

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
(ФГБОУ ВО «АмГУ»)

Факультет инженерно-физический
Кафедра химии и химической технологии
Направление подготовки 18.03.01 – Химическая технология
Направленность (профиль) образовательной программы Химическая
технология природных энергоносителей и углеродных материалов

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ
Зав. кафедрой
_____ Ю.А. Гужель
«__» _____ 20__ г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему: Расчет установки получения биогаза из органических отходов и
подготовки его до товарного качества

Исполнитель студент группы 918-об	_____	М.Е. Кочегурова
	(подпись, дата)	
Руководитель доцент, канд. хим. наук	_____	С.А. Лескова
	(подпись, дата)	
Консультант по безопасности жизнедеятельности доцент, канд. техн. наук	_____	А.В. Козырь
	(подпись, дата)	
Нормоконтроль проф., док. хим. наук	_____	Т.А. Родина
	(подпись, дата)	

Благовещенск 2023

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
(ФГБОУ ВО «АмГУ»)

Факультет Инженерно-физический
Кафедра Химии и химической технологии

УТВЕРЖДАЮ
Зав. кафедрой
_____ Ю.А. Гужель
« ____ » _____ 20__ г.

З А Д А Н И Е

К выпускной квалификационной работе студента Кочегуровой Марины Евгеньевны

1. Тема выпускной квалификационной работы: «Расчет установки получения биогаза из органических отходов и подготовки его до товарного качества» утверждена Приказом от 20.04.2023 г. №951-уч
2. Срок сдачи студентом законченной работы 09.06.2023 г.
3. Исходные данные к выпускной квалификационной работе: поголовье КРС ЗАОР (НП) Агрофирмы «Партизан», с. Раздольное, Амурской области, влажность субстрата – 88 %, длительность сбраживания – 15 суток, режим брожения – мезофильный (38 °С), температура воздуха в холодный период года – минус 30 °С, состав биогаза: CH_4 – 60 %, CO_2 – 37 %, N_2 – 2 %, H_2S – 1 %. Технологическая документация, нормативная документация, литературные данные.
4. Содержание выпускной квалификационной работы (перечень подлежащих разработке вопросов): Литературный обзор по процессу получения биогаза из органических отходов и подготовки его до товарного качества. Характеристика сырья и готовой продукции биогазовой установки. Описание технологической схемы установки получения биогаза. Расчет количества субстрата и выхода биогаза. Материальный и тепловой балансы биогазовой установки. Технологический расчет биореактора, когенератора.
5. Перечень материалов приложения: Технологическая схема биогазовой установки.
6. Консультанты по выпускной квалификационной работе Козырь А.В., канд. техн. наук, доцент; раздел «Безопасность и экологичность производства»
7. Дата выдачи задания 12.04.2023 г.

Руководитель выпускной квалификационной работы: Лескова Светлана Анатольевна, доцент, канд. хим. наук

Задание принял к исполнению 12.04.2023 г.

РЕФЕРАТ

Бакалаврская работа содержит 61 с., 8 рисунков, 9 таблиц, 35 формул, 29 источников.

БИОГАЗ, ОРГАНИЧЕСКИЕ ОТХОДЫ, АНАЭРОБНАЯ ФЕРМЕНТАЦИЯ, МЕТАНТЕНК, БИОГАЗОВАЯ УСТАНОВКА, ОЧИСТКА БИОГАЗА

Объектом исследования является биогаз, получаемый анаэробной ферментацией органических отходов.

Цель работы – расчет установки получения биогаза из органических отходов и подготовки его до товарного качества.

В ходе выполнения бакалаврской работы проведен анализ научной и научно-технической литературы отечественного и зарубежного опыта по вопросу получения биогаза и подготовки его до товарного качества. Рассмотрены общие представления о биогазе. Изучен процесс получения биогаза: сырье, химизм процесса, основное биогазовое оборудование, виды биогазовых установок. Рассмотрены методы подготовки биогаза до товарного качества: основные требования к качеству биогаза, осушка, очистка от сероводорода и диоксида углерода.

В ходе выполнения технологической части рассмотрена характеристика сырья и готовой продукции. Разработана технологическая схема получения биогаза. В результате, на основе данных о численности крупного рогатого скота ЗАОР НП Агрофирмы «Партизан», расположенной в селе Раздольное Амурской области, рассчитаны количество субстрата и выход биогаза, размеры метантенков, тепловой и материальный балансы установки, а также биогазовый когенератор.

					<i>ВКР.191273.180301.ПЗ</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		<i>Кочегурова М.Е.</i>			<i>Расчет установки получения биогаза из органических отходов и подготовки его до товарного качества</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Провер.</i>		<i>Лескова С.А.</i>				<i>У</i>	<i>3</i>	<i>61</i>
<i>Н. контр.</i>		<i>Родина Т.А.</i>			<i>АмГУ ИФФ гр. 918-об</i>			
<i>Зав. каф.</i>		<i>Гужель Ю.А.</i>						

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	6
1 Литературный обзор	8
1.1 Общие представления о биогазе	8
1.1.1 История развития биогазовых технологий	8
1.1.2 Использование биогаза в России и за рубежом	9
1.1.3 Классификация, состав и свойства биогазов	12
1.2 Получение биогаза	13
1.2.1 Сырье для получения биогаза	13
1.2.2 Химизм процесса	14
1.2.3 Параметры процесса	16
1.2.4 Оборудование биогазовой установки	18
1.2.5 Биогазовые установки	20
1.3 Подготовка биогаза до товарного качества	21
1.3.1 Основные требования к качеству газа	21
1.3.2 Осушка биогаза	22
1.3.3 Очистка от сероводорода	24
1.3.4 Очистка от диоксида углерода	25
2 Технологическая часть	26
2.1 Характеристика сырья	26
2.2 Характеристика готовой продукции	28
2.3 Описание технологической схемы биогазовой установки	30
2.4 Расчет биогазовой установки	31
2.4.1 Расчет количества субстрата и выхода биогаза	31
2.4.2 Расчет размеров метантенков	36
2.4.3 Материальный баланс биогазовой установки	40

					<i>ВКР.191273.180301.ПЗ</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>	<i>Расчет установки получения биогаза из органических отходов и подготовки его до товарного качества</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Разраб.</i>	<i>Кочегурова М.Е.</i>					У	4	61
<i>Провер.</i>	<i>Лескова С.А.</i>					<i>АМГУ ИФФ гр. 918-об</i>		
<i>Н. контр.</i>	<i>Родина Т.А.</i>							
<i>Зав. каф.</i>	<i>Гужель Ю.А.</i>							

2.4.4	Тепловой баланс биогазовой установки	39
2.4.5	Расчет биогазового когенератора	50
3	Безопасность и экологичность производства	53
3.1	Опасные факторы при эксплуатации биогазовой установки	52
3.2	Требования безопасности при эксплуатации биогазовой установки	53
3.3	Меры индивидуальной защиты	55
	Заключение	58
	Библиографический список	59

					<i>ВКР.191273.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		5

ВВЕДЕНИЕ

Основной вопрос, стоящий на пути прогресса в современном мире – вопрос о развитии энергетики, который основывается на доступе к энергетическим ресурсам. За последнее время в динамике переработки и потребления углеводородного сырья наблюдается стабильный рост. Однако для обеспечения постоянно растущих потребностей в энергии необходимо развивать возобновляемую энергетику и, в частности, биоэнергетику. Важным фактором также является решение глобальных проблем, связанных с ограниченностью запасов невозобновляемых источников энергии и обеспечением экологической безопасности [1].

Развитие биоэнергетики в России является актуальной государственной задачей по снижению энергозависимости сельскохозяйственного производства, созданию дополнительных рабочих мест и дополнительному производству в аграрном секторе экономики конкурентоспособной экспортной продукции.

Биогазовые технологии представляют собой процесс получения биогаза и экологически чистых удобрений путем сбраживания органических отходов на специальных биогазовых установках.

Имеющийся ресурсный потенциал биомассы в России практически неисчерпаем. Использование биогазовых технологий поможет решить проблему утилизации органических отходов аграрно-промышленного комплекса, численность которых в России ежегодно составляет около 800 млн. т [2].

Целью выпускной квалификационной работы является расчет установки получения биогаза из органических отходов и подготовки его до товарного качества.

Задачи, решаемые в процессе выполнения работы:

					<i>ВКР.191273.180301.ПЗ</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разрад.</i>	<i>Кочегурова М.Е.</i>				<i>Расчет установки получения биогаза из органических отходов и подготовки его до товарного качества</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Провер.</i>	<i>Лескова С.А.</i>					<i>У</i>	<i>6</i>	<i>61</i>
<i>Н. контр.</i>	<i>Родина Т.А.</i>				<i>АМГУ ИФФ гр. 918-од</i>			
<i>Зав. каф.</i>	<i>Гужель Ю.А.</i>							

1. Осуществить подбор и анализ научной и научно-технической литературы по теме исследования.
2. Рассмотреть общие представления о биогазе, технологию получения и способы очистки от нежелательных компонентов.
3. Подобрать методику для расчета количества субстрата и выхода биогаза, размеров метантенков, биогазового когенератора.
4. Разработать оптимальную технологическую схему получения биогаза.
5. Выполнить расчет количества субстрата и выхода биогаза, размеров метантенка и биогазового когенератора на основе данных о численности крупного рогатого скота ЗАОР (НП) агрофирмы «Партизан».
6. Составить материальный и тепловой балансы.
7. Рассмотреть вопросы безопасности производства и охраны окружающей среды.

Результаты исследования были представлены на XXXII научной конференции Амурского государственного университета «День науки». Опубликована статья «Проблемы и перспективы биогазовых технологий в России» в журнале «Вестник АмГУ».

					<i>ВКР.191273.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		7

1 ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

1.1 Общие представления о биогазе

1.1.1 История развития биогазовых технологий

История использования биогазовых технологий насчитывает несколько столетий. В древности в некоторых регионах мира использовались биогазовые коллекторы, которые позволяли собирать и использовать биогаз для освещения. Развитие современных технологий производства и использования биогаза началось в 19 веке.

Первое масштабное предприятие по выработке биогаза было построено в 1911 г. в Англии в городе Бирмингеме и применялось для обеззараживания осадка сточных вод. Получаемый биогаз использовали для генерирования электроэнергии.

В годы Второй мировой войны в Германии и Франции был сделан упор на получение биогаза из сельскохозяйственных отходов, так как энергоносителей катастрофически не хватало. Таким образом, во Франции к середине 40-х годов было введено в эксплуатацию около двух тысяч установок по получению биогаза [2].

В СССР в период с 1948 по 1954 гг. была построена первая лабораторная биогазовая установка по утилизации продуктов жизнедеятельности десяти коров, обеспечивающая выход 1 м^3 газа. В середине 70-х гг. в СССР основано много крупных животноводческих предприятий, которые столкнулись с проблемой утилизации биомассы. В связи с необходимостью интерес к биогазовым технологиям возрос, и в 1981 г. была создана специализированная секция по программе развития биогазовой отрасли. Предложения по развитию анаэробной технологии не получили достаточного финансирования и остались невыполненными. За это время была создана научная база технологий микро-

					<i>ВКР.191273.180301.ПЗ</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>	<i>Кочегурова М.Е.</i>				<i>Расчет установки получения биогаза из органических отходов и подготовки его до товарного качества</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Провер.</i>	<i>Лескова С.А.</i>					<i>У</i>	<i>8</i>	<i>61</i>
<i>Н. контр.</i>	<i>Родина Т.А.</i>				<i>АМГУ ИФФ гр. 918-од</i>			
<i>Зав. каф.</i>	<i>Гужель Ю.А.</i>							

биологической анаэробной переработки биомассы, построено несколько опытных установок [2].

В настоящее время развитие и совершенствование биогазовых технологий продолжается, в том числе с использованием новых материалов и технологий производства биогаза, а также с разработкой новых способов в разных отраслях промышленности.

1.1.2 Использование биогаза в России и за рубежом

Использование биогаза в России

Россия обладает самыми большими биоэнергетическими ресурсами в мире. Теоретически страна могла бы удовлетворить свои потребности в энергии только за счет использования биологических ресурсов. Ежегодное производство отходов агропромышленного комплекса России составляет около 773 млн. тонн. При переработке перечисленных отходов методом анаэробного сбраживания можно получить около 66 млрд. м³ биогаза [3].

Производство газообразного биотоплива может не только заменить невозобновляемые ископаемые энергоресурсы, но и сократить выбросы парниковых газов и токсичных веществ. Для развития биогазовой промышленности в Российской Федерации биоэнергетику необходимо рассматривать не только как отрасль энергетики и энергоснабжения, но и как проект, решающий проблемы управления отходами и охраны окружающей среды [4].

В настоящее время в России функционирует около 200 биогазовых установок, несмотря на достаточно благоприятные условия, по следующим возможным причинам [4]:

1. Не всегда удается привлечь достаточное финансирование для строительства и эксплуатации биогазовых установок в связи с низкой осведомленностью заинтересованных сторон бизнеса о подобных технологиях производства газа.

2. Отсутствие достаточного количества высококвалифицированных специалистов, обладающих опытом работы в биогазовой отрасли.

					<i>ВКР.191273.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		9

3. Высокие затраты на строительство и эксплуатацию биогазовых установок.

Несмотря на вышеперечисленные причины, в России реализованы успешные проекты получения биогаза, ниже представлены некоторые из них.

В 2007 году в Белгородской области построен биогазовый завод "Байцурь", который также производит органические удобрения. Поставщиком сырья является ООО "Стригуновский свинокомплекс" с производственной мощностью 16000 голов. Ежегодное производство электроэнергии – 19,6 млн. кВт/ч, тепла – 18,2 тыс. Гкал, производится 66,8 тыс. тонн удобрений [2].

В агропромышленном комплексе Ленинградской области реализован проект по обеспечению экологической безопасности производственных объектов. Свинокомплексы ЗАО "Новый Свет" и ОАО "Русбелго" в Гатчинском районе производят около 2 МВт электроэнергии на собственных электростанциях с использованием биогаза из биологических отходов. На птицефабрике ЗАО "Скворцы" построен завод по производству биогаза и гранулированных удобрений [2].

