938 \cdot 0,356 = 317530 \text{руб}$$

Результаты всех расчетов по зарплате сведем в таблицу 13.



**Таблица 13 - Результаты по зарплате, руб.**

<b>Фонд заработной платы</b>	<b>Производственный рабочий</b>
Средний тариф	45
Оплата по тарифу	346860
Доплаты:	
- премия	138744
- праздничные	30240
ночные	254364
- сверх нормы	14616
Основной фонд зарплаты	769704
Дополнительный фонд зарплаты	107114
Годовой фонд зарплаты	891938
Единый социальный налог	317530

### **3.4 Организация управления производством**

К штату рабочих будет прикреплен 1 руководитель, который будет работать по 8 часовому рабочему дню с двумя выходными в неделю.

$$\Phi_{нр} = (365 - 14 - 102) \cdot 8 - 5 \cdot 1 = 1987,$$

$$\Phi_{нр} = \Phi_{др}, \quad (30)$$

$$\Phi_{эдр} = 1987 \cdot (1 - B_0/100) = 1748 \text{ часов.}$$

Тарифная ставка руководителя на 20% больше, чем у производственных рабочих и составит 54 руб.

Оплата по тарифу:

$$З_{тар} = З_{ср} \cdot \Phi_{эдр} \cdot \sum Ч_{сп} \cdot Кз, \quad (31)$$

$$З_{тар} = 54 \cdot 1748 \cdot 1 \cdot 1 = 94392 \text{ руб.}$$

$$З_{прем} = З_{тар} \cdot КПП, \quad (32)$$

$$З_{прем} = 94392 \cdot 0,4 = 37756 \text{ руб}$$

Доплата за работу в праздничные дни:

$$З_{празд} = З_{ср} \cdot t_{см} \cdot n_{см} \cdot Чя \cdot Дпр \cdot Кз, \quad (33)$$

$$З_{празд} = 54 \cdot 8 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 14 \cdot 1 = 6048 \text{ руб,}$$

$$З_{осн} = 94392 + 37756 + 6048 + 0 + 0 = 138196 \text{ руб}$$

Оплата дней отпуска:

$$З_{отп} = З_{осн} \cdot (\Phi_{др} - \Phi_{эдр}) / \Phi_{эдр}, \quad (34)$$

$$З_{отп} = 138196 \cdot (1987 - 1748) / 1748 = 18895 \text{ руб.}$$

$$\text{Згод} = 138196 + 18895 = 295288 \text{ руб.}$$

Расчет единого социального налога:

$$\text{ЕСН} = \text{Згод} \cdot \text{Кс}, \quad (35)$$

$$\text{ЕСН} = 295288 \cdot 0,356 = 105122 \text{ руб.}$$

Полученные данные сведем в таблицу 14.

**Таблица 14 - Заработная плата руководителя (бригадира), руб.**

Фонд заработной платы	Бригадир
Средний тариф	54
Оплата по тарифу	94392
Доплаты:	
- премия	37756
- праздничные	6048
- ночные	-
- сверх нормы	-
Основной фонд зарплаты	138196
Дополнительный фонд зарплаты	18895
Годовой фонд зарплаты	295288
Единый социальный налог	105122

### 3.5 Расчет себестоимости продукции

Необходимо рассчитать себестоимость 1000 м<sup>3</sup> товарной продукции (биогаз). Основой для расчета являются: калькуляция себестоимости продукции, результаты расчетов по организации труда и заработной платы всех работников пункта.

Для получения 1000 м<sup>3</sup> биогаза нужно переработать 4,5 т. органической массы. Расходы на биомассу отсутствуют, т.к. она образуется естественным путем и является отходом.

Годовой расход электроэнергии:

$$\text{Рэ.год} = (\sum N_{\text{дв}} \cdot \text{Кз.дв} \cdot \text{КзN} \cdot \text{ФЭф}) / \eta_{\text{дв}} \cdot \eta_{\text{с}}, \quad (36)$$

где  $\sum N_{\text{дв}}$  - суммарная мощность электродвигателей, кВт;

$\text{Кз.дв}$  - коэффициент загрузки электродвигателей по времени,  
 $\text{Кз.дв} = 0,9$ ;

$\text{КзN}$  - коэффициент загрузки электродвигателей по мощности,  
 $\text{КзN} = 0,9$ ;

$\eta_{\text{ДВ}}$ - КПД электродвигателей,  $\eta_{\text{ДВ}} = 0.95$ ;

