

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

Институт химии и энергетики

(наименование института полностью)

Кафедра «Химическая технология и ресурсосбережение»

(наименование)

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

(код и наименование направления подготовки/специальности)

Рациональное природопользование, рециклинг и утилизация отходов

(направленность (профиль) / специализация)

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)

на тему Расчет биореактора для переработки животноводческих отходов

Обучающийся

Н.Т. Турдубекова

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

Ю. Н. Шевченко

(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы и Фамилия)



Тольятти 2023



Росдистант

ВЫСШЕЕ ОБРАЗОВАНИЕ ДИСТАНЦИОННО

Аннотация

Бакалаврскую работу выполнил студент: Турдубекова Н.Т.

Тема бакалаврской работы: Расчет биореактора для переработки животноводческих отходов.

Целью работы является снижение негативного влияния животноводческих отходов на окружающую среду за счет их переработки в органические удобрения и биогазы.

Актуальность работы: Основные проблемы, связанные с переработкой животноводческих отходов, остаются актуальными и важными в настоящее время, поскольку в мире продолжает расти производство животноводческих продуктов и, следовательно, количество отходов. Несмотря на значительные улучшения технологий и методов переработки, эти проблемы не могут быть полностью устранены, и их необходимо постоянно учитывать и решать.

Задачи: разработка технического решения по переработке животноводческих отходов

Выпускная квалификационная работа состоит из пояснительной записки, изложенной на 47 страницах, записка включает введение, 3 раздела и список литературы из 25 источников, в который включены 5 иностранных источников литературы.

В первом разделе данной работы представлены технологические методы переработки отходов животноводства, проведены экспериментальные исследования с целью изучения выхода биогаза.

Во втором разделе был проведен расчет материального баланса, теплового баланса биореактора, а также расчет подогревателя рубашки и лопастной мешалки.

В третьем разделе был проведен анализ существующих систем анаэробной переработки органических отходов, разработана технологическая схема.

Содержание

Введение.....	4
1 Анализ проблемы исследования.....	5
1.1 Технологические способы переработки животноводческих отходов	5
1.1.1 Анаэробное сбраживание	6
1.1.2 Компостирование	8
1.1.3 Вермикомпостирование.....	9
1.1.4 Термохимическая газификация	10
1.2 Физико – химические свойства органических отходов животноводства как субстрата анаэробной переработки	12
1.3 Экспериментальное исследование на выход биогаза	16
2 Расчет биореактора.....	24
2.1 Материальный баланс биореактора	24
2.2 Тепловой баланс биореактора.....	28
2.3 Расчет подогревателя рубашки.....	31
2.4 Расчет лопастной мешалки.....	33
3 Предложение технологического решения	36
3.1 Анализ существующих систем для анаэробной переработки органических отходов.....	36
3.2 Биогазовая установка периодического действия	41
Заключение	44
Список используемых источников.....	45

Введение

Большинство населения используют в пищу мясо и животные продукты. Животноводческая отрасль является одним из ключевых секторов экономики многих стран, и ее развитие связано с производством большого количества отходов. Эти отходы могут содержать опасные вещества и материалы, которые могут привести к загрязнению окружающей среды и угрозе здоровью людей и животных.

Переработка животноводческих отходов может быть дорогостоящей и сложной из-за необходимости использования специального оборудования и технологий. Также животноводческие отходы содержат патогены и микроорганизмы, что увеличивает риск распространения болезней при переработке и утилизации.

Кроме этого они занимают большие площади, выделяют неприятный запах, загрязняют атмосферу, а временами, находясь в сильно разбавленном виде, проникают из хранилищ в почву после попадают в водоемы, вновь загрязняя окружающую среду.

Поэтому целью данной работы является снижение негативного влияния животноводческих отходов на окружающую среду за счет их переработки в органические удобрения и биогазы. Для достижения данной цели будут рассмотрены следующие задачи:

- анализ существующих технических решений по переработке животноводческих отходов
- провести экспериментальные исследования, с целью определения выхода биогаза
- разработка технического решения по переработке животноводческих отходов

1 Анализ проблемы исследования

1.1 Технологические способы переработки животноводческих отходов

Проблема исследования заключается в том, что животноводческая промышленность производит большое количество отходов, которые могут негативно влиять на окружающую среду, если не будут обработаны правильно.

«В соответствии с Федеральным законом Российской Федерации «Об охране окружающей среды» №7-ФЗ от 10 января 2002 г. и «Об отходах производства и потребления» №89-ФЗ от 24 июня 1998 г. предусмотрены разнообразные способы для управления отходами производства и потребления» [19].

«Сегодня более 2 млн. га земли под хранением навоза. Этот ресурс представляет реальную экологическую угрозу. Современная наука предлагает широкий спектр технологий для переработки и утилизации органических отходов животноводства и птицеводства. Такие технологии требуют значительных финансовых затрат, и в зависимости от конечного продукта переработки данных отходов его производство, по разным оценкам, может стоить от половины до полной стоимости самого животноводческого или птицеводческого предприятия. Поэтому выбор наиболее экономичной, эффективной технологии утилизации органических отходов для каждого конкретного хозяйства, обеспечивающей гарантированное производство полезной продукции и энергии, приобретает особое значение с позиции обеспечения охраны природы, безопасности труда обслуживающего персонала, здоровья населения и рентабельности производства. В настоящее время используются разные технологические приемы утилизации отходов животноводства и птицеводства» [20].

Ниже рассмотрим особенности некоторых технологий.

1.1.1 Анаэробное сбраживание

Анаэробное сбраживание – это процесс, при котором органические вещества, разлагаются под влиянием микроорганизмов в отсутствие кислорода. Анаэробное сбраживание применяют для переработки, обезвреживания и уменьшения объемов биомассы различного происхождения.

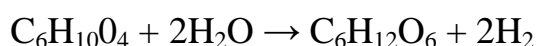
В результате этого процесса образуется биогаз преимущественно метан и органическое удобрение.

Одним из наиболее распространенных способов использования анаэробного сбраживания животных отходов является производство биогаза на фермах, где имеет место образование значительных объемов животноводческих отходов. Биогаз полученный из этих отходов, может быть использован для обеспечения энергии на ферме или продан потребителям.