В 2009 году на очистных сооружениях Курьяново в Москве была введена в эксплуатацию ТЭЦ, работающая на биогазе. В настоящее время МГУП "Мосводоканал" располагает 44 метантенками вместимостью 280 тыс. м³, в том числе 24 на Курьяновских очистных сооружениях и 20 на Люберецких очистных сооружениях. Основные технические характеристики мини-ТЭЦ: электрическая мощность мини-ТЭЦ составляет 10 МВт, тепловая мощность мини-ТЭЦ – 6,9 Гкал/ч [5].

В 2023 году в селе Косицино Тамбовского района Амурской области на молочной ферме ООО «Амурский партизан» запущена биогазовая установка, которая включает в себя 5 реакторов объемом 120 м³. Также в системе есть установка по очистке газа от сероводорода, выход метана составляет 70 %. Выработанный в процессе брожения газ поступает в газгольдеры, а затем в газовые котлы для обогрева реактора, в планах также обогрев накопительной

					<i>ВКР.191273.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		10

емкости. Кроме того, система сама себя обеспечивает электричеством – мощность газового генератора составляет 140 кВт [6].

Использование биогаза за рубежом

Во многих развитых европейских странах органические отходы перерабатываются на биогазовых установках для производства тепла и электроэнергии.

В Германии в настоящее время насчитывается около 8000 крупных установок анаэробного сбраживания, а потенциал биогазовой промышленности оценивается в 100 млрд. кВт/ч к 2030 году, что составит около 10 % энергопотребления страны.

В Австрии работает более 120 биогазовых установок с объемом метантенков более 2000 м³ каждый.

Среди развитых стран Дания является лидером в использовании биогаза. Доля биогаза в общем энергобалансе составляет до 18 %.

В Швеции 50 % потребляемого тепла получается в результате переработки биомассы.

В Великобритании с помощью биогаза еще в 1990 году удалось покрыть все энергозатраты сельского хозяйства. В Лондоне работает крупнейшая в мире станция переработки сточных вод [2].

В Соединенных Штатах Америки действуют сотни крупных биогазовых установок, использующих отходы животноводства, и тысячи муниципальных очистных сооружений. Биогаз используется в основном для производства электроэнергии, а также для отопления домов и теплиц.

В настоящее время Китайская Народная Республика является мировым лидером по внедрению технологии биогаза в сельской местности. Ежегодное производство биогаза составляет 10,2 млрд. м³. Более 50 миллионов человек в сельских районах Китая используют биогаз в качестве топлива. Типичная биогазовая установка с объемом метантенков от 6 до 8 м³ производит 300 м³ биогаза и работает от 3 до 8 месяцев в году. С 2002 года правительство Китая еже-

					<i>ВКР.191273.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		11

годно инвестирует около 200 миллионов долларов в поддержку биогазовых технологий [2].

Небольшие биогазовые установки для приготовления пищи строятся в Индии, Вьетнаме и Непале. Индийское правительство субсидирует их строительство и эксплуатацию, обучение фермеров, открытие и работу сервисных центров. В Непале действует программа поддержки развития биогазовой энергетики, предусматривающая предоставление технической экспертизы, финансирования и строительство биогазовых установок объемом от 4 до 20 м³. К 2009 году в сельских районах было построено 200 тысяч небольших биогазовых установок.

На Филиппинах установки производят биогаз для работы моторов, которые мельют рис и работают на ирригацию. В Индии, Индонезии и Шри-Ланке биогаз используется небольшими коммерческими компаниями в текстильной промышленности, а также для сушки специй, кирпича и резины, что делает его рентабельным менее чем за сезон [2].

1.1.3 Классификация, состав и свойства биогазов

Биогаз, представляющий собой смесь газов, образуется из органических веществ в отсутствие кислорода (т.е. в анаэробных условиях). В природе процесс анаэробной ферментации широко распространен в болотах, озерах и в желудках жвачных животных [7].

Биогаз можно разделить на три основных типа в зависимости от его источника [2]:

- газ метантенков, который образуется при обезвреживании стоков на очистных канализационных сооружениях (БГ КОС);
- биогаз, который образуется в биогазовых установках при сбраживании отходов сельскохозяйственных производств (БГ СХП);
- газ свалок, который образуется на полигонах отходов, содержащих органические компоненты (БГ ТБО).

					<i>ВКР.191273.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		12

Его состав и количество зависят от типа обрабатываемого субстрата и технологии производства биогаза. Усредненный состав биогаза приведен в таблице 1 [2].

Таблица 1 – Классификация и состав биогазов

Тип биогаза	Содержание компонентов, % об.						
	CH ₄	CO ₂	N ₂	O ₂	H ₂	CO	H ₂ S
Биогаз КОС	60-65	16-34	0-3	-	-	-	-
Биогаз СХП	55-75	27-44	0-3	-	0,01-0,02	0,01-0,02	< 1,00
Биогаз ТБО	0-65	0-34	0-82	0-31,60	0-3,60	2,80	0,007

Компонентный состав биогазов определяет их физико-химические свойства. Основные характеристики компонентов биогаза приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Характеристики компонентов газа

Показатели	CH ₄	CO ₂	N ₂	O ₂	H ₂	CO	H ₂ S
Молекулярный объем, м ³ /кмоль	22,4	22,3	22,4	22,4	22,4	17,6	22,1
Плотность при н.у., кг/м ³	0,7	2,0	1,3	1,4	0,9	1,3	1,5
Относительная плотность по воздуху	0,6	1,5	1,0	1,1	0,1	1,0	1,2
Теплота сгорания: низшая, МДж/м ³ высшая, МДж/м ³	35,8 40,2	- -	- -	- -	10,8 12,8	12,7 12,7	23,7 23,9
Теоретически необходимое количество воздуха для горения, м ³ /м ³	9,5	-	-	-	0,5	2,4	2,4
Жаропроизводительность, °С	2045,0	-	-	-	2210,0	2370,0	-
Число Воббе: низшее, МДж/м ³ высшее, МДж/м ³	48,2 53,3	- -	- -	- -	41,0 48,5	12,9 12,9	21,7 23,7
Пределы воспламенения смеси с воздухом при н.у.: нижний, % об. высший, % об.	5,0 15,0	- -	- -	- -	4,0 75,0	12,5 74,0	4,3 45,5
Температура воспламенения смеси с воздухом, °С	545,0	-	-	-	510,0	610,0	290,0

1.2 Получение биогаза

1.2.1 Сырье для получения биогаза

Для производства биогаза используются отходы жизнедеятельности коров, свиней, птиц, бытовые отходы, трава, зерновая барда, пивная дробина, свекольный жом, фекальные осадки, отходы рыбных и убойных цехов, моло-

козаводов, отходы производства сока, крахмала, мелассы и отходы переработки картофеля. Помимо отходов, можно использовать энергетические культуры, такие как кукурузный силос, кремнезем и морские водоросли.

Для расчета выхода биогаза из данного сырья необходимо определить содержание жиров, белков и углеводов путем проведения лабораторных испытаний или посмотреть справочные данные. Определив процентное содержание веществ, можно рассчитать выход газа для каждого вещества по отдельности и затем сложить результаты [8].

1.2.2 Химизм процесса

Образование биогаза происходит в результате биологического распада органических веществ под действием микроорганизмов в анаэробных условиях в четыре этапа [9]:

1. Фаза гидролиза. На первом этапе биополимеры, такие как углеводы, белки и жиры, разлагаются на молекулы более простых соединений под действием гидролитических ферментов микроорганизмов.

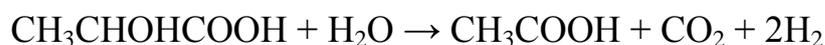
2. Фаза ацидогенеза. На втором этапе промежуточные продукты фазы гидролиза разлагаются на молекулы водорода, углекислого газа, низкомолекулярных жирных кислот и спиртов под действием ацидогенных микроорганизмов. Реакции сбраживания представлены ниже:



3. Фаза ацетогенеза. На третьем этапе ацетогенные бактерии преобразуют водород, углекислый газ и другие одноуглеродные соединения, а также некоторые более сложные вещества в уксусную кислоту. Реакции проходят по следующим уравнениям:

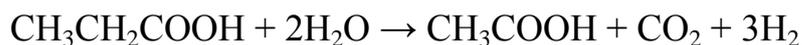
1) превращение органических кислот:

а) молочной



					<i>ВКР.191273.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		14

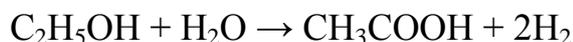
б) пропионовой



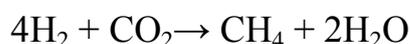
в) масляной



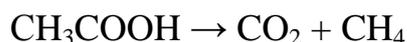
2) окисление спиртов



4. Фаза метаногенеза. На четвертом этапе распад органического вещества осуществляется метаногенными микроорганизмами, которые используют метаболиты первых стадий. Источниками углерода и энергии для метаногенных бактерий является смесь водорода и углекислого газа. Некоторые бактерии используют эту смесь в качестве единственного субстрата для роста:



Следующим возможным источником углерода и энергии у метаногенов является уксусная кислота, которая расщепляется на CO_2 и CH_4 :



Каждый этап является важным для образования биогаза. Контроль и оптимизация каждой фазы может помочь повысить производительность биогазовой установки и получить биогаз более высокого качества [9].

На рисунке 1 представлено схематическое изображение процесса анаэробного разложения.

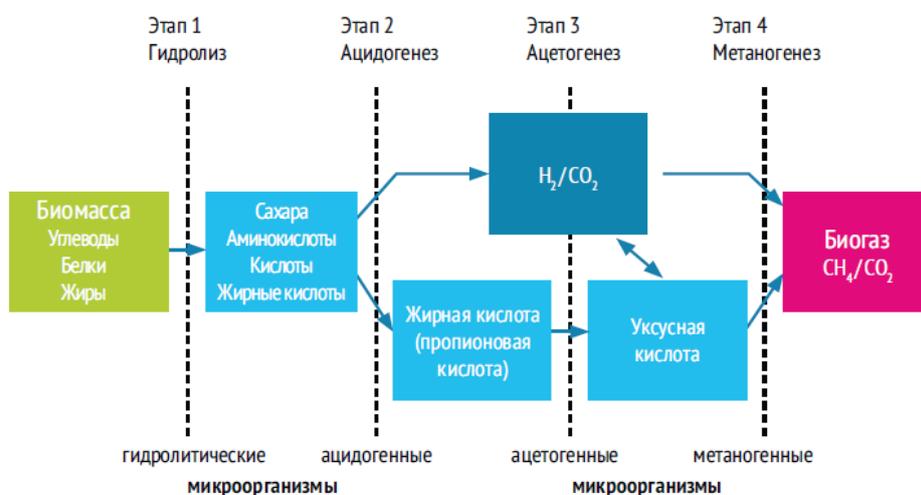


Рисунок 1 – Схематическое изображение процесса анаэробного разложения

					<i>ВКР.191273.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		15

1.2.3 Параметры процесса

Для оптимального сбраживания необходимо обеспечить следующие условия [10]:

- поддержание анаэробных условий в реакторе;
- контроль температуры;
- выбор времени сбраживания;
- своевременная загрузка и выгрузка сырья;
- поддержание оптимального кислотно-щелочного баланса;
- выбор необходимой влажности сырья;
- регулярное перемешивание;
- отсутствие ингибиторов процесса.

Поддержание анаэробных условий в реакторе. Бактерии, вырабатывающие метан, могут поддерживать жизнедеятельность только при отсутствии кислорода в реакторе биогазовой установки. Реактор должен быть герметичным, необходимо следить за тем, чтобы в него не поступал кислород.

Контроль температуры. Поддержание оптимальной температуры является одним из важнейших факторов процесса. Образование биогаза в природе происходит при температуре от 0 °С до 97 °С, однако с учетом оптимизации процесса переработки органических отходов для получения биогаза и биоудобрений выделяют три температурных режима:

1. Психрофильный – определяется температурами до 25 °С.
2. Мезофильный – определяется температурами от 25 °С до 40 °С.
3. Термофильный – определяется температурами свыше 40 °С.

Оптимальная температура для мезофильного температурного режима составляет от 36 до 38 °С, а для термофильного температурного режима – от 52 до 55 °С. Психрофильный температурный режим поддерживается в необогреваемых установках без контроля температуры. Наиболее интенсивное выделение биогаза в психрофильном режиме происходит при 23 °С.

Время сбраживания. Оптимальное время сбраживания зависит от количества помещенного сырья в реактор и температуры процесса. Если время

					<i>ВКР.191273.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		16

сбраживания слишком короткое, при выгрузке сброженной биомассы бактерии из реактора вымываются быстрее, чем размножаются, и процесс ферментации практически прекращается. Слишком длительное выдерживание сырья в метантенке не отвечает цели получения наибольшего количества биогаза и биоудобрений за определенное время. Для выявления оптимальной продолжительности процесса используется термин «время оборота реактора». Время оборота реактора – время, необходимое для сбраживания свежего субстрата, введенного в реактор, и его последующего удаления из реактора.

Время оборота реактора выбирают в зависимости от температуры процесса и состава сырья:

- психрофильный температурный режим: от 30 до 40 и более суток;
- мезофильный температурный режим: от 10 до 20 суток;
- термофильный температурный режим: от 5 до 10 суток.

Кислотно-щелочной баланс. Метаногенные бактерии лучше приспособлены к нейтральным или слабощелочным условиям. На втором этапе производства биогаза происходит активная фаза деятельности кислотообразующих бактерий, значение рН среды снижается, т.е. становится более кислой. Оптимальное значение рН колеблется от 6,5 до 8,5 в зависимости от сырья.

Выбор влажности сырья. Влажность сырья, подаваемого в метантенк, должна составлять не менее 85 % зимой и 92 % летом. Для обеспечения правильной влажности сырья продукты жизнедеятельности разбавляют горячей водой.