$\eta_{\text{с}}$ - КПД электросети пункта,  $\eta_{\text{с}} = 0,95$ .

$$Р_{\text{э.год}} = (16 \cdot 0,9 \cdot 0,9 \cdot 8280) / 0,95 \cdot 0,95 = 118901 \text{ кВт} \cdot \text{ч},$$

Расход электроэнергии на 1000 м<sup>3</sup> продукции:

$$Р_{\text{э.уд}} = Р_{\text{э.год}}/M, \quad (37)$$

$$Р_{\text{э.уд}} = 118901 / 3105000 = 0,04 \text{ кВт} \cdot \text{ч}/\text{м}^3.$$

Для наглядности сведем полученные данные в таблицу 15.

**Таблица 15 – Расчет электроэнергии на 1000м<sup>3</sup> продукции**

Показатели	Электроэнергия
Единица измерения	кВт/ч
Расход на 1000 м <sup>3</sup> продукции	0,04
Цена за единицу измерения, руб.	1,40
Сумма, руб.	0,56

**Расчет по заработной плате.** Затраты на заработную плату определяются, исходя из рассчитанного фонда заработной платы рабочих пункта. Основная заработная плата на один м<sup>3</sup> продукции:

$$З_{\text{осн}} = З_{\text{осн}}/M, \quad (38)$$

Дополнительная заработная плата на 1000 м<sup>3</sup> продукции:

$$З_{\text{доп}} = З_{\text{доп}}/M, \quad (39)$$

Отчисления на социальное страхование на 1000 м<sup>3</sup> продукции:

$$ЕСН_{\text{уд}} = ЕСН/M, \quad (40)$$

Для производственного рабочего:

$$З_{\text{осн.уд}} = \frac{769704}{3105000} = 0,25 \text{ руб.}$$

$$З_{\text{доп.уд}} = \frac{107114}{3105000} = 0,04 \text{ руб.}$$

$$ЕСН_{\text{уд}} = \frac{317530}{3105000} = 0,1 \text{ руб.}$$

Для бригадира:

$$З_{\text{осн.уд}} = \frac{138196}{3105000} = 0,05 \text{ руб.}$$

$$z_{\text{доп.уд}} = \frac{18895}{3105000} = 0,01 \text{ руб.}$$

$$\text{ЕСНуд} = \frac{105122}{3105000} = 0,04 \text{ руб.}$$

**Таблица 16 - Расчеты по заработной плате**

Группы работников	Основная з/п		Дополнительная з/п		Единый соц. налог	
	на 1000 м <sup>3</sup>		на 1000м <sup>3</sup>		на 1000м <sup>3</sup>	
Производственный рабочий	0,25	769704	0,04	107114	0,11	317520
Бригадир	0,05	138196	0,01	18895	0,04	105122
Итого	0,3	907900	0,05	126009	0,14	422642

**Расчет расходов на содержание и эксплуатацию оборудования.** По данной статье учитываются следующие затраты:

- амортизация оборудования (принимается по данным таблицы 12);
- текущий ремонт и содержание оборудования (затраты на запасные части, материалы и накладные расходы) - 30% от амортизации оборудования;
- износ и восстановление инструментов и приспособлений - 5% от амортизации оборудования;
- прочие расходы - 1% от амортизации оборудования.

**Таблица 17 - Расходы на содержание и эксплуатацию оборудования**

Наименование статей	Сумма, руб., <i>Роб.</i>
Амортизация оборудования	447975
Текущий ремонт и содержание оборудования	134392,5
Износ и восстановление оборудования	22399
Прочие расходы	4479
Итого	609245,5
Затраты на 1000 м <sup>3</sup> продукции	0,07

Затраты на 1000 м<sup>3</sup> продукции:

$$\text{Роб.уд} = \text{Роб} / \text{М}, \quad (41)$$

$$\text{Роб.уд} = 609245,5 / 3105000 = 0,19 \text{ руб.}$$

**Расчет цеховых расходов.** По данной статье учитываются следующие затраты:

- амортизация зданий (2% от его стоимости) - 0;
- содержание зданий - 0;
- затраты на охрану труда - 10% от зарплаты всех работающих;
- прочие расходы - 0,5% от зарплаты всех работающих.