Процесс анаэробного сбраживания состоит из четырех стадий.

- 1) гидролиза
- 2) ацидогенеза
- 3) ацетогенеза
- 4) метаногенеза [**Ошибка! Источник ссылки не найден.**].

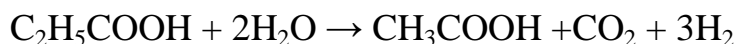
На стадии гидролиза сложные органические отходы, содержащие углеводы, липиды и белок, превращаются в их мономеры, такие как сахара, аминокислоты и длинные жирные кислоты [**Ошибка! Источник ссылки не найден.**].



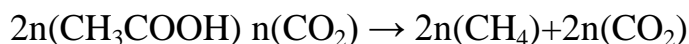
На втором этапе ацидогенные бактерии превращают продукты гидролиза в уксусную кислоту и промежуточные соединения, такие как спирт, молочную кислоту, коротко цепочные жирные кислоты, альдегиды, водород и углекислый газ [**Ошибка! Источник ссылки не найден.**].



На ацетогенной стадии, ацетогенные бактерии, превращают летучие и длиноцепочечные жирные кислоты, а также спирты, в уксусную кислоту, углекислый газ и водород.



Заключительный этап – метаногенез, когда метаногенные археи производят метан из промежуточных продуктов, произведенных на предыдущем этапе [Ошибка! Источник ссылки не найден].



Скорость процесса брожения очень сильно зависит от температуры.

«Существует три режима брожения:

Психрофильный – при температуре 15-25°C; Мезофильный – при температуре 30 - 40°C; Термофильный – при температуре 45 - 55°C.

Экономически, технически и экологически наиболее эффективным является термофильный режим в сочетании с высокопроизводительной микрофлорой, что позволяет сократить время сбраживания до 5-7 суток»[10]. Данные о сравнительных показателях переработки отходов животноводства приведен в таблице 1.

Таблица 1 – Сравнительные показатели анаэробной переработки отходов животноводства [15]

Показатели	Мезофильное сбраживание (t=35)	Термофильное сбраживание (t=55)
Время сбраживания, сут	35-40	5-7
Объем метатенка, м ³	1750	300
Выход биогаза, м ³ /сут*м ³	1,1	6,5
Потребляемая эл/энергия на обеспечение процесса, кВт	15	5
Капитальные затраты на строительство, тыс.руб	31500	13000
Удельные капитальные затраты тыс.руб/м ³ навоза в год	1720	710

Для обеспечения оптимального выхода биогаза необходимо соблюдать точный режим температуры.

1.1.2 Компостирование

«Компостирование – экзотермический процесс биологического окисления, в котором органический субстрат подвергается аэробной биодegradации смешанной популяцией микроорганизмов в условиях повышенной температуры» [1].

«Выделяют IV стадии компостирования: I – мезофильную, II – термофильную, III – остывание, IV – созревание. Продолжительность стадий I - III несколько суток и недель, стадии IV – несколько месяцев» [1].

«На разных стадиях компостирования наблюдается интенсивное развитие мезофильной микрофлоры и активизация окислительных процессов. При этом происходит саморазогрев компостируемого материала. При температурах выше 55°C наступает полная дегельминтизация и теряют всхожесть семена сорных растений. Процесс заметно ускоряется при положительных температурах, оптимальной влажности и в аэробных условиях. Затем происходит повышение температуры до 80°C, при которой мезофилы гибнут и начинают размножаться термофильные бактерии, происходят процессы синтеза гумусовых соединений» [18].

Компостирование сельскохозяйственных отходов не только снижает зависимость сельского хозяйства от химических удобрений, но и снижает загрязнение окружающей среды. «Продукты компоста богаты C, N, P, K и другими необходимыми питательными веществами для удовлетворения потребностей растений в питательных веществах, поэтому продукты компостирования можно использовать в качестве субстрата для роста растений или в качестве кондиционера почвы» [21].

«Такие факторы, как скорость аэрации, температура, содержание воды, pH, электропроводность и отношение C/N при компостировании не существуют изолированно, и регулирование одного фактора часто оказывает влияние и на другие факторы. Поэтому исследователи рассматривают

возможность добавления в процесс компостирования различных типов добавок для снижения выбросов вредных газов, ускорения созревания компоста и улучшения качества компостного продукта, таких как химические добавки (гуано, фосфорная кислота и т.д.), физические адсорбенты (биоуголь, цеолит и др.) и биологические добавки (дождевые черви, черный овод, микробные препараты и др.)» [22].

«Компостирование проводят в буртах, грядах, кучах, штабелях на открытых площадках, ямах, траншеях с изолированным дном или в специальных емкостях. Возможно также и механизированная переработка (в колодцах, отсеках, туннелях, ангарах, силосах, сбраживателях и барабанах, биореакторах). Поскольку стоимость компоста низка, применяют недорогие, но надежные системы компостирования. Длительность компостирования в таких системах зависит от ряда условий: климата, вида перерабатываемых материалов, степени измельчения и продолжительности хранения компостной массы, влажности, условий аэрации» [14]

1.1.3 Вермикомпостирование

«В целом процесс переработки органических отходов с использованием дождевых червей называется вермикомпостированием, а полученный продукт — вермикомпостом, или биогумусом» [7].

«Дождевые черви в силу своей экологической особенности в процессе питания заглатывают органические остатки почвы, размельчают их в кишечнике, химически трансформируют и выбрасывают наружу органические отходы, обогащенные микроорганизмами, кальцием ферментами в виде экскрементов, которые называются копролитами. Копролиты состоят в основном из гумусоподобных веществ, содержат активную микрофлору, способную расщеплять трудноусвояемые почвенной микрофлорой сложные органические материалы (полимеры, жиры), а также весьма обширный аминокислот, ферментов, витаминов, других биологически активных веществ, подавляющих патогенную микрофлору в почве» [4].

«Органическая масса, в которой обитают дождевые черви, теряет неприятный запах разлагающихся отходов, обеззараживается, становится гранулированной и комковатой, что очень важно для возделывания растений, и приобретает приятный запах земли» [4].