Регулярное перемешивание. Процесс необходим для обеспечения эффективной работы биогазовой установки и поддержания стабильности сбраживания в реакторе. Основными целями перемешивания являются:

- высвобождение биогаза;
- перемешивание свежего субстрата;
- предотвращение образования корки и осадка;
- поддержание равномерной температуры в реакторе;
- равномерное распределение бактерий;

					<i>ВКР.191273.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		17

– предотвращение образования пустот и скоплений.

Слишком частое или длительное и интенсивное перемешивание не рекомендуется. Сырье необходимо медленно перемешивать через каждые 4-6 часов.

Ингибиторы процесса. Сбраживаемая органика не должна содержать веществ (антибиотиков, растворителей, синтетических моющих средств), которые негативно влияют на функционирование микроорганизмов.

1.2.4 Оборудование биогазовой установки

Биогазовая установка включает в себя различное технологическое оборудование для получения биогаза. В зависимости от количества и типа используемого субстрата, для биогазовых установок используются различные технологические схемы. Основными составными частями типичной биогазовой установки являются [10]:

- устройство приема и подготовки сырья;
- система транспортировки;
- биореактор;
- устройство перемешивания субстрата;
- загрузчик сырья;
- газгольдер;
- насосная станция;
- блок обогрева реактора;
- оборудование отвода биогаза;
- система очистки от примесей;
- накопительные резервуары для биогаза, сырья и сброженной массы;
- когенерационная установка;
- автоматизированный блок программного контроля и технологических процессов.

Основной элемент биогазовой установки – биореактор, в котором происходит брожение и разложение биомассы, от его технических показателей зави-

					<i>ВКР.191273.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		18

сит эффективность и скорость переработки сырья в биогаз. Он состоит из трех частей: загрузочная зона, рабочая часть, зона выгрузки.

Зона загрузки может иметь один или несколько блоков. Количество блоков может варьировать в зависимости от потребностей производства и имеющегося сырья. В верхней части зоны загрузки находится люк подачи сырья. Здесь расположены два патрубка, которые используются для подключения датчика отработанного газа и органов управления выпускаемым газом. Датчик измеряет уровень давления внутри реактора и автоматически активирует (а затем деактивирует) насос для подачи собранного газа в газовый бак при достижении заданного уровня.

Каждая секция метантенка оснащена теплообменником для поддержания температуры сырья на необходимом уровне. Специальная мешалка постоянно перемешивает биологический материал для предотвращения образования корки.

После рабочей зоны остатки суспензии направляются в зону выгрузки. Здесь установлено дренажное отверстие, через которое основной материал попадает в резервуар для жидких удобрений. Удобрение выкачивается из резервуара специальным насосом.

Биогаз из газового резервуара поступает в специальное оборудование для преобразования в топливо, электроэнергию и тепло для газовых двигателей. Весь процесс автоматизирован и контролируется одним оператором [11].

На рисунке 2 представлен один из вариантов исполнения биореактора.

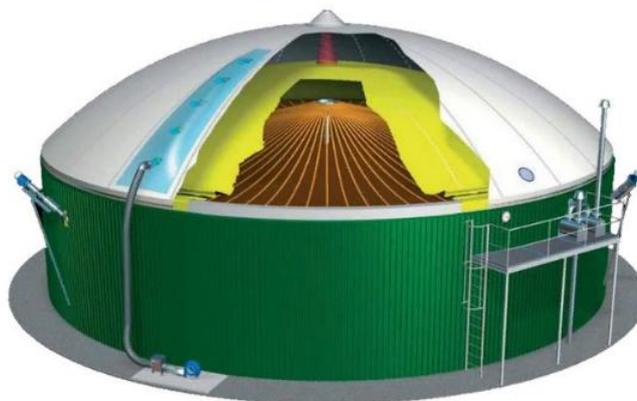


Рисунок 2 – Биореактор

					<i>ВКР.191273.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		19

1.2.5 Биогазовые установки

Типы биогазовых установок, широко распространенных в мире, классифицируются в зависимости от размера и расположения метантенка, способа ввода сырья, способа получения биогаза, материалов, используемых для строительства, и применения вспомогательного оборудования [12].

Сельскохозяйственные биогазовые установки можно классифицировать в зависимости от их относительного размера и функции следующим образом:

- семейные установки (с объемами реакторов до 15 м³);
- фермерские установки (с объемами реакторов до 250 м³);
- промышленные установки (с объемами реакторов от 250 м³).

По способу загрузки сырья можно различить два разных типа биогазовых установок:

- установки порционной загрузки;
- установки непрерывной загрузки.

Внешний вид биогазовых установок зависит от выбранного метода сбора биогаза:

- баллонные установки;
- установки с фиксированным куполом;
- установки с плавающим куполом.

Выбор расположения реактора установки зависит от метода загрузки и наличия свободной территории. Горизонтальные установки подходят для непрерывного метода загрузки сырья и при наличии достаточного места. Вертикальные установки подходят для порционной загрузки сырья и используются при необходимости уменьшения места, которое занимает реактор.

Установки можно различать по материалам, из которых изготавливается реактор:

- бетонные реакторы обычно сооружаются под землей;
- кирпичные реакторы сооружаются для подземных установок с фиксированным или плавающим газгольдером;

					<i>ВКР.191273.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		20

– металлические реакторы подходят для любых типов установок, герметичны, выдерживают большое давление и просты в изготовлении.

1.3 Подготовка биогаза до товарного качества

1.3.1 Основные требования к качеству газа

Исходный газ насыщен водяным паром и содержит наряду с метаном большое количество двуокиси углерода и сероводород.

Для обеспечения эксплуатационной безопасности и безопасности работников биогаз необходимо предварительно очистить от вредных примесей.

Основные этапы подготовки газа к использованию следующие [13]:

- отделение влаги и взвешенных частиц;
- удаление сероводорода;
- удаление углекислого газа;
- сжатие или сжижение.

Осушку биогаза необходимо предусматривать во избежание коррозии и образования гидратных пробок в холодное время года. Из сероводорода и водяного пара образуется серная кислота. Кислоты разъедают используемые для переработки биогаза двигатели, а также другие части установки. При сжигании биогаза сероводород превращается в оксиды серы, которые являются высокотоксичными газами. Отделение взвешенных частиц необходимо с целью предотвращения засорения и абразивного износа арматуры и газопроводов. Чаще всего достаточна фильтрация в гравийном фильтре или в центробежном сепараторе. Иногда применяют тонкие фильтры из стекловолокна, но это повышает затраты. Удаление углекислого газа осуществляется с целью обогащения биогаза – доведения до качества природного газа.

В связи с вышеперечисленными причинами на биогазовых установках обычно производится обессеривание и обезвоживание биогаза. Но в зависимости от содержащихся в биогазе примесей или технологий его дальнейшего использования может понадобиться более тщательная подготовка газа [13].

В зависимости от направления использования газа степень очистки может быть различной, однако очистка от механических примесей требуется для

					<i>ВКР.191273.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		21

каждого способа применения биогаза [2]. Требования к качеству биогаза представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Требования к качеству биогаза

Способ использования биогаза	Необходимость очистки от		
	H ₂ S	CO ₂	H ₂ O
В бытовых газовых плитах	Да	Нет	Нет
В отопительных котлах	Да	Нет	Нет
В стационарных газовых двигателях	Да	Нет	Нет
В транспортных средствах в качестве горючего	Да	Да	Да
Обработка до качества природного газа	Да	Да	Да

1.3.2 Осушка биогаза

1. Конденсация в кожухотрубном теплообменнике

Одним из наиболее логичных методов осушки газа является внедрение кожухотрубчатых теплообменников в системы газопереработки. Принцип работы трубчатого теплообменника основан на обмене теплом через изолирующие поверхности трубок, температура которых отличается от температуры рабочей среды. В результате водяной пар достигает точки росы и конденсируется в жидкость, которая механически отделяется от газового потока [14].

На рисунке 3 представлен горизонтальный кожухотрубчатый теплообменник.



Рисунок 3 – Горизонтальный кожухотрубчатый теплообменник

2. Абсорбция гликолем

Одним из контактных методов, используемых для удаления воды и других примесей из биогаза, является абсорбционная промывка газовой смеси триэтиленгликолем.

Данный метод обычно используется для осушки газа на крупных нефте- и газоперерабатывающих заводах и включает продувку исходного газа через слой метастабильной высокотемпературной (200 °С) пены этиленгликоля. Гликоли хорошо абсорбируют не только водяной пар, но и тяжелые гомологи метана, такие как пропан и бутан. Недостаток такой методики заключается в установлении высоких мер токсикологической и пожарной безопасности – температура вспышки метана составляет 187 °С. Вдобавок, наладка системы триэтиленгликолевой сорбции отличается высокой сложностью и вовлечением широкой номенклатуры вспомогательного и коммутационного оборудования.

Анализ достоинств и недостатков гликолевой дегидратации показывает, что в большинстве случаев мокрая абсорбция не подходит для осушения биогаза [14].

3. Адсорбционная осушка

В качестве влагопоглощающих субстратов в адсорбционной установке используются соединения с высокой гигроскопичностью, такие как силикагель, активированный уголь и хлорид кальция.

Для процесса адсорбции необходима регулярная регенерация и замена адсорбирующего материала. Влага очень активно заполняет микропоры адсорбирующего материала и быстро дезактивирует поверхностный слой фильтрующих гранул, тем самым снижая эффективность фильтра [14].

На рисунке 4 представлены влагоосушающие адсорбенты – силикагель, активированный уголь, хлористый кальций.



Рисунок 4 – Влагоосушающие адсорбенты

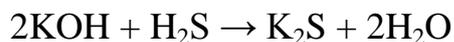
					<i>ВКР.191273.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		23

1.3.3 Очистка от сероводорода

1. Щелочная абсорбция сероводорода

Водные растворы NaOH, KOH и Na₂CO₃ (и других щелочных соединений) очень эффективны для улавливания сероводорода [14].

В качестве примера приведена реакция с водным раствором гидроксида калия:



На рисунке 5 представлена общая схема щелочной абсорбционной установки.

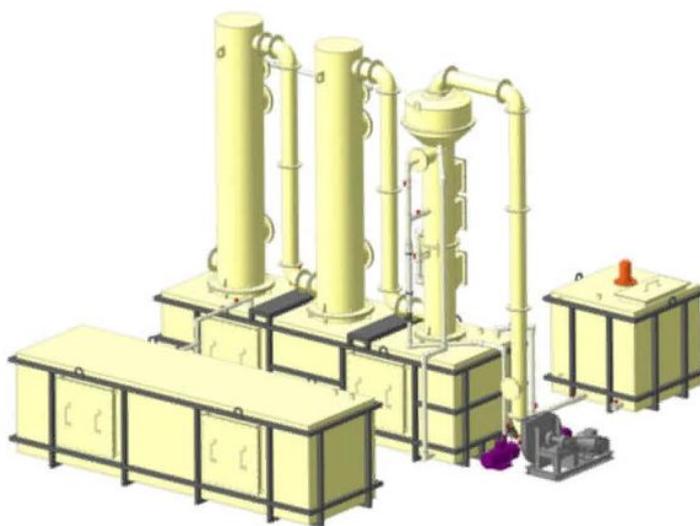


Рисунок 5 – Схема абсорбционной установки

2. Сухая адсорбция сероводорода на микропористых субстратах

Почти абсолютное улавливание сероводорода может быть достигнуто в адсорбционных системах, использующих микропористые твердые материалы. Применяют таблетки или гранулы минералов, таких как цеолиты (природные и полусинтетические алюмосиликаты), активированный уголь, гетит или пористые минерализованные полимеры [14].

3. Другие подходы к обессериванию биогаза

Не менее эффективные, но менее рациональные и более высокочатратные методы десульфуризации биогаза:

					<i>ВКР.191273.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		24

1. Мембранная очистка – данная технология использует последовательный каскад молекулярных сит, каждое из которых улавливает определенное загрязнение. Однако высокая эффективность очистки значительно сокращает общий интервал обслуживания системы и увеличивает количество циклов регенерации.

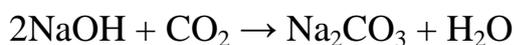
2. Очистка с помощью аминов – использование аминов широко применяется на крупных газоочистных установках, но в биогазовых установках применение таких систем может быть оправдано только при крупнотоннажном производстве биогаза.

3. Бактериальное улавливание сероводорода – принцип задержания H_2S основывается на использовании в качестве фильтра колоний глубоководных океанских сульфатредуцирующих или анаммокс-бактерий [14].

1.3.4 Очистка от диоксида углерода

1. Щелочная хемосорбция диоксида углерода и сероводорода

Диоксид углерода достаточно инертный, но тем не менее, активно реагирует с щелочами. Наглядно реакцию на примере водного раствора NaOH можно отобразить как:



Очищенный метан, при этом, не задерживаясь и не взаимодействуя с щелочью, покидает абсорбционную установку.

2. Короткоцикловая безнагревная адсорбция под давлением

Метод КБА заключается в пропускании газовой смеси через каскад адсорбентов под давлением до 10 атмосфер. На каждом этапе каскада используется определенный адсорбент, задерживающий одну из примесей, процесс включает несколько циклов сорбции и десорбции (как под давлением, так и при разряжении). Установка включает в себя от 4 до 6 адсорберов, что снижает компактность, значительно увеличивает количество регенерационных циклов и объемы используемых субстратов, сильно увеличивая общую стоимость очистных процедур [14].

					<i>ВКР.191273.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		25

На рисунке 6 представлена многоадсорберная КБА-установка.



Рисунок 6 – Многоадсорберная КБА-установка

3. Криогенное вымораживание

Принцип технологии основывается на охлаждении метановой смеси до минус 80 °С – весь CO₂ при этом затвердевает, превращаясь в сухой лед, который механически удаляется из рабочего компартмента углекислотной установки. Метан с температурой замерзания минус 182 °С, не подвергается криогенному вымораживанию и отводится из установки.