Результаты расчетов сводятся в таблицу 19

Таблица 18 - Расчет цеховых расходов

Наименование статей расхода	Сумма, руб., $P_{ц}$
Амортизация зданий	
Содержание зданий	
Затраты на охрану труда	90790
Прочие расходы	4540
Итого	95330
Расходы на 1000 м <sup>3</sup> продукции	1,2

Расходы на 1000 м<sup>3</sup> продукции:

$$P_{ц.уд} = P_{ц}/M, \quad (42)$$

$$P_{ц.уд} = 95330/3105000 = 0,03 \text{ руб.}$$

Таблица 19 - Анализ себестоимости

Наименование статей	Ед. изм.	Сумма
Сырье и материалы	Руб.	—
Топливо и энергия	Руб.	0,4
Основная заработная плата	Руб.	0,3
Дополнительная заработная плата	Руб.	0,05
Единый социальный налог	Руб.	0,14
Расходы на содержание и эксплуатацию обо-	Руб.	0,19
Цеховые расходы	Руб.	0,03
Цеховая себестоимость	Руб.	1,11
Общие расходы	Руб.	0,75
Производительная себестоимость	Руб.	1,86
Внепроизводственные расходы	Руб.	0,09
Полная себестоимость	Руб.	1,95

Цеховая себестоимость:

$$C_{ц} = P_{с.уд} + P_{э.уд} + Z_{осн.уд} + Z_{доп.уд} + E_{СНуд} + P_{об.уд} + P_{ц.уд}, \quad (43)$$

$$C_{ц} = 0 + 0,4 + 0,3 + 0,05 + 0,14 + 0,19 + 0,03 = 1,11 \text{ руб.}$$

Общие расходы:

$$\text{Робщ} = \text{Зосн.уд} \cdot \text{Кобщ}, \quad (44)$$

$$\text{Робщ} = 0,3 \cdot 2,5 = 0,75 \text{ руб.}$$

Производительная себестоимость:

$$\text{Спр} = \text{Сц} + \text{Робщ}, \quad (45)$$

$$\text{Спр} = 1,11 + 0,75 = 1,86 \text{руб.}$$

Внепроизводственные расходы:

$$\text{Рвнепр} = \text{Спр} \cdot \text{Квнепр}, \quad (46)$$

$$\text{Рвнепр} = 1,86 - 0,05 - 0,09 \text{ руб.} \quad (47)$$

Полная себестоимость:

$$\text{Сп} = \text{Спр} + \text{Рвнепр}, \quad (48)$$

$$\text{Сп} = 1,86 + 0,09 = 1,95 \text{руб.}$$

### 3.6 Расчет экономической эффективности проекта

Определим ожидаемую прибыль (условно-годовую экономию) от снижения себестоимости продукции:

$$\text{Прож} = \text{Срын} - \text{Сп}, \quad (49)$$

где **Срын** - рыночная стоимость 1000 м3 природного газа.

$$\text{Прож} = (5000 - 1,95) \cdot 3105 = 15518945,25 \text{руб}$$

Определим налог на прибыль:

$$\text{Нпр} = \text{Прож} \cdot \text{Кнал}, \quad (35)$$

где **Кнал** - ставка налога на прибыль (24% или 0,24).

$$\text{Нпр} = 15519348,9$$

Чистая ожидаемая прибыль:

$$\text{Прчист} = \text{Прож} - \text{Нпр}, \quad (50)$$

$$\text{Прчист} = 3724643,73 = 11794398,39 \text{руб.}$$

Определим расчетный срок окупаемости капитальных вложений (инвестиций), необходимых для осуществления проекта:

$$\text{Ток} = \text{Кобщ} / \text{Прчист}, \quad (51)$$

где **Ток** - срок окупаемости капитальных вложений.

$$\text{Ток} = 4344150 / 11794398,39 = 5 \text{ месяцев (1 год)},$$

В заключении составим таблицу 20 технико-экономических показателей проекта.

**Таблица 20 - Техничко-экономических показателей проекта**

<b>Показатели</b>	<b>Ед. изм.</b>	<b>Значение показателя</b>
Производственная мощность	м <sup>3</sup>	3105000
Себестоимость продукции	руб.	1,95
Условно-годовая прибыль	руб.	15518945,25
Капитальные вложения	руб.	4344750
Чистая прибыль	руб.	11794398,39
Срок окупаемости	год	1

По данным расчетов представляемый проект является эффективным с экономической точки зрения. Все это является следствием отсутствия платы за сырье.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенный анализ литературы и существующих конструкций реакторов брожения пищевых отходов позволяют сделать следующие выводы:

1. Предложена конструкция грунтового биореактора, разделенного на три секции и позволяющего механизировано загружать пищевые отходы, а так же осуществлять изъятие твердого остатка.