«Особенностью поведения дождевых червей в почве или перерабатываемой массе отходов является способность проделывать ходы, которые улучшают воздушный и водный режим почвы или отходов; пропускать через свой кишечник отходы: выделять отходы в биологически активные вещества. Это способность дождевых червей (при достаточно высокой плотности их популяции в почве) мелиорировать и структурировать почву высоко оценивается специалистами аграрниками, так как способствует росту плодородия почв и урожайности выращиваемых сельскохозяйственных культур» [4].

«При средней массе одного дождевого червя 0,5 грамм и количестве особей на 1 м² около 500, на 1 га общее количество червей составляет около 5 млн. При такой плотности популяции суммарный объем ходов составляет 2% общего объема почвы. За сутки червь пропускает через себя количество отходов, равное его массе. Т.е. за сутки все черви пропускают через себя 250 кг отходов. При активной деятельности около 200 дней в году общее количество перерабатываемой массы составит 500 т/га. При переработке массы почвы черви интенсифицируют разложение органики. Также они выделяют антибиотики, отрицательно влияют на патогенную микрофлору» [4].

Метод переработки органических отходов с помощью червей привлекателен тем, что он не требует использования химических реагентов и, следовательно, не нуждается в дополнительных технологических процессах и переработке побочных продуктов.

1.1.4 Термохимическая газификация

«В навозе, помете, растительных остатках, отходах деревообработки, кроме химических веществ, заключено большое количество солнечной

энергии, перешедшей в растения при фотосинтезе. Поэтому это сырье нужно рассматривать как возобновляемые источники энергии. Одним из наиболее эффективных способов получения энергии из такого сырья является термохимическая газификация. Газификация характеризуется повышенным энергопотенциалом. По сравнению с анаэробным сбраживанием термохимическая газификация генерирует из единицы сырья больше потенциальной энергии. Так, из 1 т свиного навоза или навоза КРС при термохимической газификации можно получить 440кВтч потенциальной энергии, тогда как при анаэробном сбраживании с получением биогаза 250кВтч» [11].

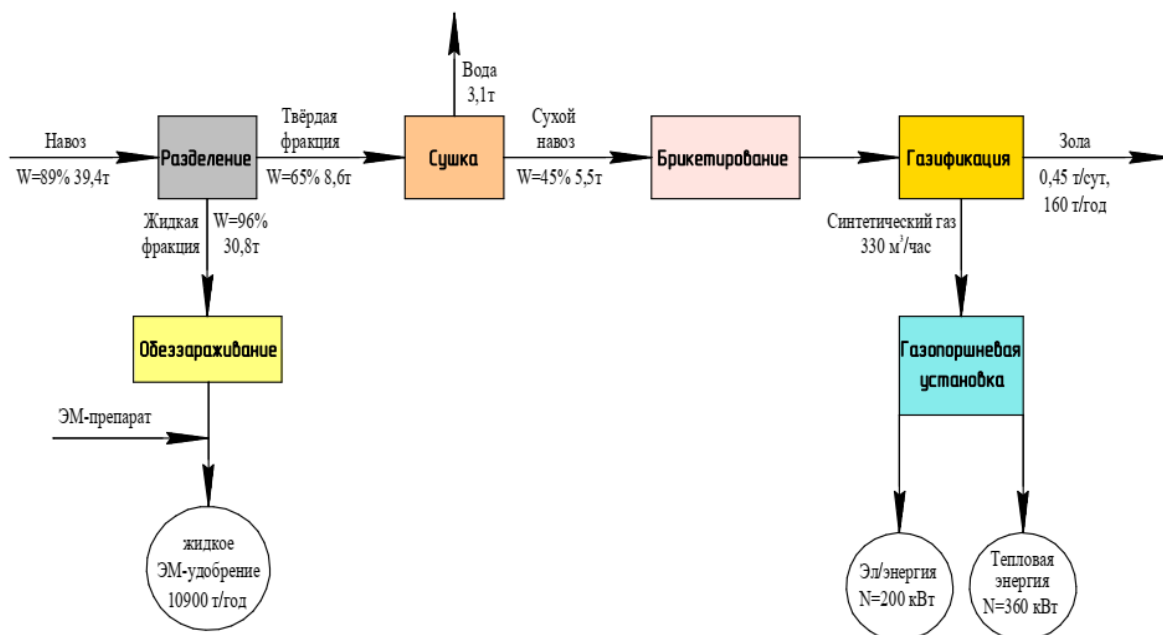


Рисунок – 1 Блок схема производство термохимической газификации отходов животноводства

«Газификация представляет собой процесс высокотемпературного превращения биомассы в газ, называемый генераторным или синтетическим, и золу в специальных реакторах (газогенераторах) с ограниченным доступом воздуха. В зоне газификации развивается температура до 1500оС. В сочетании с мгновенной закалкой синтез газа это обеспечивает отсутствие в

нем каких-либо токсичных примесей. Благодаря этому, а также удобству применения газа, газификация является более эффективным и чистым процессом, чем обычное сжигание» [24].

«Произведенный в газогенераторе газ используется как обычное котельное топливо взамен природного газа или как моторное топливо для газопоршневых установок, где сжигается с получением электрической и тепловой энергии до безопасных для окружающей среды газов: CO₂, N₂, водяного пара. Он может быть также использован в качестве сырья для получения дизельного топлива. В газогенераторе можно использовать отходы дерева, кору, низкокалорийные растительные отходы, навоз, помет, содержащие высокий процент влаги (до 40%). Попутно при газификации навоза/помета образуется зола, (рисунок 1) являющаяся ценным комплексным минеральным удобрением» [24].

1.2 Физико – химические свойства органических отходов животноводства как субстрата анаэробной переработки

Для эффективной работы метаногенных микроорганизмов необходима наличие свободной воды в субстрате. Органические вещества могут полностью разлагаться при более жидкой среде. Важно поддерживать оптимальную концентрацию органических веществ в биореакторе для достижения процесса сбразивания в диапазоне 5 – 20%.

«Эффективность процесса анаэробной переработки во многом зависит от состава субстрата. Классификация свойств субстрата для анаэробной переработки, основанная на классификации свойств самого навоза и во многом определяются его составом, подразделяются на физические, химические, биологические, коррозионные» [16],[1].