4. Промывка водой под давлением

Другим методом удаления углекислого газа является промывка водой под давлением. Данный способ основывается на увеличении растворимости газов в жидкостях при повышении давления [14].

Вода хорошо растворяет в себе многие газообразные вещества, а при давлении в 10 атмосфер и выше она начинает проявлять исключительные сорбционные свойства, активно впитывая как углекислоту, так и сероводород.

Биогаз является одним из самых перспективных видов возобновляемой энергии и имеет большое значение для современного мира. Его производство имеет следующие преимущества:

- снижение выбросов парниковых газов;
- утилизация отходов;

					<i>ВКР.191273.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		26

- снижение зависимости от углеводородного сырья;
- увеличение энергетической безопасности.

Таким образом, биогаз играет важную роль в переходе к более экологически чистой и устойчивой энергетической системе.

В связи с рассмотренными позициями одной из основных задач технологической части выпускной квалификационной работы является расчет установки получения биогаза из органических отходов.

					<i>ВКР.191273.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		27

2 ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

2.1 Характеристика сырья

Сырьем для получения биогаза могут стать различные отходы органического происхождения. Показатели выхода биогаза из различных видов органического сырья приведены в таблице 4 [15].

Таблица 4 – Выход биогаза из органического сырья

Категория сырья	Выход биогаза из 1 тонны базового сырья, м ³
Отходы жизнедеятельности коров	39-51
Отходы жизнедеятельности свиней	51-87
Отходы жизнедеятельности овец	70
Отходы жизнедеятельности птиц	46-93
Жировая ткань	1290
Отходы с мясобойни	240-510
ТБО	180-200
Отходы сточных вод	70
Послеспиртовая барда	45-95
Биологические отходы производства сахара	115
Силос	210-410
Картофельная ботва	280-490
Свекольный жом	29-41
Свекольная ботва	75-200
Овощные отходы	330-500
Зерно	390-490
Трава	290-490
Глицерин	390-595
Пивная дробина	39-59
Отходы, полученные в процессе уборки ржи	165
Лен и конопля	360
Овсяная солома	310
Клевер	430-490
Молочная сыворотка	50
Кукурузный силос	250
Мука, хлеб	539
Рыбные отходы	300

Следует отметить, что качество сырья для биогазовой установки напрямую влияет на количество производимого биогаза и его качество. Необходимо тщательно выбирать сырье и контролировать процесс его переработки. Важ-

					<i>ВКР.191273.180301.ПЗ</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>	<i>Кочегурова М.Е.</i>				<i>Расчет установки получения биогаза из органических отходов и подготовки его до товарного качества</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Провер.</i>	<i>Лескова С.А.</i>					У	28	61
<i>Н. контр.</i>	<i>Родина Т.А.</i>				<i>АМГУ ИФФ гр. 918-од</i>			
<i>Зав. каф.</i>	<i>Гужель Ю.А.</i>							

ным критерием при выборе сырья является содержание влаги и сухих веществ. Содержание влаги должно быть не менее 70 %, а содержание сухих веществ не менее 30 %. Соотношение жиров, белков и углеводов в сырье также влияет на процесс газообразования [15].

Подготовка сырья для биогазовой установки играет важную роль в эффективности процесса газообразования. В зависимости от типа сырья, его физических и химических свойств подготовка может включать в себя следующие стадии [16]:

1. Измельчение и перемешивание

Осуществить получение максимальных объемов биогаза из ферментируемых масс можно, обеспечив достаточно высокую активность микроорганизмов. Реализовать поставленную задачу можно при необходимой вязкости субстрата. Процессы метанового брожения замедляются, если в сырье присутствуют твердые фракции, при наличии которых наблюдается образование корки, приводящей к расслоению субстрата и прекращению выхода биогаза. Для исключения подобного явления, перед загрузкой в биореакторы сырьевую массу измельчают, используя дробилки, мельницы или дробилки с зубчатыми валами, и осторожно перемешивают.

2. Дезинфекция

Некоторые виды сырья могут содержать патогены или бактерии, которые затрудняют процесс газообразования или приводят к ухудшению качества биогаза. Сырье подвергают дезинфекции путем термической обработки или использования химических препаратов [16].

3. Регулирование pH

Водородный показатель сырья оказывает влияние на активность микроорганизмов, участвующих в процессе газообразования. Регулирование pH осуществляют путем добавления кислот или щелочей. Оптимальными значениями pH сырья являются параметры, находящиеся в диапазоне от 6,6 до 8,5. Практическая реализация увеличения pH до необходимого уровня обеспечива-

					<i>ВКР.191273.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		29

ется посредством дозированного введения в субстрат состава, изготовленного из измельченного мрамора [16].

2.2 Характеристика готовой продукции

Биогазовая установка осуществляет технологический процесс, который позволяет получать два основных продукта – биогаз и биоудобрения.

Биогаз – газовая смесь, которая образуется в результате анаэробного разложения органических отходов растительного и животного происхождения. Состав биогаза различается в зависимости от источника сырья и условий его производства, но в общем он состоит из следующих компонентов [17]:

1. Метан (CH_4) – основной компонент биогаза, составляет от 55 % до 75 % его общего объема.

2. Углекислый газ (CO_2) – второй по объему компонент биогаза, его содержание варьирует от 27 % до 44 %.

3. Водород (H_2) – содержится в небольших количествах от 0,01 до 0,02 %.

4. Азот (N_2) – находится в небольших количествах до 3 %.

5. Сероводород (H_2S) – присутствует в количестве менее 1 %.

Физические свойства биогаза [18]:

1. Плотность биогаза около $0,7 \text{ кг/м}^3$ при нормальных условиях.

2. Температура воспламенения биогаза – $650 \text{ }^\circ\text{C}$.

3. Теплота сгорания от 20 до 25 МДж/м^3 . Значение может варьировать в зависимости от конкретного состава биогаза – концентраций метана, диоксида углерода, кислорода и других компонентов.

Для метана существует показатель, который характеризует способность газового топлива противостоять самовоспламенению при сжатии, – метановое число. Детонационно стойким является метан, его метановое число 100, детонационно нестойким является водород, его метановое число 0. Метановое число биогаза может варьировать от 50 до 70 в зависимости от конкретного состава биогаза.

					<i>ВКР.191273.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		30

Биогаз может быть подготовлен до качества природного газа. По физико-химическим показателям должен соответствовать требованиям и нормам, приведенным в таблице 5 [19].

Таблица 5 – Физико-химические показатели газа промышленного и коммунально-бытового назначения

Наименование показателя	Норма
Массовая концентрация сероводорода, г/м ³ , не более	0,020
Температура точки росы по воде при давлении в точке отбора пробы, °С	Ниже температуры газа в точке отбора пробы
Молярная доля диоксида углерода, %, не более	2,5
Массовая концентрация механических примесей, г/м ³ , не более	0,001

Области практического применения биогаза [20]:

1. Для генерации электроэнергии на специальных установках – биогазовых электростанциях.
2. Для обогрева помещений – генерации тепла в домашних хозяйствах и промышленности.
3. В качестве топлива для автотранспорта. Например, автобусы и грузовики, работающие на биогазе, широко используются во многих странах мира – Германии, Дании, Франции и т.д.

Биоудобрения – остаточный продукт, получаемый в результате переработки органических отходов в биогазовой установке. Состав биоудобрений различен в зависимости от источника органических отходов, используемых в производстве, и условий производства. Удобрения содержат следующие полезные элементы: азот, фосфор, калий, магний, кальций, серу, железо, медь, цинк, марганец, бор, молибден, никель и другие микроэлементы, необходимые для роста и развития растений. Дигестат, полученный на биогазовой установке, является более эффективным и экологически чистым вариантом удобрений, чем синтетические по следующим причинам [13]:

1. Биодобрения производят из органических отходов, а не химических соединений, поэтому они не загрязняют почву и воду.
2. Содержат множество микроорганизмов, которые способствуют улучшению почвы.
3. Использование биодобрений позволяет сократить затраты на закупку дорогостоящих синтетических удобрений.
4. Отсутствует патогенная микрофлора и неприятный запах.

2.3 Описание технологической схемы биогазовой установки

Технологическая схема биогазовой установки представлена на рисунке 7.

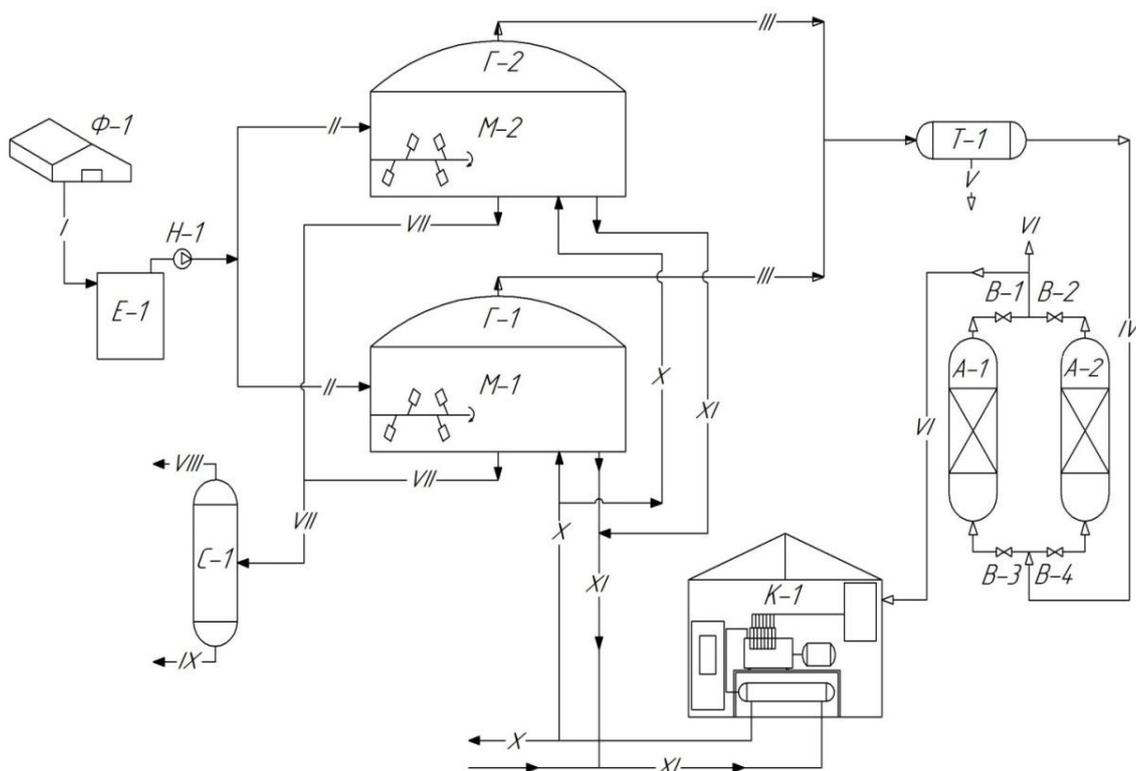


Рисунок 7 – Технологическая схема биогазовой установки

- Ф-1 – ферма; Е-1 – емкость для сбора и гомогенизации сырья;
 М-1-2 – метантенк; Г-1-2 – газгольдер; Т-1 – теплообменник; А-1-2 – адсорбер;
 В-1-4 – вентиль; К-1 – когенерационная установка; С-1 – сепаратор;
 I – сырье с фермы; II – гомогенизированное сырье; III – биогаз;
 IV – осушенный биогаз; V – конденсат; VI – осушенный и очищенный биогаз;
 VII – дигестат; VIII – жидкие биодобрения; IX – твердые биодобрения;
 X – горячая вода; XI – холодная вода

Сырье из фермы Ф-1 подается в емкость для сбора и гомогенизации сырья Е-1, которая оборудована мешалкой. Далее гомогенизированное сырье с помощью насоса Н-1 подается в метантенки М-1 и М-2 с мешалками.

Перемешивание массы в реакторах производится каждые 6 часов с целью интенсификации процесса брожения, равномерного распределения микроорганизмов, устранения образования застойных зон и корки. Два реактора предусмотрено для надежной эксплуатации установки. Длительность сбраживания составляет 15 суток, режим – мезофильный (38 °С). Образовавшийся биогаз накапливается в упругих резиновых накопителях – газгольдерах Г-1 и Г-2, расположенных наверху метантенков, под давлением 5 кПа. Дигестат отводится снизу метантенков и подается в сепаратор С-1 для отделения твердых и жидких биоудобрений и далее – потребителям.

Биогаз, насыщенный водяными парами, из газгольдеров подается в теплообменник Т-1, где охлаждается. В результате водяные пары конденсируются и отводятся с установки. Осушенный биогаз очищается от сероводорода в адсорберах А-1 и А-2. Процесс основан на физическом поглощении H_2S в порах твердого поглотителя – активированного угля. Температура реакции – 40 °С. Длительность работы угля до регенерации – от 1 до 3 недель, а общий срок службы – около двух лет. Для регенерации угля применяется продувка потоком горячего (300 °С) регенерированного газа.

Часть осушенного и очищенного от сероводорода биогаза отводится с установки для закачки в баллоны и далее – потребителям, другая часть биогаза направляется на когенерационную установку для обеспечения установки электроэнергией и теплом. Часть тепла используется для обогрева метантенков для поддержания температуры брожения, другая часть тепла направляется на нужды фермы.

2.4 Расчет биогазовой установки

2.4.1 Расчет количества субстрата и выхода биогаза

Методика расчета биогазовой установки приведена в источнике [2].

					<i>ВКР.191273.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		33

Исходным сырьем биогазовой установки служат органические отходы, поступающие с ЗАОР (НП) Агрофирмы «Партизан», расположенной в селе Раздольное Амурской области. Численность крупного рогатого скота (КРС) приведена в таблице 6.