2. Предложенная конструкция позволяет перерабатывать пищевые отходы Автозаводского района и получать биогаз в объеме 3105000 м<sup>3</sup> /год, что позволяет обеспечивать 6000 квартир газом.

3. Биореактор параллельно может вырабатывать до 1500 т/год эффективных удобрений для сельского хозяйства. Что позволяет получить экономический эффект от их продажи столько тог миллионов р/год.

4. Образующаяся в каждой секции реакционная вода является эффективным жидким удобрением для сельского хозяйства и может быть так же реализована со значительным экономическим эффектом.

5. Предложенная технологическая схема в модульном уменьшенном варианте может быть успешно использована в сельском хозяйстве для биоброжения отходов животноводства и овощеводства.

6. Использование грунтового биореактора позволит существенно улучшить экологическую обстановку городов и получить общий экономический эффект около 42 млн руб./год.



## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Yang, S.S. Estimation of methane and nitrous oxide emission from animal production sector in Taiwan during 1990-2000 [Текст] / Liu C.M., Liu Y.L // Chemosphere. - 2003. - V.52, №8. - P. 1381-1388.
2. Авраменко И. М. Основы природопользования : учеб. пособие для вузов / И. М. Авраменко. - Ростов-на-Дону : Феникс, 2004. - 319 с.
3. Алборов, И.Д. Исследование биохимических процессов, происходящих на полигонах твердых бытовых отходов [Текст] / И.Д- Алборов, С. В. Степанова // Вести. МАНЭБ. - 2002. - Т.7, N9(57). - С.32-34.
4. Алексеев, С.А. Что такое ЦТЗ / С. А. Алексеев // Экологический бюллетень "Чистая земля". - Спец, выпуск, №1. - 1997. С. 1-5.
5. Ананиашвили, Г.Д. Основы биоэнергетики и биоэнергетического строительства в сельском хозяйстве: автореф. дис. докт. т-х. наук. / Ананиашвили Георгий Давидович. - М., 1959. - 29 с.
6. Афанасьева И. М. Устойчивое развитие человечества : монография. Ч. 2 / И. М. Афанасьева, А. В. Иванов, Е. Н. Петрова. - Нижний Новгород : Нижегород. гос. архит.-строит. ун-т : ЭБС АСВ, 2013. - 201 с. : ил.
7. Беляев, С.С. Метанобразующие бактерии и их роль в биохимическом цикле углерода : автореф. дис. докт. биол. наук. / Беляев Сергей Сергеевич. - Пущино, 1984. - 45 с.
8. Белясова Н. А. Микробиология: учебник для студентов учреждений высш. образования по специальностям "Биотехнология", "Биоэкология" / Н. А. Белясова. - Минск : Вышэйшая школа, 2012. - 443 с. : ил.  
Биотехнология рационального использования гидробионтов : учебник / под ред. О. Я. Мезеновой. - Санкт-Петербург : Лань, 2013. - 412 с. : ил. - (Учебники для вузов. Специальная литература). - Библиогр.: с. 406-409.
9. Бирюков В. В. Основы промышленной биотехнологии : учеб. пособие для вузов / В. В. Бирюков. - Гриф УМО. - Москва: КолосС : Химия, 2004. - 295 с. : ил.

10. Будяк Е. В. Общая химия: учеб.-метод. пособие / Е. В. Будяк. - Изд. 3-е, перераб. и доп. - Санкт-Петербург : Лань, 2011. - 382 с. : ил. + CD. - (Учебники для вузов. Специальная литература).

11. Букринская, Э. Логистическое обеспечение рециклинга ТБО в мегаполисе / Э.Букринская, Л. Мясникова. - Изд-во СПб ГУЭФ, 2006. С.38-45.

12. Вакула В. Биотехнология. Что это такое? / В. Вакула. - Москва : Молодая гвардия, 1989. - 301 с. : ил.

Г.А. Заварзин, Н.Н. Колотилова : Учебное пособие. - М.: Книжный дом «Университет», 2001. - 256 с.

13. Горленко В. А. Научные основы биотехнологии: учебное пособие. Ч. 1. Нанотехнологии в биологии / В. А. Горленко, Н. М. Кутузова, С. К. Пятунина. - Москва : МПГУ, 2013. - 261 с. : ил.

14. ГОСТ 30772-2001. Ресурсосбережение. Обращение с отходами.