Рисунок 2 — Свойства сбраживаемого субстрата

В результате деятельности животноводческих ферм, органические отходы в виде навозных стоков, получают в следующих видах:

– подстилочный навоз концентрацией сухих веществ 12-15%, с содержанием древесных опилок и срезанной соломы до 4%. Это обусловлено на подстилочном содержании коров и применением механическим

удалением навоза из помещений;

– полужидкий навоз с концентрацией сухих веществ 8%, обусловленный бесподстилочным содержанием животных и применением самосплавном способе удаления навоза

– жидкий навоз с концентрацией сухих веществ до 3-4%, получаемом при бесподстилочном содержании животных и гидравлическом способе его удаления с применением минимального количества воды;

– навозные стоки с концентрацией сухих веществ 1-2% образуются в целях обеспечения санитарных требований, когда вода применяется для промывки мест содержания животных, навоз удаляется гидравлическим способом из скотомест и навозных стоков, на крупных животноводческих фермах [16].

– «В этой связи, поступающий в анаэробную биогазовую установку субстрат по своему физическому составу является многофазной коллоидно-полидисперсной средой, основными частями которой являются твердые и жидкие выделения животных, остатки корма, технологическая вода и газ, образующийся в результате биохимических процессов» [16],[9].

– Субстрат на основе органических отходов животноводства обладает определенными реологическими свойствами, которые включают текучесть, динамическую вязкость и предельное напряжение сдвига. Если в навоз попадает корм, это может привести к ненужным потерям и снижению текучести субстрата.

– Текучесть зависит от степени гомогенизации навоза, то есть от степени перемешивания кала и мочи. С увеличением влажности от 92-98%, коэффициент динамической вязкости уменьшается от 23 до 20 Па*с, предельное напряжение сдвига от 1,7 до 0,2 Па. Уменьшение вязкости по мере разбавления водой и повышения температуры является одной из основных причин изменения скорости расслоения. Это приводит к образованию осадочного и плавающего слоев с высоким содержанием твердых частиц. Исходный навоз для субстрата одной и той же влажности

при скармливании животным кормов с высоким содержанием клетчатки и низким содержанием протеина имеет большую вязкость» [16]

– «Анализ смеси характеризуются наличием сухого элемента. Сухой элемент состоит из органической части и неорганической. Элемент смеси включает в себя основные: жиры, углеводы, и белки структурные материалы - лигнин, целлюлоза, гемицеллюлоза, клетчатка. В тоже время в сухом соединении присутствуют - Мп, Сu, Са, Zn. Живая органика скота содержит 60-80% азота, в растениях которых хорошо усваиваются. Соединения могут находится в стойком, растворённом, коллоидном состоянии и могут переходить из одного состояния в другое. Аммиак является связанной формой азота. Он образуется в анаэробных условиях. В навозе содержится фосфор органических соединений, который так важен для растений. Содержащийся в смеси калий представляет растворимую форму» [5].

– «Коррозионные свойства субстрата определяются содержанием коррозионно-активных веществ (углекислоты, растворяющей извести, аммонийного азота, сульфатной и сульфидной серы, хлоридов). Скорость коррозии зависит от влажности, материала с которым он соприкасается, и внешних условий (продолжительности воздействия, температуры и доступа кислорода).

– Анализ свойств субстрата на основе органических отходов животноводства используемого для анаэробной переработки, позволяет сделать следующие выводы:

– в настоящее время химические и биологические, а так же часть физических свойств субстрата на основе органических отходов животноводства, имеющих влияние на процесс биологической утилизации, в настоящее время определяются, как математически, так и на основе регрессионных моделей;

– несмотря на большой объем работ по изучению свойств субстрата, до настоящего времени не изучены реологические свойства субстрата: кинематическая вязкость и поверхностное натяжение» [16].

1.3 Экспериментальное исследование на выход биогаза

Проведем экспериментальную часть с целью определения выхода биогаза.

Биогаз – это смесь газов, которая образуется в результате биологического разложения органических веществ при отсутствии кислорода, так называемого анаэробного процесса. Основными компонентами биогаза являются метан (CH_4) и углекислый газ (CO_2), а также небольшое количество других газов, таких как водород (H_2), сероводород (H_2S), азот (N_2) и угарный газ (CO).

Для проведения исследования выхода биогаза был использован навоз коровы как исходный материал. Было взято 40 г навоза коровы, которые были помещены в круглодонную колбу. Затем, к навозу было добавлено 35 мл воды, и смесь была помещена в термостат при температуре 45°C .



Рисунок 3 – Изучение процесса выхода биогаза

В течение каждых десяти дней был произведен замер веса колбы, в которой находилась смесь навоза и воды. Результаты замеров выхода биогаза из смеси в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты эксперимента по выходу биогаза

День эксперимента	Масса колбы, г	Величина уменьшения массы навески, г
0	223	0
1	222,126	0,874
2	220,378	1,748
3	218,193	2,185
4	215,134	3,059
5	211,201	3,933
6	206,6125	4,5885
7	201,15	5,4625
8	0	0
9	0	0
10	0	0
Итого:		21,85 г

Как видно из таблицы, масса навески в колбе уменьшалась с течением времени, что может свидетельствовать о продолжающемся процессе биологического разложения органических веществ в навозе. Начальная масса навески (включая колбу, навоз и воду) составляла 223 грамма, а к концу эксперимента, на седьмой день, масса навески уменьшилась до 201,15 грамма. Итоговое уменьшение массы навески за все десять дней эксперимента составило 21,85 грамма.

Таким образом, в результате исследования разложения навоза, который проводился в течение 10 дня, был построен график (рисунок 4).

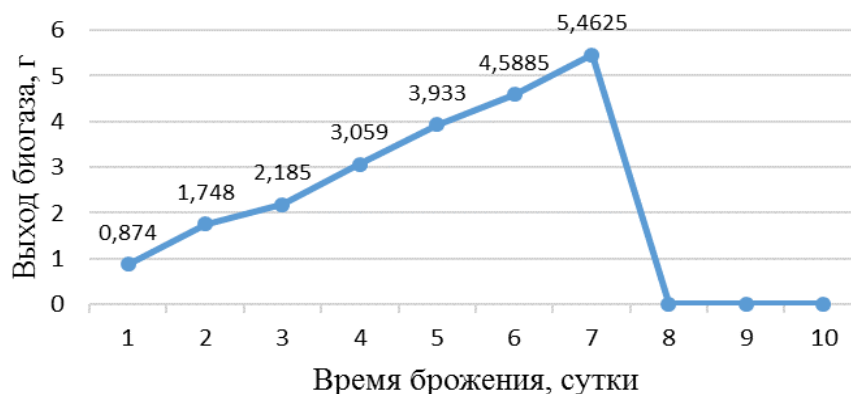


Рисунок 4 — Выход биогаза за 10 суток

Уменьшение массы навески является показателем процесса биологического разложения органических веществ в навозе. Чем больше уменьшение массы навески, тем больше органических веществ было разложено и тем больше биогаза могло быть выделено. Данные значения будут использоваться для составления материального баланса.