Таблица 6 – Численность КРС Агрофирмы «Партизан»

Группа животных	Количество голов на 13 апреля 2023 г.
Коровы	441
Нетели	40
Телята возрастом до 12 месяцев	300
Телята от 12 до 18 месяцев	120
Итого	901

Суточный выход биогаза $V_{\text{биог}}$, м³/сут, определяется по формуле:

$$V_{\text{биог}} = L \cdot g, \quad (1)$$

где $g = 25$ – удельный выход биогаза, м³ на 1 т перерабатываемого субстрата или сухого вещества;

L – суточное количество перерабатываемого субстрата (или сухого вещества), т/сут.

По технологическим нормам определяется количество субстрата (таблица 7). Количество измельченной подстилки для крупного скота принимается равным 3 кг/сут, для телят – 2 кг/сут.

Таблица 7 – Нормы выхода отходов крупного рогатого скота

Группы животных	Показатели	Состав отходов	
		Твердые	Жидкие
Коровы	Масса, кг	35,0	20,0
	Влажность, %	85,2	94,2
Нетели	Масса, кг	20,0	7,0
	Влажность, %	83,5	96,0
Телята возрастом до 12 месяцев	Масса, кг	10,0	4,0
	Влажность, %	83,5	96,5
Телята возрастом от 12 до 18 месяцев	Масса, кг	20,0	7,0
	Влажность, %	83,5	96,0

Общая масса отходов и соломы, кг:

– на одну корову

$$35 + 20 + 3 = 58 \text{ кг};$$

– на одну нетель

$$20 + 7 + 3 = 30 \text{ кг};$$

– на одного теленка возрастом до 12 месяцев

$$10 + 4 + 2 = 16 \text{ кг};$$

– на одного теленка возрастом от 12 до 18 месяцев

$$20 + 7 + 2 = 29 \text{ кг}.$$

Определим усредненную влажность всей биомассы.

Количество сухого вещества, кг, в твердых и жидких отходах рассчитывается по формуле:

$$m_{\text{сух/от}} = m_{\text{норм}} \frac{(100-x_c)}{100}, \quad (2)$$

где $m_{\text{норм}}$ – норма выхода твердого и жидкого субстрата, кг/сут;

x_c – влажность субстрата, %.

Количество сухого вещества в твердых отходах:

– коров

$$35 \frac{(100-85,2)}{100} = 5,18 \text{ кг};$$

– нетели

$$20 \frac{(100-83,5)}{100} = 3,3 \text{ кг};$$

– теленка возрастом до 12 месяцев

$$10 \frac{(100-83,5)}{100} = 1,65 \text{ кг};$$

– теленка возрастом от 12 до 18 месяцев

$$20 \frac{(100-83,5)}{100} = 3,3 \text{ кг}.$$

Количество сухого вещества в жидких отходах:

– коров

$$20 \frac{(100-94,2)}{100} = 1,16 \text{ кг};$$

– нетели

$$7 \frac{(100-96)}{100} = 0,28 \text{ кг};$$

					<i>ВКР.191273.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		35

– теленка возрастом до 12 месяцев

$$4 \frac{(100-96,5)}{100} = 0,14 \text{ кг};$$

– теленка возрастом от 12 до 18 месяцев

$$7 \frac{(100-96)}{100} = 0,28 \text{ кг}.$$

Количество сухого вещества, кг, в измельченной подстилке рассчитывается по формуле:

$$m_{\text{сух/п}} = m_{\text{п}} \frac{(100-x_{\text{п}})}{100}, \quad (3)$$

где $m_{\text{п}}$ – количество измельченной подстилки для КРС или телят, кг/сут;

$x_{\text{п}} = 14\%$ – влажность соломы.

Количество сухого вещества в подстилке:

– крупного рогатого скота

$$3 \frac{(100-14)}{100} = 2,58 \text{ кг};$$

– телят

$$2 \frac{(100-14)}{100} = 1,72 \text{ кг}.$$

Тогда общее количество сухого вещества в смеси субстрата и подстилки:

– коров

$$5,18 + 1,16 + 2,58 = 8,92 \text{ кг};$$

– нетели

$$3,3 + 0,28 + 2,58 = 6,16 \text{ кг};$$

– теленка возрастом до 12 месяцев

$$1,65 + 0,14 + 1,72 = 3,51 \text{ кг};$$

– теленка возрастом от 12 до 18 месяцев

$$3,3 + 0,28 + 1,72 = 5,3 \text{ кг}.$$

Усредненный процент сухого вещества рассчитывается по формуле:

$$m_{\text{уср}} = \frac{m_{\text{сух/общ}} \cdot 100}{m_{\text{общ}}}, \quad (4)$$

Где $m_{\text{сух/общ}}$ – общее количество сухого вещества в смеси отходов и подстилки, кг;

					<i>ВКР.191273.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						36
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		

$m_{\text{общ}}$ – общая масса отходов и соломы, кг.

Тогда усредненный процент сухого вещества в массе:

– коров

$$\frac{8,92 \cdot 100}{58} = 15,38 \%$$

– нетели

$$\frac{6,16 \cdot 100}{30} = 20,53 \%$$

– телят возрастом до 12 месяцев

$$\frac{3,51 \cdot 100}{16} = 21,94 \%$$

– телят возрастом от 12 до 18 месяцев

$$\frac{5,3 \cdot 100}{29} = 18,28 \%$$

Тогда влажность всей массы:

– коров

$$100 - 15,38 = 84,62 \%$$

– нетели

$$100 - 20,53 = 79,47 \%$$

– телят возрастом до 12 месяцев

$$100 - 21,94 = 78,06 \%$$

– телят возрастом от 12 до 18 месяцев

$$100 - 18,28 = 81,72 \%$$

Количество смеси при влажности 88 %:

– на одну корову

$$58 \frac{(100 - 84,62)}{(100 - 88)} = 74,34 \text{ кг};$$

– на одну нетель

$$30 \frac{(100 - 79,47)}{(100 - 88)} = 51,33 \text{ кг};$$

– на одного теленка возрастом до 12 месяцев

$$16 \frac{(100 - 78,06)}{(100 - 88)} = 29,25 \text{ кг};$$

					<i>ВКР.191273.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		37

– на одного теленка возрастом от 12 до 18 месяцев

$$29 \frac{(100-81,72)}{(100-88)} = 44,18 \text{ кг.}$$

Суммарное количество субстрата влажностью 88 %:

$$74,34 \cdot 441 + 51,33 \cdot 40 + 29,25 \cdot 300 + 44,18 \cdot 120 = 48913,74 \text{ кг} = \\ = 54294,25 \text{ л} = 54,3 \text{ м}^3.$$

Тогда объем биогаза из данного количества субстрата составит:

$$V_{\text{биогаз}} = 54,3 \cdot 25 = 1357,5 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

2.4.2 Расчет размеров метантенков

Исходными данными для определения объема метантенков являются суточная загрузка субстрата, длительность сбраживания, периодичность загрузки и выгрузки субстрата из реактора.

С точки зрения надежности эксплуатации рекомендуется установка не менее двух метантенков. В случае остановки одного реактора работает другой. Каждый из них рассчитывается на сбраживание половины общего суточного количества субстрата. Требуемая вместимость, м^3 , каждого реактора рассчитывается по формуле:

$$V_{\text{тр}} = \frac{G_{\text{н}} \cdot \tau}{n}, \quad (5)$$

где $G_{\text{н}}$ – суточная загрузка субстрата $\text{м}^3/\text{сут}$;

τ – длительность сбраживания, сут;

n – количество метантенков.

Для снижения потерь тепла через стенки метантенка его форму нужно выбрать так, чтобы поверхность теплообмена была минимальной. Цилиндрическая емкость имеет наименьшую поверхность при соотношении высоты h и радиуса R реактора, равном:

$$h = 4 \cdot R. \quad (6)$$

Исходя из условия (6), требуемые размеры метантенка:

– объем V , м^3

$$V = \pi \cdot R^2 \cdot h; \quad (7)$$

					<i>ВКР.191273.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						38
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		

– площадь поверхности S , м^2

$$S = 2 \cdot \pi \cdot R^2 + \pi \cdot R \cdot h. \quad (8)$$

Подставив (6) в (7), получим формулу для расчета радиуса биореактора R , м:

$$R = \sqrt[3]{\frac{0,5 \cdot V_{\text{тр}}}{\pi}}.$$

Определим размеры метантенков в сельскохозяйственной биогазовой установке с суммарным суточным выходом субстрата $54,3 \text{ м}^3/\text{сут}$. Длительность сбраживания субстрата 15 суток.

Примем к установке два метантенка, вместимость каждого из которых составит:

$$V_{\text{тр}} = \frac{54,3 \cdot 15}{2} = 407,25 \text{ м}^3.$$

Оптимальный радиус метантенка:

$$R = \sqrt[3]{\frac{0,5 \cdot 407,25}{3,14}} = 4,02 \text{ м}.$$

Примем к установке метантенк радиусом $R = 4 \text{ м}$ и высотой $h = 16 \text{ м}$.

Объем каждого реактора:

$$V = 3,14 \cdot 4^2 \cdot 16 = 804 \text{ м}^3.$$

Площадь поверхности каждого реактора:

$$S = 2 \cdot 3,14 \cdot 4^2 + 3,14 \cdot 4 \cdot 16 = 301,44 \text{ м}^2.$$

Несколько большие размеры реактора по сравнению с требуемыми для размещения субстрата обеспечивают свободное пространство над поверхностью сбраживаемой массы для накопления биогаза.

В случае совмещенных биореакторов-газгольдеров общий объем реактора должен превышать требуемое значение на величину двух- или четырехчасового выхода биогаза. В сутки образуется $1357,5 \text{ м}^3$ биогаза, двухчасовой выход составляет $113,2 \text{ м}^3$. Тогда, общий объем каждого реактора:

$$V_{\text{общ}} = 804 + 113,2 = 917,2 \text{ м}^3.$$

					<i>ВКР.191273.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		39

2.4.3 Материальный баланс биогазовой установки

В среднем при анаэробном сбраживании около 60 % биомассы превращается в биогаз, а оставшиеся 40 % биомассы станут остаточным материалом, который может быть использован в качестве биоудобрения [21].

Количество разложившейся биомассы, кг, рассчитывается по формуле:

$$m_{\text{разл}} = \frac{m \cdot x}{100}, \quad (9)$$

где m – количество субстрата, кг;

x – количество разложившихся отходов.

Тогда,

$$m_{\text{разл}} = \frac{48913,74 \cdot 60}{100} = 29348,24 \text{ кг.}$$

Количество отходов в остатке (биоудобрений), кг, рассчитывается по формуле:

$$m_{\text{ост}} = m - m_{\text{разл}}. \quad (10)$$

Тогда,

$$m_{\text{ост}} = 48913,74 - 29348,24 = 19565,5 \text{ кг.}$$

Рассчитаем объемное содержание CH_4 , CO_2 , N_2 , H_2S , %, в составе биогаза по формуле:

$$V_i = \frac{V_{\text{биогаз}} \cdot x_i}{100}, \quad (11)$$

где x_i – содержание каждого компонента в биогазе, %.

Тогда,

$$V_{\text{CH}_4} = \frac{1357,5 \cdot 60}{100} = 814,5 \text{ м}^3;$$

$$V_{\text{CO}_2} = \frac{1357,5 \cdot 37}{100} = 502,28 \text{ м}^3;$$

$$V_{\text{N}_2} = \frac{1357,5 \cdot 2}{100} = 27,15 \text{ м}^3;$$

$$V_{\text{H}_2\text{S}} = \frac{1357,5 \cdot 1}{100} = 13,58 \text{ м}^3.$$

Рассчитаем массовое содержание CH_4 , CO_2 , N_2 , H_2S , кг, в составе биогаза по формуле:

					<i>ВКР.191273.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						40
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		

$$m_i = \frac{m_{\text{разл}} \cdot V_i}{V_{\text{биог}}} \quad (12)$$

Тогда,

$$m_{\text{CH}_4} = \frac{29348,24 \cdot 814,5}{1357,5} = 17608,94 \text{ кг};$$

$$m_{\text{CO}_2} = \frac{29348,24 \cdot 502,28}{1357,5} = 10858,96 \text{ кг};$$

$$m_{\text{N}_2} = \frac{29348,24 \cdot 27,15}{1357,5} = 586,96 \text{ кг};$$

$$m_{\text{H}_2\text{S}} = \frac{29348,24 \cdot 13,58}{1357,5} = 293,8 \text{ кг}.$$

Материальный баланс представлен в таблице 8.

Таблица 8 – Материальный баланс биогазовой установки

Компоненты	Приход, кг	Компоненты	Расход, кг
Субстрат	48913,74	Метан (CH ₄)	17608,94
		Углекислый газ (CO ₂)	10858,96
		Азот (N ₂)	586,96
		Сероводород (H ₂ S)	293,80
		Остаток (биоудобрения)	19565,50
Итого	48913,74	Итого	48913,74

Масса субстрата, поступающего на переработку, равна массе получаемых компонентов – биогаза и биоудобрения.

2.4.4 Тепловой баланс биогазовой установки

Определим тепловую потребность сельскохозяйственной биогазовой установки, расположенной в районе с температурой наружного воздуха в холодный период года $t_n = \text{минус } 30 \text{ }^\circ\text{C}$. Установка оборудована двумя реакторами радиусом 4 м и высотой 16 м. Общее количество жидкого субстрата $54,3 \text{ м}^3$, влажность субстрата 88 %. Длительность сбраживания 15 суток. Режим сбраживания – мезофильный ($t_p = 38 \text{ }^\circ\text{C}$). Выход биогаза составляет $1357,5 \text{ м}^3/\text{сут}$.

Потенциальный тепловой поток от сжигания выделившегося биогаза рассчитывается по формуле:

$$Q_{\text{Г}}^* = \frac{Q_{\text{н}} \cdot V_{\text{биог}}}{86400}, \quad (13)$$

где $Q_{\text{н}}$ – низшая теплота сгорания биогаза, кВт/м³;

$V_{\text{биог}}$ – выход биогаза, м³/сут.