15. ГОСТ 30772-2001. Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Термины и определения. – Введ. 2002–07–01. – М. : Изд-во стандартов, 2001. 27 с.

16. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2011 году» //Гос. Доклад. -2012. 523 с.

17. Добрынина О.М. Технологические аспекты получения биогаза // Вестник Пермского государственного технического университета. Охрана окружающей среды, транспорт, безопасность жизнедеятельности / О.М. Добрынина, Е.В. Калинина Е.В. - 2010. - №2. - С. 33-40.

18. Дрейер А. А.Твердые промышленные и бытовые отходы, их свойства и переработка [Текст] / А. Сачков, К. Никольский, Ю. Маринин, А. Мионов. : «Экология городов», 1997. - 198 с.

19. Дрейер А.А. и др. Твердые промышленные и бытовые отходы, их свойства и переработка. М., 1997, - 237с.

20. Егорова Т. А. Основы биотехнологии : учеб. пособие для вузов / Т. А. Егорова, С. М. Клунова, Е. А. Живухина. - 4-е изд., стер. ; Гриф УМО. - Москва : Академия, 2008. - 207, [1] с. : ил.

21. Заболотских В. В. Environmental Biotechnology : учеб. пособие на англ. языке / В. В. Заболотских ; ТГУ ; Ин-т химии и инж. экологии ; каф. "Механика и инж. защита окружающей среды". - ТГУ. - Тольятти : ТГУ, 2011. - 125 с. : ил.

22. Ильин В.К Биотехнологии метаногенеза с использованием микробной ассоциации, адаптированной к животному и растительному субстрату / В.К. Ильин, И.Н. Лыков, С.А. Сафранов, М.И. Морозенко, Н.И. Волыхина, Е.В. Волыхина, Е.А. Тарасов, К.С. Лауринавичюс, Д.А. Цветкова. - Калуга: Секция "К.Э. Циолковский и проблемы космической медицины и биологии", 2005.-325 с.

23. Инструкция по проектированию, эксплуатации и рекультивации полигонов для твердых бытовых отходов: утв. Минстроем России 02.11.96, согласована с Госкомсанэпиднадзором России 10.06.96 -№01- 8/1711.-М., 1998 г.-130 с.

24. Карапетян М.А. Технические средства и методы защиты гидро-мелиоративных объектов: Учебное пособие. – М.: Компания Спутник +, 2004. 151 с.

25. Картина городской жизни Тольятти : опыт комплексного научного подхода : коллективная монография. - ТГУ. - Тольятти : ТГУ, 2010. - 212 с. - Библиогр.: с. 200-208.

26. Кильчевский С.А. Экологические и экономические проблемы твёрдых бытовых отходов. Труды ППИ, №9.2. 2005. - С.116-119.

27. Клунова С. М. Биотехнология: учеб. для высш. пед. проф. образования / С. М. Клунова Т. А. Егорова, Е. А. Живухина. - Гриф УМО. - Москва : Академия, 2010.

28. Концепция обращения с твердыми бытовыми отходами в Российской Федерации/Утверждена постановлением коллегии Госстроя России от 22 декабря 1999г. N 17;

29. Корзникова М.В. Оценка степени конверсии органического вещества отходов животноводства и птицеводства в биогаз (на примере РФ) / М.В.

Корзникова, А.Ю.Блохин, Ю.П. Козлов // Вестник ВГУ, серия: химия, биология, фармация. - 2008. - №2. - С. 108-111.

30. Кравченко Д.Б. Экономико-экологическое управление системой утилизации твердых бытовых отходов : автореф. дис. на соиск. учен, степ. к.э.н./Кравченко Денис Борисович. - Санкт-Петербург, 2005. - 33 с.

31. Кутепов А. М. Общая химическая технология : учеб. для вузов / А. М. Кутепов, Т. И. Бондарева, М. Г. Беренгартен. - 3-е изд., перераб. ; Гриф МО. - Москва : Академкнига, 2004. - 528 с. : ил.

32. Лащинский А. А. Конструирование сварных химических аппаратов: Справочник . - Л .: Машиностроение , 1981, 382с .

33. Лебедев В.Н., Шубов Л.Я. О рациональных методах переработки твердых бытовых отходов // Экол. вестн. Подмосковья. - 1993. - N 4. - С.8-13.

34. Левин, Б.И. О новой концепции экологически чистого сжигания топлива из твердых бытовых отходов на теплоэлектроцентралях//Журнал «Новости теплоснабжения» № 8, 2005 г.