Найдем по формуле 1 объём навоза:

$$V = \frac{m}{\rho}, \quad (1)$$

где m – масса навоза, г;

ρ – плотность навоза, г/мл

Подставим в формулу 1 значения:

$$V = \frac{40}{1,2} = 33,3 \text{ мл}$$

Найдем общий объём навоза и воды по формуле 2:

$$V = m_1 + m_2, \quad (2)$$

Подставим в формулу 2 значения:

$$V = 33,3 + 35 = 68,3 \text{ мл}$$

Найдем массу загрузки по формуле 3:

$$m_{\text{загрузки}} = m_{\text{навоза}} + m_{\text{H}_2\text{O}}, \quad (3)$$

Найдем массу воды по формуле 4:

$$m_{H_2O} = V \cdot P, \quad (4)$$

где V – объем, мл;

P – плотность, г/мл;

Подставим в формулу 4 значения:

$$m_{H_2O} = 35 \cdot 1 = 35 \text{ г}$$

Подставляем в формулу 3 наши значения:

$$40 + 35 = 75 \text{ г}$$

Найдем объемную долю выхода массы биогаза из массы навески эксперимента по формуле 5:

$$\omega = \frac{m_{\text{биогаза}} \cdot 100\%}{m_{\text{навески}}}, \quad (5)$$

$$\omega = \frac{21,85 \cdot 100\%}{75} = 29,2\%$$

Состав горючей газовой смеси различается в зависимости от используемого при сбраживании сырья. Процентное соотношение компонентов биогаза при сбраживании сырья КРС представлено в таблице 3.

Таблица 3 — Состав биогаза крупного рогатого скота

Компоненты биогаза	Содержание компонента БГ КРС, %
CH ₄	56 %
CO ₂	34 %
N ₂	3 %
O ₂	-
H ₂	3,2 %
CO	2,8 %
H ₂ S	до 1 %

Состав биогазовой смеси в об., по формуле 6:

$$r_i = \frac{V_r \cdot V_i}{100} \quad (6)$$

где r_i — массовая доля содержания i -го вещества в биогазовой смеси;

V_r — объем биогаза;

V_i — процентное содержание i -го вещества в биогазовой смеси;

Рассчитаем объем биогаза, принимая за плотность среднее значение $p = 1,2 \text{ кг/м}^3 = 0,0012 \text{ г/мл}$ по формуле 7:

$$V_r = \frac{m_{\text{масса биогаза}}}{p}, \quad (7)$$
$$V_r = \frac{21,85}{0,0012} = 18208 \text{ мл}$$

Подставим значения в формулу (6):

$$r_{CH_4} = \frac{18208 \cdot 56}{100} = 10196,48 \text{ мл}$$

$$r_{CO_2} = \frac{18208 \cdot 34}{100} = 6192,72 \text{ мл}$$

$$r_{N_2} = \frac{18208 \cdot 3}{100} = 542,24 \text{ мл}$$

$$r_{H_2} = \frac{18208 \cdot 3,2}{100} = 582,66 \text{ мл}$$

$$r_{CO} = \frac{18208 \cdot 2,8}{100} = 509,82 \text{ мл}$$

$$r_{H_2S} = \frac{18208 \cdot 1}{100} = 182,08 \text{ мл}$$

Выразим мольную долю по формуле (8):

$$\omega_i = \frac{\mu_i \cdot r_i}{\sum_1^n (\mu_i \cdot r_i)}, \quad (8)$$

Молярные массы компонентов находим по формуле 9:

$$\mu_i = \sum Ar \cdot x \quad (9)$$

где Ar – относительная атомная масса вещества;

x – количество атомов.

Рассчитаем молярные массы компонентов по формуле (9):

$$\mu(\text{CH}_4) = 12 \cdot 1 + 1 \cdot 4 = 16 \text{ г/моль}$$

$$\mu(\text{CO}_2) = 12 \cdot 1 + 16 \cdot 2 = 44 \text{ г/моль}$$

$$\mu(\text{N}_2) = 14 \cdot 2 = 28 \text{ г/моль}$$

$$\mu(\text{H}_2) = 1 \cdot 2 = 2 \text{ г/моль}$$

$$\mu(\text{CO}) = 12 \cdot 1 + 16 \cdot 1 = 28 \text{ г/моль}$$

$$\mu(\text{H}_2\text{S}) = 1 \cdot 2 + 32 \cdot 1 = 34 \text{ г/моль}$$

Подставляем в формулу (8) наши значения:

$$\begin{aligned} \omega_{\text{CH}_4} &= \\ &= \frac{10196,48 \cdot 16}{10196,48 \cdot 16 + 6192,72 \cdot 44 + 542,24 \cdot 28 + 582,66 \cdot 2 + 509,82 \cdot 28 + 182,08 \cdot 34} \\ &\times 100 = 34,53 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \omega_{\text{CO}_2} &= \\ &= \frac{6192,72 \cdot 44}{10196,48 \cdot 16 + 6192,72 \cdot 44 + 542,24 \cdot 28 + 582,66 \cdot 2 + 509,82 \cdot 28 + 182,08 \cdot 34} \\ &\times 100 = 57,67 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \omega_{\text{N}_2} &= \\ &= \frac{542,24 \cdot 28}{10196,48 \cdot 16 + 6192,72 \cdot 44 + 542,24 \cdot 28 + 582,66 \cdot 2 + 509,82 \cdot 28 + 182,08 \cdot 34} \\ &\times 100 = 3,21 \% \end{aligned}$$

$$\omega_{H_2} = \frac{582,66 \cdot 2}{10196,48 \cdot 16 + 6192,72 \cdot 44 + 542,24 \cdot 28 + 582,66 \cdot 2 + 509,82 \cdot 28 + 182,08 \cdot 34} \times 100 = 0,25 \%$$

$$\omega_{CO} = \frac{509,82 \cdot 28}{10196,48 \cdot 16 + 6192,72 \cdot 44 + 542,24 \cdot 28 + 582,66 \cdot 2 + 509,82 \cdot 28 + 182,08 \cdot 34} \times 100 = 3,02 \%$$

$$\omega_{H_2S} = \frac{182,08 \cdot 34}{10196,48 \cdot 16 + 6192,72 \cdot 44 + 542,24 \cdot 28 + 582,66 \cdot 2 + 509,82 \cdot 28 + 182,08 \cdot 34} \times 100 = 1,32 \%$$