					<i>ВКР.191273.180301.ПЗ</i>	Лист
						41
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

Тогда,

$$Q_{\Gamma}^* = \frac{30000 \cdot 1357,5}{86400} = 471,4 \text{ кВт.}$$

Тепловой поток, необходимый для подогрева свежего субстрата при продолжительности нагрева $\Delta\tau = 24$ часа рассчитывается по формуле:

$$Q_c = \frac{m_c \cdot c_p \cdot (t_{бр} - t_c)}{3600 \Delta\tau}, \quad (14)$$

где $m_c = 48913,74$ кг/сут – загрузка субстрата;

$c_p = 4,2$ кДж/(кг·°С) – теплоемкость субстрата;

$t_{бр}$ – температура брожения, °С;

t_c – минимальная температура свежего субстрата, °С;

$\Delta\tau$ – время нагрева, ч.

Минимальная температура свежего субстрата принимается равной 5 °С в холодный период года и 15 °С в теплый.

Тогда:

– для холодного периода года

$$Q_c = \frac{48913,74 \cdot 4,2 \cdot (38 - 5)}{3600 \cdot 24} = 84,1 \text{ кВт};$$

– для теплого периода года

$$Q_c = \frac{48913,74 \cdot 4,2 \cdot (38 - 15)}{3600 \cdot 24} = 58,6 \text{ кВт.}$$

Тепловой поток через ограждающие конструкции для каждого биореактора определяется по формуле:

$$Q_k = F \cdot k \cdot (t_{бр} - t_n), \quad (15)$$

где F – поверхность теплообмена реактора, м²;

k – коэффициент теплопередачи ограждающих конструкций, Вт/(м²·К);

t_n – расчетная температура наружного воздуха для холодного периода года.

Тогда,

$$Q_k = 301,44 \cdot 0,2 \cdot (38 - (-30)) = 4099,6 \text{ Вт} = 4,1 \text{ кВт.}$$

Для определения теплотерь с биогазом вычислим его плотность. Состав биогаза в % по объему: CH₄ – 60 %, CO₂ – 37 %, N₂ – 2 %, H₂S – 1 %. Мо-

					<i>ВКР.191273.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						42
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		

молекулярные массы компонентов: $\mu(\text{CH}_4) = 16$ г/моль, $\mu(\text{CO}_2) = 44$ г/моль, $\mu(\text{N}_2) = 28$ г/моль, $\mu(\text{H}_2\text{S}) = 34$ г/моль.

Считая, что биогаз подобен смеси идеальных газов, плотность каждого компонента биогаза определяется по формуле:

$$\rho_i = \frac{P \cdot \mu_i \cdot k_i}{RT}, \quad (16)$$

где P – абсолютное давление биогаза (избыточное давление газа в биореакторе принимается равным 2-3 кПа);

μ_i – молекулярная масса i -го компонента;

k_i – объемная доля i -го компонента;

$R = 8,31$ кДж/(кмоль·К) – универсальная газовая постоянная;

$T = 311$ К – абсолютная температура газа, равная температуре режима сбраживания.

Плотность компонентов биогаза при избыточном давлении в биореакторе 2 кПа:

$$\rho_{\text{CH}_4} = \frac{(2+101,325) \cdot 16 \cdot 0,6}{8,31 \cdot 311} = 0,384 \text{ кг/м}^3;$$

$$\rho_{\text{CO}_2} = \frac{(2+101,325) \cdot 44 \cdot 0,37}{8,31 \cdot 311} = 0,651 \text{ кг/м}^3;$$

$$\rho_{\text{N}_2} = \frac{(2+101,325) \cdot 28 \cdot 0,02}{8,31 \cdot 311} = 0,022 \text{ кг/м}^3;$$

$$\rho_{\text{H}_2\text{S}} = \frac{(2+101,325) \cdot 34 \cdot 0,01}{8,31 \cdot 311} = 0,095 \text{ кг/м}^3.$$

Суммарная плотность биогаза составит:

$$\rho = 0,384 + 0,651 + 0,022 + 0,095 = 1,152 \text{ кг/м}^3.$$

Теплоемкость газовой смеси при постоянном давлении, кДж/(кг·°C):

$$c_{\text{биогаз}} = \sum_{i=1}^N v_i \cdot c_i, \quad (17)$$

где v_i – объемная доля i -го компонента в газе;

c_i – теплоемкость i -го компонента при постоянном давлении.

Тогда изобарная теплоемкость биогаза $c_{\text{биогаз}}$ составит:

$$c_{\text{биогаз}} = 0,6 \cdot 2,4 + 0,37 \cdot 0,8 + 0,02 \cdot 1 + 0,01 \cdot 1 = 1,77 \text{ кДж/(кг} \cdot \text{°C)}.$$

Объемное теплосодержание биогаза $Q_{\text{г}}$, кДж/м³ рассчитывается по формуле:

					<i>ВКР.191273.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						43
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		

$$Q_{\Gamma} = \rho \cdot c_{\text{биог}} \cdot t_{\text{p}}, \quad (18)$$

где ρ – плотность газа, кг/м³;

$c_{\text{биог}}$ – удельная теплоемкость биогаза, кДж/(кг·К);

t_{p} – температура газа, °С.

Тогда,

$$Q_{\Gamma} = 1,152 \cdot 1,77 \cdot 38 = 77,48 \text{ кДж/м}^3.$$

Теплопотери $Q_{\text{биог}}$, кВт, связанные с выходом биогаза из реактора, определяются как

$$Q_{\text{биог}} = \frac{Q_{\Gamma} \cdot V_{\text{биог}}}{24 \cdot 3600}, \quad (19)$$

где Q_{Γ} – объемное теплосодержание биогаза, кДж/м³.

Тогда,

$$Q_{\text{биог}} = \frac{77,48 \cdot 1357,5}{24 \cdot 3600} = 1,23 \text{ кВт}.$$

Биогаз насыщен водяными парами, поэтому необходимо учесть и тепловую энергию, уносимую с ними. Теплопотери $Q_{\text{в.п.}}$, связанные с уносом водяного пара, определяются так же, как и для теплового потока, уносимого биогазом.

Давление насыщенных водяных паров при температуре 38 °С составляет 4,760 кПа, теплоемкость $c = 4,182$ кДж/(кг·°С) [22]. Плотность водяного пара $\rho_{\text{в.п.}}$ составит:

$$\rho_{\text{в.п.}} = \frac{(4,76 + 101,325) \cdot 18}{8,31 \cdot 311} = 0,739 \text{ кг/м}^3.$$

Объемное теплосодержание водяного пара:

$$Q_{\text{п}} = 0,739 \cdot 4,182 \cdot 38 = 117,44 \text{ кДж/м}^3.$$

Теплопотери с водяными парами:

$$Q_{\text{в.п.}} = \frac{117,44 \cdot 1357,5}{24 \cdot 3600} = 1,85 \text{ кВт}.$$

Суммарные теплопотери двух биореакторов:

$$Q = 4,1 \cdot 2 + 1,23 + 1,85 = 11,28 \text{ кВт}.$$

Суммарный тепловой поток на нужды биогазовой установки:

$$Q_{\text{T}}^2 = 84,1 + 11,28 = 95,38 \text{ кВт}.$$

					<i>ВКР.191273.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		44

Для каждого биореактора:

$$Q_T^1 = \frac{95,38}{2} = 47,69 \text{ кВт.}$$

Обогрев биореактора выполняется путем размещения по периметру его стенок теплообменников в виде спирали из труб. Теплоноситель – горячая вода. Температура воды на входе в спиральный теплообменник равна 60 °С, скорость ее движения $v = 1,2$ м/с.

Расчет поверхностей нагрева проводится для одного биореактора. Тепловой поток Q_T , который необходимо возместить нагревательными приборами, составляет 47,69 кВт. Предварительные расчеты показывают, что целесообразно выбрать трубы диаметром 60 мм с толщиной стенки 3 мм.

Площадь живого сечения трубы f , m^2 , по которой циркулирует теплоноситель:

$$f = \frac{\pi \cdot d^2}{4}, \quad (20)$$

где d – внутренний диаметр трубы, м.

Площадь живого сечения трубы диаметром 60 мм:

$$f = \frac{3,14 \cdot (0,06 - 2 \cdot 0,003)^2}{4} = 0,0023 \text{ м}^2.$$

Объемный расход теплоносителя, m^3/c , определяется как

$$V = f \cdot v, \quad (21)$$

где $v = 1,0 \dots 1,2$ м/с – скорость движения теплоносителя.

Тогда секундный объемный расход теплоносителя:

$$V = 0,0023 \cdot 1,2 = 0,0028 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Массовый расход теплоносителя, кг/с:

$$G = V \cdot \rho, \quad (22)$$

где ρ – плотность теплоносителя, kg/m^3 .

Плотность воды при температуре 60 °С составляет 983,2 kg/m^3 [22]. Массовый расход теплоносителя составит:

$$G = 0,0028 \cdot 983,2 = 2,75 \text{ кг/с}.$$

Перепад температур на входе и выходе нагревательных приборов Δt , °С:

					<i>ВКР.191273.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						45
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		

$$\Delta t = \frac{Q_T}{G \cdot c}, \quad (23)$$

где $c = 4,18$ кДж/(кг·°С) – удельная теплоемкость воды при начальной температуре теплоносителя $t_{в.н.} = 60$ °С [22].

Тогда средний температурный напор составит:

$$\Delta t = \frac{47,69}{2,75 \cdot 4,18} = 4,15 \text{ °С.}$$

Конечная температура воды $t_{в.к.}$, °С, на выходе из приборов определяется по формуле:

$$t_{в.к.} = t_{в.н.} - \Delta t. \quad (24)$$

Тогда,

$$t_{в.к.} = 60 - 4,15 = 55,85 \text{ °С.}$$

Средняя температура теплоносителя, °С, определяется по формуле:

$$t_{ср} = \frac{t_{в.н.} + t_{в.к.}}{2}. \quad (25)$$

Тогда,

$$t_{ср} = \frac{60 + 55,85}{2} = 57,9 \text{ °С.}$$

Расчет коэффициентов теплоотдачи выполняется с использованием критериев подобия. Режим течения теплоносителя определяется по величине числа Рейнольдса (Re):

$$Re = \frac{v \cdot d}{\nu}, \quad (26)$$

где $\nu = 0,485 \cdot 10^{-6}$ м²/с – кинематическая вязкость жидкости (воды) [22];

d – характерный размер (диаметр трубы), м.

Число Re будет равно:

$$Re = \frac{1,2 \cdot 0,06}{0,485 \cdot 10^{-6}} = 148454.$$

148454 > 10000, следовательно, режим течения теплоносителя турбулентный.

Коэффициент теплоотдачи α , Вт/(м²·°С), вычисляется как

$$\alpha = \frac{l \cdot Nu}{\lambda_{ж}}, \quad (27)$$

где $l = 7,7$ м – характерный линейный размер системы;

					<i>ВКР.191273.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		46

$\lambda_{ж} = 0,659 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^{\circ}\text{С})$ – коэффициент теплопроводности;

Nu – число Нуссельта:

$$Nu = \frac{0,021 \cdot Re_{ж}^{0,8} \cdot Pr_{ж}^{0,68}}{Pr_c^{0,25}}, \quad (28)$$

где $Pr_{ж}$ и Pr_c – значения критерия Прандтля, относящиеся к средней температуре жидкости и стенки, соответственно.

Значения критерия Прандтля, относящиеся к температуре:

жидкости: $Pr_{ж} = 2,59$;

стенки: $Pr_c = 2,98$.

Подставив значения в формулы (27) и (28), получим:

$$Nu_B = \frac{0,021 \cdot 148454^{0,8} \cdot 2,59^{0,68}}{2,98^{0,25}} = \frac{0,021 \cdot 13717,45 \cdot 1,91}{1,31} = 420;$$

$$\alpha_B = \frac{7,7 \cdot 420}{0,659} = 4907 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^{\circ}\text{С}).$$

Коэффициент теплопередачи k , $\text{Вт}/(\text{м}^2\cdot^{\circ}\text{С})$, находится по формуле для цилиндрической стенки:

$$\frac{1}{k} = \frac{1}{\alpha_B \cdot d_B} + \frac{1}{2 \cdot \lambda \cdot \ln\left(\frac{d_H}{d_B}\right)} + \frac{1}{\lambda \cdot d_H} + R_H + R_B, \quad (29)$$

где d_B и d_H – соответственно внутренний и наружный диаметр трубы, м;

$d_B = 0,056 \text{ м}$, $d_H = 0,060 \text{ м}$.

α_B – коэффициент теплоотдачи, $\text{Вт}/(\text{м}^2\cdot^{\circ}\text{С})$;

λ – коэффициент теплопроводности материала, из которого сделана стенка, для стали $\lambda = 60 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^{\circ}\text{С})$;

R_H и R_B – соответственно факторы загрязнения со стороны субстрата и со стороны теплоносителя, $(\text{м}^2\cdot^{\circ}\text{С})/\text{Вт}$. Значения факторов загрязнения:

$R_H = 0,002 (\text{м}^2\cdot^{\circ}\text{С})/\text{Вт}$;

$R_B = 0,02 (\text{м}^2\cdot^{\circ}\text{С})/\text{Вт}$.

Коэффициент теплопередачи составит: $k = 36,46 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot^{\circ}\text{С})$.

Средний температурный напор, $^{\circ}\text{С}$:

$$\Delta t = \frac{\Delta t_6 - \Delta t_M}{\ln\left(\frac{\Delta t_6}{\Delta t_M}\right)}, \quad (30)$$

					<i>ВКР.191273.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		47

где $\Delta t_6 = \Delta t_{\text{в.н.}} - t_{\text{бр}}, \text{ } ^\circ\text{C};$

$\Delta t_{\text{м}} = \Delta t_{\text{в.к.}} - t_{\text{бр}}, \text{ } ^\circ\text{C};$

$t_{\text{бр}}$ – температура в бродильной камере, $^\circ\text{C}$.