35. Лозовецкий В.В. и др. Обеспечение экологической безопасности полигонов для захоронения отходов на базе систем утилизации биогаза // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. - 2011. - N 1. - С.72.

36. Миндубаев А.З. Метаногенез: биохимия, технология, применение / А.З., Миндубаев Д.Е., Белостоцкий В.Ф., Миронов Ф.К., Алимова Л.Г. Миронова, А.И. Коновалов // Ученые записки Казанского государственного университета. Естественные науки. - 2010. - Т.152, кн.2. - С. 178-191.

37. Мирный А.Н. Аэробное компостирование твердых бытовых отходов // Жил. и коммун. хоз-во. - 1991. - N 9. - С.25.

38. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии : [учеб. пособие] / под ред. В. В. Денисова. - Ростов-на-Дону : Феникс, 2015.

39. Общая биология и микробиология : метод. указ. к организации лабораторной и самостоятельной работы / Иван. гос. хим.-технол. ун-т ; [сост. Е. С. Агеева]. - Иваново : [ИГХТУ], 2012. - 65 с. : ил.

40. Панцхава Е. С. Биогазовые технологии и решение проблем биомассы и "парникового эффекта" в России // Теплоэнергетика. - 1999. - N 2. - С.30-39.

41. Природопользование: учеб. для вузов / Э. А. Арустамов [и др.] ; под ред. Э. А. Арустамова. - Изд. 4-е, перераб. и доп. ; Гриф МО. - Москва : Дашков и К°, 2002. - 276 с. : ил.

42. Проблемы ТБО и действия общественности - Режим доступа: <http://lipgarbage.narod.ru> проектированию" - М.: ЦИТП, 1985.

43. Публикация материалов и документации связанной с биохимией - Режим доступа <http://biokhimiia.ru/>

44. Рогожин В. В. Практикум по биохимии: учеб. пособие / В. В. Рогожин. - Санкт-Петербург : Лань, 2013. - 539 с. : ил. - (Учебники для вузов. Специальная литература).

45. Сазыкин Ю. О. Биотехнология: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / Ю. О. Сазыкин С. Н. Орехов И. И. Чакалева; под ред. А. В. Катлинского. - 3-е изд., стер. ; гриф УМО. - Москва : Академия, 2008.

46. Сафронова С.А. Применение ресурсосберегающих технологий утилизации твердых бытовых отходов как направление повышения стабильности эколого-экономического развития региона / С.А. Сафронова . - МГТУ КалФ. Калуга, 2010. - 96 с.

47. Смышляева Е.Г. Экономическая эффективность проекта по реконструкции химического производства: метод. указания по выполнению курсовой работы по дисциплине «экономика и управление производством»/Гольятти: ТГУ, 2008. – 36с.

48. СНиП 2.01.28-85 «Полигоны для обезвреживания и захоронения»

49. Учебное пособие по микробиологии / авт.-сост. К. В. Ткаченко. - Саратов : Научная книга, 2012. - 159 с. : ил.

50. Федеральный закон от 29.12.2014 № 458-ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон "Об отходах производства и потребления", отдельные законодательные акты Российской Федерации и признании утратившими силу отдельных законодательных актов

51. Цымбаленко Н. В. Биотехнология: учебное пособие для вузов. Ч. 1. Технология рекомбинантной ДНК / Н. В. Цымбаленко. - Санкт-Петербург : РГПУ им. А. И. Герцена, 2011. - 127 с. : ил.

52. Чумаков А. Н. Глобализация. Контуры целостного мира : монография / А. Н. Чумаков. - 2-е изд., перераб. и доп. - Москва : Проспект, 2011. - 428 с. - Прил.: с. 408-413. - ISBN 978-5-392-02205-2 : 260-00.

53. Шварц Д. А. Отходы, упаковка и окружающая среда / Д. Шварц. - Рига. : Латвия, 1995. - 68 с.

54. Шеина О.А. Биохимия процесса производства биогаза как альтернативного источника энергии / О.А. Шеина, В.А. Сысоев Вестник ТГУ. - 2009. - Т.14, вып.1. - С. 73-76.

55. Шомин А. А. Биогаз на сельском подворье. — Балаклея: Информационно-издательская компания "Балаклишина", 2002. — 68 с.

56. Экология микроорганизмов: учеб. для вузов / А. И. Нетрусов [и др.] ; под ред. А. И. Нетрусова. - Гриф УМО. - Москва : Академия, 2004. – 266.