Рассчитаем массу компонентов биогазовой смеси по формуле 10:

$$m = \frac{m_{\text{навески перешедшая в биогаз}} \cdot \omega}{100}, \quad (10)$$

Подставляем в формулу (10) наши значения:

$$m_{CH_4} = \frac{21,85 \cdot 34,53}{100} = 7,55 \text{ г}$$

$$m_{CO_2} = \frac{21,85 \cdot 57,67}{100} = 12,6 \text{ г}$$

$$m_{N_2} = \frac{21,85 \cdot 3,21}{100} = 0,7 \text{ г}$$

$$m_{H_2} = \frac{21,85 \cdot 0,25}{100} = 0,055 \text{ г}$$

$$m_{CO} = \frac{21,85 \cdot 3,02}{100} = 0,66 \text{ г}$$

$$m_{H_2S} = \frac{21,85 \cdot 1,32}{100} = 0,29 \text{ г}$$

Таблица 4 — Материальный баланс

Вещество	Приход		Вещество	Компонент	Выход	
	Г	мл			Г	мл
Навоз	40	33,3	Биогаз	CH ₄	7,55	10196,48
				CO ₂	12,6	6192,72
				N ₂	0,7	542,24
				H ₂	0,055	582,66
H ₂ O	35	35	Твердо–жидкий остаток	CO	0,66	509,82
				H ₂ S	0,29	182,08
				-	53,15	48,32
Итого:	75	68,3		Итого:	75	18246,83

Вывод по главе: в первой главе были рассмотрены основные технологические способы переработки животноводческих отходов, описаны физико-химические свойства отходов животноводства, а также было проведено экспериментальное исследование, рассчитан материальный баланс выхода биогаза из смеси навоза и воды.

2 Расчет биореактора

2.1 Материальный баланс биореактора

$$m_{\text{навоза с 1 головы крс}} = 25 \text{ кг}$$

$$m_{\text{навоза с 100 голов крс}} = 25 \text{ кг} \cdot 100 = 2500 \text{ кг}$$

$$m_{\text{навоза с 100 голов крс за неделю}} = 2500 \text{ кг} \cdot 7 \text{ сут} = 17500 \text{ кг}$$

Найдем объём навоза по формуле 11:

$$V = \frac{m_{\text{навоза с 100 голов за неделю}}}{\rho_{\text{навоза}}}, \quad (11)$$

Подставляем наши значения в формулу 11:

$$V = \frac{17500}{1200 \text{ кг/м}^3} = 14,6 \text{ м}^3$$

Ориентировочное количество биореакторов для сбраживания недельного прихода навоза с фермы – 3 шт.

Объем навоза, поступаемого в один биореактор:

$$V_{\text{навоза в 1 биореактор}} = 14,6 \text{ м}^3 / 3 = 4,9 \text{ м}^3 \approx 4,9 \text{ м}^3$$

Объем воды, поступаемый в один биореактор берем в соотношении 1:1.

$$V_{\text{воды}} = 4,9 \text{ м}^3$$

Найдем массу навоза, поступаемую в один биореактор:

$$m_{\text{навоза в 1 биореактор}} = 4,9 \text{ м}^3 \cdot 1200 \text{ кг/м}^3 = 5880 \text{ кг}$$

Найдем массу воды, поступаемую в один биореактор:

$$m_{\text{воды}} = 4,9 \text{ м}^3 \cdot 1000 \text{ кг/м}^3 = 4900 \text{ кг}$$

Найдем общую массу одной загрузки:

$$m_{\text{загрузки}} = 5880 \text{ кг} + 4900 \text{ кг} = 10780 \text{ кг}$$

Найдем общий объем загрузки:

$$V_{\text{загрузки}} = 4,9 \text{ м}^3 + 4,9 \text{ м}^3 = 9,8 \text{ м}^3$$

Зная объемную долю выхода биогаза из общей массы, которую мы установили экспериментальным путем $\omega = 29,2\%$. Можно высчитать какая масса загрузки перейдет в биогазовую смесь по формуле 12:

$$M_{\text{биогаза при сбраживании навоза 100 голов кр}} = \frac{m_{\text{общ}} \cdot \omega}{100}, \quad (12)$$

Подставляем наши значения в формулу 12:

$$m_{\text{биогаза при сбраживании навоза 100 голов кр}} = \frac{10\,780 \cdot 29,2}{100} = 3147,76 \text{ кг}$$

Из экспериментальных данных мы вычислили массовую долю компонентов биогаза. Данные приведены в таблице 5:

Таблица 5 – Массовая долю компонентов биогаза

Компоненты биогаза	Массовая доля компонентов
CH ₄	34,53 %
CO ₂	57,67%
N ₂	3,21%
O ₂	-
H ₂	0,25%
CO	3,02%
H ₂ S	1,32%

Рассчитаем массу компонентов биогазовой смеси по формуле 13:

$$m_i = \frac{m_{\text{биогаза при сбраживании навоза 100 голов крс}} \cdot \omega_i}{100}, \quad (13)$$

Подставляем наши значения в формулу 13:

$$m_{CH_4} = \frac{3147,76 \cdot 34,53}{100} = 1086,92 \text{ кг}$$

$$m_{CO_2} = \frac{3147,76 \cdot 57,67}{100} = 1815,31 \text{ кг}$$

$$m_{N_2} = \frac{3147,76 \cdot 3,21}{100} = 101,04 \text{ кг}$$

$$m_{H_2} = \frac{3147,76 \cdot 0,25}{100} = 7,89 \text{ кг}$$

$$m_{CO} = \frac{3147,76 \cdot 3,02}{100} = 95,06 \text{ кг}$$

$$m_{H_2S} = \frac{3147,76 \cdot 1,32}{100} = 41,55 \text{ кг}$$

Удельный выход биогаза с навоза в среднем составляет 11,8 л/кг.