Тогда,

$$\Delta t_6 = 60 - 38 = 22 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$\Delta t_{\text{м}} = 55,85 - 38 = 17,85 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$\Delta t = \frac{22 - 17,85}{\ln\left(\frac{22}{17,85}\right)} = 19,85 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Поверхность теплообмена $F, \text{ м}^2$, определяется как

$$F = \frac{Q}{k \cdot \Delta t}, \quad (31)$$

где Q – тепловой поток, который необходимо возместить нагревательными приборами, Вт;

k – коэффициент теплопередачи, Вт/(м \cdot °C);

Δt – средний перепад температур, $^\circ\text{C}$.

Тогда,

$$F = \frac{47690}{36,46 \cdot 19,85} = 65,89 \text{ м}^2.$$

Общая требуемая длина труб для обогрева, м:

$$l = \frac{F}{\pi \cdot d_{\text{н}}}; \quad (32)$$

$$l = \frac{65,89}{3,14 \cdot 0,06} = 349,7 \text{ м}.$$

При расчете для горизонтальных труб вычисляется внутренний периметр $\Pi, \text{ м}$, биореактора:

$$\Pi = \pi \cdot D_{\text{в}}, \quad (33)$$

где $D_{\text{в}} = 8$ – диаметр реактора, м.

$$\Pi = 3,14 \cdot 8 = 25,12 \text{ м}.$$

Количество витков обогревательных труб:

$$n = \frac{l}{\Pi}; \quad (34)$$

$$n = \frac{349,7}{25,12} = 13,92 \approx 14.$$

Принимаем теплообменник с 14 витками.

					<i>ВКР.191273.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		48

Затраты теплоты на собственные нужды процесса:

– в холодный период года (зимнее время)

$$Q_{\text{с.н}}^{\text{зим}} = \frac{54,3 \cdot 4,2 \cdot (38 - 5)}{0,7} = 10751,4 \text{ кДж};$$

– в теплый период года (летнее время)

$$Q_{\text{с.н}}^{\text{лет}} = \frac{54,3 \cdot 4,2 \cdot (38 - 15)}{0,7} = 7493,4 \text{ кДж}.$$

Общее количество биогаза, на собственные нужды:

– в холодный период года (зимнее время)

$$V_{\text{биог.н}}^{\text{зим}} = \frac{10751,4}{25} = 430,1 \text{ м}^3/\text{сут};$$

– в теплый период года (летнее время)

$$V_{\text{биог.н}}^{\text{лет}} = \frac{7493,4}{25} = 299,7 \text{ м}^3/\text{сут}.$$

Выход товарного биогаза:

– в холодный период года (зимнее время)

$$V_{\text{биог.т}}^{\text{зим}} = 1357,5 - 430,1 = 927,4 \text{ м}^3;$$

– в теплый период года (летнее время)

$$V_{\text{биог.т}}^{\text{лет}} = 1357,5 - 299,7 = 1057,8 \text{ м}^3.$$

Коэффициент расхода биогаза на собственные нужды:

– в холодный период года (зимнее время)

$$\eta_{\text{биог}}^{\text{зим}} = \frac{430,1}{1357,5} = 0,32 = 32 \%;$$

– в теплый период года (летнее время)

$$\eta_{\text{биог}}^{\text{лет}} = \frac{299,7}{1357,5} = 0,22 = 22 \%.$$

На основании расчета для мезофильного режима расход биогаза на собственные нужды в зимний период составляет 32 %, а в летний период 22 %. Таким образом, выход товарного биогаза в зимний период составляет 68 %, а в летний период 78 %.

					<i>ВКР.191273.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		49

2.4.5 Расчет биогазового когенератора

Утилизация биогаза с получением тепла предусматривает использование теплогенераторов, а электроэнергии – электрогенераторов. Для совместного получения тепла и электроэнергии можно использовать когенераторы.

Расход биогаза для получения тепла, электроэнергии $q_{\text{биог}}$, м³/ч, определяется как

$$q_{\text{биог}} = \frac{3600 \cdot P}{\eta \cdot Q_{\text{н}}}, \quad (35)$$

где P – паспортная мощность генератора (тепловая, электрическая), кВт;

η – КПД генератора (тепловой, электрический);

$Q_{\text{н}}$ – низшая теплота сгорания биогаза, кДж/м³.

Требуется определить расход очищенного биогаза с низшей теплотой сгорания 30 000 кДж/м³ для получения электрической и тепловой энергии когенератором ГПЭС-150 ЯМЗ 238, имеющем следующие характеристики: расход газа при номинальной мощности – 45 м³/ч, электрическую мощность – 150 кВт, электрический КПД – 44 %, тепловую мощность – 180 кВт, тепловой КПД – 45 %, отапливаемая площадь – 1200 м² [23].

Расход биогаза для получения электроэнергии $q_{\text{биог.эл}}$:

$$q_{\text{биог.эл}} = \frac{3600 \cdot 150}{0,44 \cdot 30000} = 40,9 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Расход биогаза для получения тепловой энергии $q_{\text{биог.теп}}$:

$$q_{\text{биог.эл}} = \frac{3600 \cdot 180}{0,45 \cdot 30000} = 48 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Таким образом, в ходе выполнения технологической части:

1. Определено суммарное количество субстрата, поступающего на переработку – 48913,74 кг/сут (48,91 т/сут).
2. Определен выход биогаза – 1357,5 м³/сут.
3. Рассчитаны основные размеры метантенков: диаметр – 8 м; высота – 16 м; объем – 917,2 м³; площадь поверхности – 301,44 м².
4. Составлен материальный баланс биогазовой установки, согласно которому выход биоудобрений – 19565,50 кг/сут (19,57 т/сут).

					<i>ВКР.191273.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		50

5. Составлен тепловой баланс биогазовой установки, согласно которому расход биогаза на собственные нужды в зимний период составляет 32 %, а в летний период 22 %; выход товарного биогаза в зимний период составляет 68 %, а в летний период 78 %.

6. Подобран биогазовый когенератор ГПЭС-150 ЯМЗ 238. Расход биогаза для получения электроэнергии составляет 40,9 м³/ч, для получения тепловой энергии – 48 м³/ч.

					<i>ВКР.191273.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		51

3 БЕЗОПАСНОСТЬ И ЭКОЛОГИЧНОСТЬ ПРОИЗВОДСТВА

3.1 Опасные факторы при эксплуатации биогазовой установки

Согласно Торговой ассоциации биогаза (Германия) чрезвычайно важно, чтобы биогазовые установки эксплуатировались безопасно, учитывая сложный технологический процесс, при котором образуются и хранятся легковоспламеняющиеся газы [24]. На рисунке 8 представлены основные опасные факторы, возникающие при эксплуатации биогазовых установок [25].



Рисунок 8 – Основные опасные факторы при эксплуатации биогазовых установок

Проведенный обзор данных по авариям и несчастным случаям на установках по получению биогаза позволяет выделить следующие типичные аварийные ситуации [25]:

- утечки из резервуара для хранения отходов или сети их подачи;
- утечки газа из мест хранения и распределения;
- аварийный выброс H_2S ;
- загрязнение водных источников в результате аварийного сброса сточных вод;
- выход из строя оборудования пожаротушения вследствие переполнения резервуаров из-за сильных ливней;
- наличие в сырье для производства биогаза опасных веществ;

					<i>ВКР.191273.180301.ПЗ</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>	<i>Кочегурова М.Е.</i>				<i>Расчет установки получения биогаза из органических отходов и подготовки его до товарного качества</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Провер.</i>	<i>Лескова С.А.</i>					У	52	61
<i>Н. контр.</i>	<i>Родина Т.А.</i>				<i>АМГУ ИФФ гр. 918-од</i>			
<i>Зав. каф.</i>	<i>Гужель Ю.А.</i>							

– заклинивание клапанов и образование избыточного давления в котлах для сжигания биогаза.

3.2 Требования безопасности при эксплуатации биогазовой установки

Меры безопасности при создании и эксплуатации биогазовых установок описаны ГОСТ Р 53790-2010 «Нетрадиционные технологии. Энергетика биоотходов. Общие технические требования к биогазовым установкам» [26].

Раздел «Требования безопасности» содержит следующие основные требования:

1. Установка должна отвечать требованиям пожарной безопасности по ГОСТ 12.1.004-91 «Пожарная безопасность. Общие требования» [27].

2. Установка должна отвечать требованиям электробезопасности по ГОСТ 12.2.007.0-75 «Изделия электротехнические. Общие требования безопасности» [28].

3. В обслуживаемых помещениях метантенков электрическое освещение, электродвигатели, пусковые и токопитающие устройства и аппаратура должны быть взрывозащищенного исполнения в соответствии с классом взрывоопасной зоны согласно ГОСТ Р 51330.9-99 «Электрооборудование взрывозащищенное» [29].

В помещениях метантенков должны находиться:

- комплект противопожарного инвентаря;
- диэлектрические перчатки и ковры у щитов управления;
- газоанализаторы;
- средства индивидуальной защиты;
- взрывобезопасные аккумуляторные фонари;
- аптечка первой доврачебной помощи.

4. Ежедневно должен проводиться осмотр газовой сети и газовых устройств, оборудования и приборов биогазовой установки.

					<i>ВКР.191273.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		53

5. Работники, обслуживающие метантенки и связанное с ними газовое хозяйство, обязаны:

– проходить обучение и проверку знаний, а также инструктаж и проверку по охране труда;

– контролировать концентрацию газов в воздухе помещений метантенков с помощью газоанализаторов;

– не допускать утечки газов.

6. В газовых системах метантенков давление газа должно постоянно контролироваться с помощью проверенных средств измерений давления. При давлении в газовых системах выше нормального и авариях на напорном газопроводе газ следует сжигать на факеле.

7. Нарушение герметичности сварных швов, муфтовых и других соединений трубопроводов газовых систем определяется с помощью мыльного раствора, который в местах утечки образует пузырьки.

8. В помещениях, где обнаружена утечка газа, должны быть приняты срочные меры по устранению загазованности.

9. При проведении ремонтных работ в загазованной среде помещений применяют слесарные инструменты, изготовленные из цветного металла, исключающие возможность искрообразования. Полы в зоне работ выстилают резиновыми коврами.

10. Метантенки, хранилища биоудобрений и другие сооружения биогазовых установок должны быть построены так, чтобы избежать соприкосновения обслуживающего персонала с перерабатываемым сырьем.

Раздел «Требования охраны окружающей среды и здоровья персонала» содержит следующие требования:

1. Работа биогазовых установок должна быть организована так, чтобы сырье для них – отходы животноводства и растениеводства, осадки сточных и промышленных вод – не загрязняли водные ресурсы.

					<i>ВКР.191273.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		54

2. При организации работы биогазовых установок следует исключить хранение отходов под открытым небом, уменьшая тем самым выбросы в атмосферу метана и загрязнение воздуха азотистыми соединениями, имеющими неприятный запах.

3. Необходимо соблюдать предохранительные меры для предотвращения заражения обслуживающего персонала биогазовой установки патогенной микрофлорой, содержащейся в осадках сточных вод и отходах сельскохозяйственного производства.

3.3 Меры индивидуальной защиты

Согласно Торговой ассоциации биогаза (Германия) в дополнение к техническим и организационным мерам защиты, необходимо также спланировать меры индивидуальной защиты для конкретных аспектов эксплуатации установки. Выбор используемых мер зависит от оценки опасности. Опасные факторы и средства индивидуальной защиты представлены в таблице 9 [22].

Таблица 9 – Опасные факторы и средства индивидуальной защиты

Опасные факторы	Примеры	Средства индивидуальной защиты
1	2	3
Токсичные вещества (дыхательный контакт)	Микроорганизмы Биогаз (компоненты) Добавки и вспомогательные материалы	Защита глаз и лица, если можно ожидать распыления инфекционных материалов или жидкостей, а технические меры не обеспечивают надлежащей защиты. Задачи, для которых используется защита органов дыхания, должны быть четко учтены при оценке опасности. Подходящая защита органов дыхания: полумаска с фильтром твердых частиц. Предпочтительным выбором являются фильтрующие полумаски с клапаном для выдоха.

1	2	3
		<p>При выделении биогаза всегда необходимо использовать автономный дыхательный аппарат с замкнутым контуром из-за возможности высоких концентраций H₂S и вытеснения кислорода</p>
<p>Токсичные вещества (контакт с кожей)</p>	<p>Бактерии Вирусы Эндотоксины Добавки и вспомогательные материалы</p>	<p>Сверхпрочные, непроницаемые для жидкости и малоаллергенные перчатки с удлиненными манжетами для предотвращения попадания жидкости с патогенными микроорганизмами внутрь перчаток. Перчатки должны быть устойчивы к воздействию используемых дезинфицирующих средств. Защита глаз и лица, если можно ожидать распыления инфекционных материалов или жидкостей. Непромокаемые фартуки, если можно ожидать, что одежда промокнет. Непромокаемая обувь, если можно ожидать, что обувь промокнет.</p>
<p>Опасность поражения электрическим током</p>	<p>Статический разряд Неисправные кабели</p>	<p>Следует предоставить защитную обувь.</p>
<p>Механические опасности</p>	<p>Падение, спотыкание, порез</p>	<p>Следует предоставить защитную обувь, а также, при необходимости, одежду, защищающую от атмосферных воздействий.</p>
<p>Опасность пожара и взрыва</p>	<p>Статический заряд, вызывающий искровые разряды</p>	<p>Во взрывоопасных зонах следует носить токопроводящую обувь с сопротивлением утечке на землю менее 108 Ом. Рабочую одежду или средства защиты запрещается менять, снимать или надевать во взрывоопасных зонах.</p>

1	2	3
		Средства индивидуальной защиты не должны подвергаться опасному зарядению во взрывоопасных зонах или в присутствии взрывоопасных газовых смесей, например, во время работ по техническому обслуживанию или при вызове экстренных служб.