Найдем объем выхода биогаза:

$$V_{\text{биогаза при сбраживании навоза 100 голов крс}} = 11,8 \cdot 3147,76 = 371,44 \text{ л} = 0,371 \text{ м}^3$$

По уравнению Клапейрона–Менделеева найдем объем газа каждого компонента:

$$p \cdot V = \nu \cdot R \cdot T, \quad (14)$$

$$pV = \frac{m}{M} \cdot RT, \quad (15)$$

где p – давление газа, Па;

V – объем, м³;

m – масса газа, кг;

M – молярная масса, кг/моль;

Выражение приобретает вид:

$$V_i = \frac{m \cdot R \cdot T}{M \cdot p \cdot 100}, \quad (16)$$

Подставляем наши значения в формулу (16):

$$V_{CH_4} = \frac{1086,92 \text{ кг} \cdot 8,31 \cdot 329}{16 \cdot 147,1 \cdot 100} = 12,63 \text{ м}^3$$

$$V_{CO_2} = \frac{1815,31 \text{ кг} \cdot 8,31 \cdot 329}{44 \cdot 147,1 \cdot 100} = 7,67 \text{ м}^3$$

$$V_{N_2} = \frac{101,04 \text{ кг} \cdot 8,31 \cdot 329}{28 \cdot 147,1 \cdot 100} = 0,67 \text{ м}^3$$

$$V_{H_2} = \frac{7,89 \text{ кг} \cdot 8,31 \cdot 329}{2 \cdot 147,1 \cdot 100} = 0,73 \text{ м}^3$$

$$V_{CO} = \frac{95,06 \text{ кг} \cdot 8,31 \cdot 329}{28 \cdot 147,1 \cdot 100} = 0,63 \text{ м}^3$$

$$V_{H_2S} = \frac{41,55 \text{ кг} \cdot 8,31 \cdot 329}{34 \cdot 147,1 \cdot 100} = 0,23 \text{ м}^3$$

Общий объем выделившегося биогаза найдем по формуле 17:

$$V_{\text{газ}} = \sum_1^n V_i \quad (17)$$

Подставляем наши значения в формулу 17:

$$V_{\text{газ}} = 12,63 + 7,67 + 0,67 + 0,73 + 0,63 + 0,23 = 22,56 \text{ м}^3$$

Таблица 6 – Материальный баланс биореактора

Вещество	Приход		Вещество	Компонент	Выход	
	Г	мл			Г	мл
Навоз	5880	4,9	Биогаз	CH ₄	1086,92	12,63
				CO ₂	1815,31	7,67
				N ₂	101,04	0,67
				H ₂	7,89	0,73
				CO	95,06	0,63
H ₂ O	4900	4,9	Твердо-жидкий остаток	H ₂ S	41,55	0,23
					7632,24	6,89
Итого:	10 780	9,8		Итого:	10 780	29,42

По результатам расчета материального баланса, можно сделать вывод, что при загрузке 9,8 м³ сырья, вырабатывается 29,42 м³ биогаза, включающего 12,63 м³ метана.

2.2 Тепловой баланс биореактора

Запишем уравнение теплового баланса.

$$Q_{\text{вх}} + Q_{\text{подогрев1}} + Q_{\text{подвод2}} + Q_{\text{реакции}} = Q_{\text{вых}} + Q_z + Q_{\text{потери}} \quad (18)$$

где $Q_{\text{вх}}$ - тепло сырья, Дж.

$Q_{\text{подогрев}}$ - теплота, подводимая для начала реакции, Дж.

$Q_{\text{подвод}}$ – тепло для поддержания температуры процесса, Дж.

Q_r - тепло, выделяющееся при реакции, Дж.

$Q_{\text{вых}}$ -тепло жидких продуктов, Дж.

Q_g - тепло газообразных продуктов, Дж.

$Q_{\text{пот}}$ - тепло потерь, Дж

Тепло, привнесенное сырьем найдем по формуле 19:

$$Q_{\text{вх}} = \sum G_i C_i t_i = G_{\text{навоз}} \cdot C_{\text{навоз}} \cdot t_{\text{навоз}} + G_{\text{вод}} \cdot C_{\text{вод}} \cdot t_{\text{вод}} \quad (19)$$

Где G_i – масса компонента, кг;

C_i – теплоемкость компонента, Дж/(кг×град)

t_i - температура компонента, град

Подставим наши значения в формулу19:

$$Q_{\text{вх}} = 5880 \cdot 2485 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{град}} \cdot 20^\circ\text{C} + 4900 \text{ кг} \cdot 20^\circ\text{C} = 701876000 \text{ Дж}$$

Теплота реакции:

Теплота от 1кг сухого вещества $\Delta p=15000 \text{ 000 Дж/кг}$, Абсолютного сухого вещества в навозе $w=10\%$ (0,1).

Тогда масса сухого вещества найдем по формуле (20):

$$M = w \cdot G_{\text{навоз}} \quad (20)$$

где M -масса сухого вещества кг.

W -содержание сухого вещества, массовая доля.

Подставляем наши значения в формулу 20:

$$M = 0,1 \cdot 5880 = 588 \text{ кг:}$$

Определим теплоту реакции по формуле (21).

$$Q_p = \Delta_r \cdot M \quad (21)$$

где Δ_r -удельное выделение тепла на единицу массы сухого вещества, Дж/кг.