Также необходимо обеспечить элементарные гигиенические меры. К ним относятся [24]:

- мытье рук перед выходом на перерыв и по окончании работы, а также регулярная уборка рабочего места по мере необходимости, смена рабочей одежды и средств индивидуальной защиты;
- сотрудники должны воздерживаться от приема пищи или питья на рабочих местах, где существует риск заражения биологическими агентами;
- никому, носящему микробиологически загрязненную рабочую одежду, не разрешается входить в комнаты отдыха или помещения для персонала;
- рабочая одежда и средства индивидуальной защиты должны храниться отдельно от личной одежды;
- микробиологически загрязненную одежду нельзя чистить дома.

					<i>ВКР.191273.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		57

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Цель выпускной квалификационной работы заключалась в расчете установки получения биогаза из органических отходов и подготовки его до товарного качества.

В ходе исследования был проведен анализ научной и научно-технической литературы по теме исследования. Были рассмотрены история развития биогазовых технологий, использование биогаза в России и за рубежом, классификация, состав и свойства биогаза. Изучена технология получения биогаза: сырье, химизм и параметры процесса, классификация биогазовых установок. Рассмотрены требования к составу биогаза и способы очистки от нежелательных компонентов: влаги, сероводорода и диоксида углерода.

В ходе выполнения работы была разработана и описана технологическая схема биогазовой установки. Рассчитаны количество субстрата и выход биогаза, размеры метантенка и биогазовый когенератор, составлены материальный и тепловой балансы на основе данных о численности крупного рогатого скота ЗАОР (НП) Агрофирмы «Партизан». По результатам расчета выход биогаза составит 1357,5 м³ в сутки.

В заключение, изучены требования безопасности и охраны окружающей среды на биогазовом предприятии.

Таким образом, поставленные задачи были выполнены в полном объеме.

Представленная выпускная квалификационная работа является важным вкладом в область энергетической эффективности и использования возобновляемых источников энергии. Результаты исследования и расчетов могут быть использованы при проектировании биогазовой установки на ЗАОР (НП) Агрофирме «Партизан», способствуя решению проблемы утилизации отходов жизнедеятельности крупного рогатого скота.

					<i>ВКР.191273.180301.ПЗ</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>	<i>Кочегурова М.Е.</i>				<i>Расчет установки получения биогаза из органических отходов и подготовки его до товарного качества</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Провер.</i>	<i>Лескова С.А.</i>					<i>У</i>	<i>58</i>	<i>61</i>
<i>Н. контр.</i>	<i>Родина Т.А.</i>				<i>АМГУ ИФФ гр. 918-од</i>			
<i>Зав. каф.</i>	<i>Гужель Ю.А.</i>							

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1 Стратегическая программа исследований по биоэнергетике. – М. : Ассоциация участников технологической платформы «Биоэнергетика», 2021. – 217 с.

2 Комина, Г. П. Получение и использование биогаза в решении задач энергосбережения и экологической безопасности : учеб.пособие / Г. П. Комина, А. В. Сауц. – Санкт-Петербург : Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, ЭБС АСВ, 2017. – 96 с.

3 Зайнутдинова, А. Ф. Анализ перспектив использования биогаза в России / А. Ф. Зайнутдинова, А. Р. Садыкова, Л. Ф. Ильгамова, И. В. Мухаметова // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. – 2021. – № 5-2(56). – С. 181-183.

4 Биоэнергетика: мировой опыт и прогноз развития. Научный аналитический обзор. – Москва : ФГНУ «Росинформагротех», 2007. – 130 с.

5 Пахомов, А. Н. Мини-ТЭС на биогазе : опыт МГУП «Мосводоканал» / А. Н. Пахомов, А. В. Битиев, С. А. Стрельцов, М. Д. Хамидов // Энергобезопасность и энергоснабжение. – 2009. – № 3(27). – С. 22-24.

6 Ampravda.ru : Амурская правда [Электронный ресурс]. – Благовещенск. – Режим доступа : <https://ampravda.ru>. – 13.04.2023.

7 Руководство по биогазу : от получения до использования / Т. Амон [и др.]. – Гульцов : Специализированное агенство возобновляемых ресурсов, 2010. – 215 с.

8 Давронов, Ф. Ф. Сырье для получения биогаза / Ф. Ф. Давронов, Л. И. Тиллоев // Вопросы науки и образования. – 2018. – № 2. – С. 33-34.

9 Шеина, О. А. Биохимия процесса производства биогаза как альтернативного источника энергии / О. А. Шеина, В. А. Сысоев // Вестник ТГУ. – 2009. – № 1(14). – С. 73-76.

					<i>ВКР.191273.180301.ПЗ</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разрад.</i>	<i>Кочегурова М.Е.</i>				<i>Расчет установки получения биогаза из органических отходов и подготовки его до товарного качества</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Провер.</i>	<i>Лескова С.А.</i>					У	59	61
<i>Н. контр.</i>	<i>Родина Т.А.</i>				<i>АМГУ ИФФ гр. 918-од</i>			
<i>Зав. каф.</i>	<i>Гужель Ю.А.</i>							

10 Веденев, А. Г. Биогазовые технологии : учеб. пособие / А. Г. Веденев, Т. А. Веденева. – Бишкек : ОФ «Флюид», 2017. – 95 с.

11 Чудакова, О. Г. Метантенк как аппарат для получения топлива из промышленных отходов / О. Г. Чудакова, Д. В. Бескровный // Вестник технологического университета. – 2016. – № 18(19). – С. 62-64.

12 Веденев, А. Г. Строительство биогазовых установок : краткое руководство / А. Г. Веденев, А. Н. Маслов. – Бишкек : «Евро», 2006. – 28 с.

13 Biogas.su : Все про биогаз [Электронный ресурс]. – Минск. – Режим доступа : <https://biogas.su>. – 24.04.2023.

14 Gas-cleaning.ru : Приволжский завод газоочистного оборудования [Электронный ресурс]. – Ижевск. – Режим доступа : <https://gas-cleaning.ru>. – 24.04.2023.

15 Biogas-russia.ru : Компания «Биокомплекс» [Электронный ресурс]. – М. – Режим доступа : <http://biogaz-russia.ru>. – 30.04.2023.

16 Nomitech.ru : Технические решения для промышленности [Электронный ресурс]. – М. – Режим доступа : <https://nomitech.ru>. – 30.04.2023.

17 Веденев, А. Г. Основной состав биогаза и влияние его на экологию / А. Г. Веденев, А. В. Лаврентьев // Материаловедение. – 2013. – № 4. – С. 15-17.

18 ГОСТ 5542-2014. Газы горючие природные промышленного и коммунально-бытового значения. Технические условия ; введ. 2014-30-05. – М. : Стандартинформ, 2015. – 12 с.

19 Баадер, В. Биогаз. Теория и практика : учеб. пособие / В. Баадер, Е. Доне, М. Бренндерфер ; пер. с нем. и предисловие М. И. Серебряного. – М. : Колос, 1982. – 75 с.

20 Использование свалочного газа в России: перспективы и возможности. – М. : Немецкое общество по международному сотрудничеству, 2021. – 27 с.

21 Кущев, Л. А. Технологии получения биогаза при анаэробной ферментации органических веществ / Л. А. Кущев, Д. Ю. Суслов, Д. О. Темников // ScienceTime. – 2015. – № 10. – С. 204-210.

					<i>ВКР.191273.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						<i>60</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		

22 Варгафтик, Н. Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей / Н. Б. Варгафтик // М. : Наука, 1972. – 726 с.

23 D-system.ru : Компания «Дизель-Систем» [Электронный ресурс]. – Ярославль. – Режим доступа : <https://www.d-system.ru>. – 30.04.2023.

24 Биогаз: безопасность превыше всего / Д. Бонтемпо [и др.]. – Фрейзинг : Торговая ассоциация биогаза, 2016. – 66 с.

25 Рубцов, А. В. Биогазовые установки. Характеристика биогазовых установок / А. В. Рубцов // Молодой ученый. – 2022. – № 46 (441). – С. 37-41.

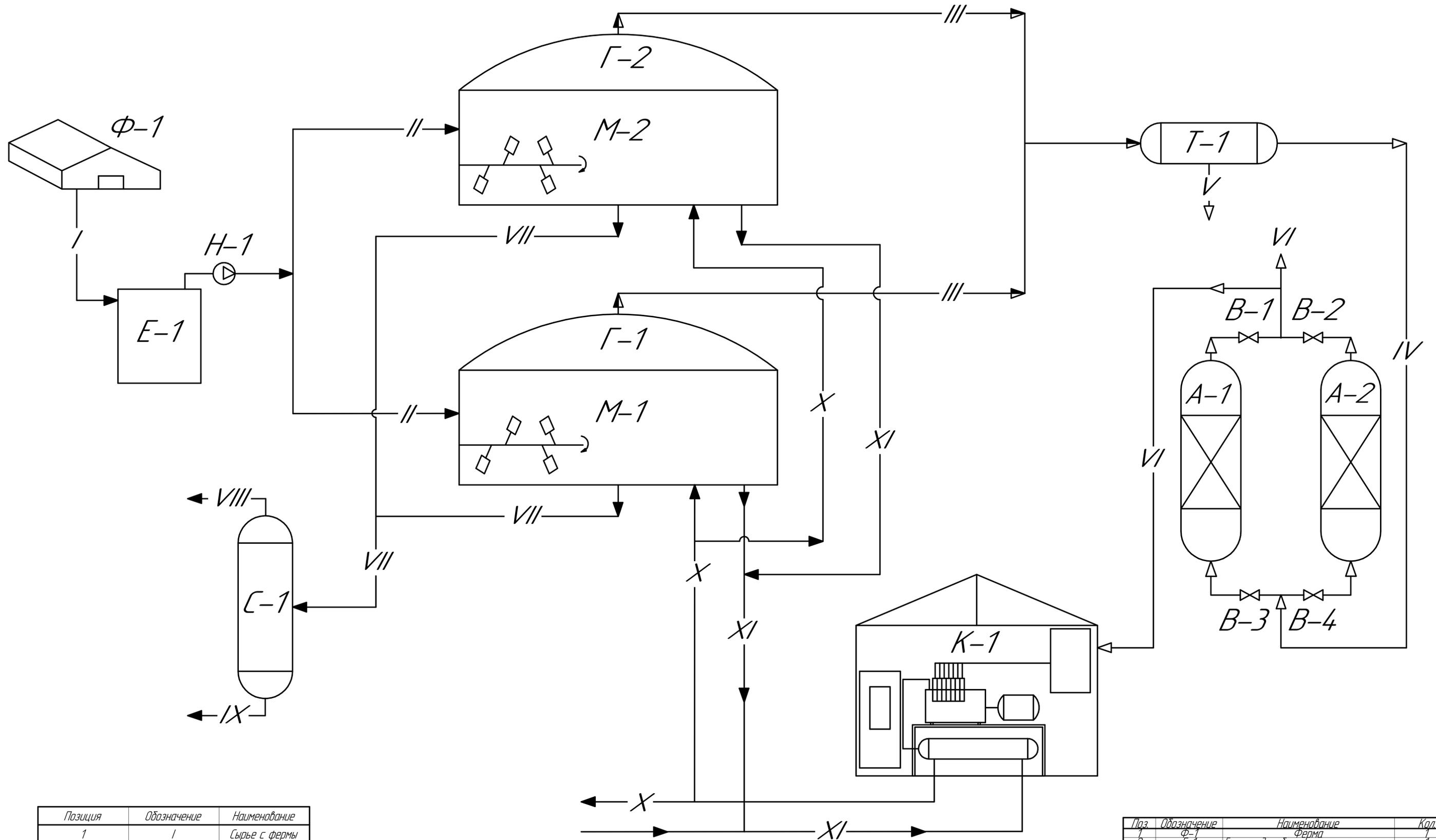
26 ГОСТ Р 53790-2010. Нетрадиционные технологии. Энергетика биоотходов. Общие технические требования к биогазовым установкам ; введ. – 2001-01-01. – М. : Стандартинформ, 2011. – 15 с.

27 ГОСТ 12.1.004-91. Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность. Общие требования ; введ. 1992-01-07. – М. : Стандартинформ, 2006. – 68 с.

28 ГОСТ 12.2.007.0-75. Система стандартов безопасности труда. Изделия электротехнические : общие требования безопасности ; введ. 1978-01-01. – М. : Стандартинформ, 2008. – 12 с.

29 ГОСТ Р 51330.9-99. Электрооборудование взрывозащищенное ; введ. 2001-01-01. – М. : Стандартинформ, 2000. – 35 с.

					<i>ВКР.191273.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		61



Позиция	Обозначение	Наименование
1	I	Сырье с фермы
2	II	Гомогенизированное сырье
3	III	Биогаз
4	IV	Осушенный биогаз
5	V	Конденсат
6	VI	Осушенный и очищенный биогаз
7	VII	Дигестат
8	VIII	Жидкие удобрения
9	IX	Твердые удобрения
10	X	Горячая вода
11	XI	Холодная вода

Поз	Обозначение	Наименование	Кол
1	Ф-1	Ферма	1
2	Е-1	Емкость для сбора и гомогенизации сырья	1
3	Н-1	Насос	1
4	М-1-2	Метантенк	2
5	Г-1-2	Газодельер	2
6	Т-1	Теплообменник	1
7	А-1-2	Абсорбер	2
8	В-1-4	Вентиль	4
9	К-1	Когенерационная установка	1
10	С-1	Сепаратор	1

ВКР.191273.180301.ТС

Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	Расчет установки получения биогаза из органических отходов и подготовки его до товарного качества	Лит	Масштаб
Разраб.	Лескова С.А.					у	1:1
Т.контр.						Лист 1	Листов 1
Исполн.	Родина Т.А.				Технологическая схема биогазовой установки	АМГУ ИФФ	гр. 918-08
Утв.	Гижель В.А.				Копировал	Формат	A1

Лист 1 из 1
 Вид № 001
 Подп. и дата
 Взам. инв. № Инв. № дата
 Склад №
 Перв. подмен.