Подставляем наши значения в формулу 21:

$$Q_p = 588 \text{ кг} \cdot 1500 \text{ 000} \frac{\text{Дж}}{\text{кг}} = 882 \text{ 000 000 Дж}$$

Теплота подводится теплоносителем в две стадии. На первой идет подогрев смеси 45°C для начала реакции. Необходимая теплота по формуле (22).

$$Q_{\text{подогрев1}} = G_{\text{навоз}} \cdot C_{\text{навоза}} \cdot (t_1 - t_2) + G_{\text{вод}} \cdot C_{\text{вод}} \cdot (t_2 - t_1) \quad (22)$$

где t_1 – температура компонента конечная, град;
 t_2 - температура компонента начальная, град

Ввиду отсутствия данных примеси, что $C_{\text{навоза}}$ изменилась незначительно и

$$C_{\text{навоза}} = 2485 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{град}}$$

Подставляем наши значения в формулу 22:

$$\begin{aligned} Q_{\text{подогрев1}} &= 5880 \text{ кг} \cdot 2485 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{град}} (45 - 20^\circ\text{C}) + 4900 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{град}} \\ &\cdot (45 - 25^\circ\text{C}) = 877 \text{ 345 000 Дж} \end{aligned}$$

На второй стадии идет поддержание температуры, поскольку идут тепловые потери. Определим $Q_{\text{подвод2}}$ позже.

Количество тепла, уносимое остатком, найдём по формуле (23).

$$Q_{\text{вых}} = G_{\text{ост}} \cdot C_{\text{ост}} \cdot t_{\text{ост}} \quad (23)$$

Подставляем наши значения в формулу 23:

$$Q_{\text{вых}} = 7632,24 \text{ кг} \cdot 2485 \cdot \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{град}} \cdot 45^\circ = 853475238 \text{ кДж}$$

Тепло, уносимое отходящими газами найдем по формуле 24:

$$Q_z = G_{\text{CH}_4} C_{\text{CH}_4} t_2 + G_{\text{CO}_2} C_{\text{CO}_2} t_2 + G_{\text{N}_2} C_{\text{N}_2} t_{\text{N}_2} + G_{\text{H}_2} C_{\text{H}_2} t_{\text{H}_2} + G_{\text{CO}} C_{\text{CO}} t_{\text{CO}} + G_{\text{H}_2\text{S}} C_{\text{H}_2\text{S}} t_{\text{H}_2\text{S}} \quad (24)$$

Подставляем наши значения в формулу 24:

$$\begin{aligned} Q_z &= 1086,92 \cdot 2277 \cdot 45 + 1815,31 \cdot 1639 \cdot 45 + 101,04 \cdot 1037 \cdot 45 \\ &\quad + 7,89 \cdot 14360 \cdot 45 + 95,06 \cdot 1039 \cdot 45 + 41,55 \cdot 1015 \cdot 45 \\ &= 261\,415\,323 \text{ Дж} \end{aligned}$$

Определим потери тепла с поверхности аппарата. На данной стадии нет возможности определить точное значения коэффициента теплоотдачи от греющей среды, поскольку не определена скорость потока и его расход. По этой причине примем $K=60\text{Вт/м}^2\text{К}$. Также примем, что днище и блоковая поверхность аппарата оборудованы обогревной рубашкой и изолированы. Потери через плоскую крышку.

Площадь поверхности теплообмена найдем по формуле 25:

$$F = \frac{\pi D^2}{4} \quad (25)$$

где F-площадь поверхности теплообмена, м^2 .

D-диаметр емкости, м.

Подставляем наши значения в формулу 25:

$$F = \frac{\pi \cdot 2,8^2}{4} = 6,15\text{м}^2$$

Потери тепла найдем по формуле 26:

$$Q_{\text{пот}} = KF(t_2 - t_{\text{oc}}) \quad (26)$$

где K-коэффициент теплопередачи, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \times \text{К})$

T_2 -поддерживаемая температура в реакторе, град.

T_{oc} -температура окружающей среды, град.

Подставляем наши значения в формулу 26:

$$\begin{aligned} Q_{\text{пот}} &= 60 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\text{К}} \cdot 6,15\text{м}^2 (45 - 20^\circ\text{C}) \cdot \left(3600 \frac{\text{с}}{\text{ч}} \cdot 24 \frac{\text{ч}}{\text{сут}} \cdot 7\text{сут} \right) \\ &= 5\,579\,280\,000\text{Дж} \end{aligned}$$

Тогда тепло для комплексации потерь найдем по формуле 27.

$$Q_{\text{подвод2}} = Q_{\text{вых}} + Q_z + Q_{\text{пот}} - Q_{\text{подогрев1}} - Q_{\text{реакции}} \quad (27)$$

$$Q_{\text{подвод2}} = 853\,475\,238 + 261415323 + 5579280000 - 701876000 - 877345000 - 882000000 = 4232949561$$

Итого подводится.

$$Q_{\text{подвод}} = Q_{\text{подвод2}} + Q_{\text{подогрев1}} \quad (28)$$

$$Q_{\text{подвод}} = 4232949561 + 877\,345\,500 = 5110294561$$

Таблица 7 – Тепловой баланс

Приход	Z	Расход	Z
Qвх	701 876 000	Qвых	853475238
Qподвод	5110294561	Qг	261415323
Qреакции	882 000 000	Qпотери	5579280000
Итого:	6 694 170 561	Итого:	6694170561

Итак, нами был составлен тепловой баланс процесса. В частности - требуемое количество подводимого тепла для начала и поддержания процесса.

2.3 Расчет подогревателя рубашки

Тепловая нагрузка из теплового баланса.

$$Q = 5110294561 \frac{\text{Дж}}{7 \cdot 24 \cdot 3600} = 8449,56 \text{ Вт} \approx 8450 \quad (29)$$

Определили массовый расход теплоносителя (горячая вода, охлаждаемая от 90 до 85°C) G , а затем объемный расход V .

$$G = \frac{8450}{4200(90-85)} = 0,4 \frac{\text{кг}}{\text{с}} \quad (30)$$

$$V = \frac{G}{\rho} = \frac{0,4}{965} = \frac{0,0004 \text{ м}^3}{\text{с}} \quad (31)$$

Средне логарифмическая разность температур.

$$\Delta t_{\text{ср}} = \frac{\Delta t_5 - \Delta t_m}{\ln \frac{\Delta t_5}{\Delta t_m}} = \frac{(90-45) - (85-45)}{\ln \frac{40-45}{85-45}} = 42,5^\circ\text{C} \quad (32)$$

• Критерий Рейнольдса Re из расчёта мешалки, критерий Прандтля для смеси навоза и воды. Теплоёмкость C и теплопроводность (λ) определена из положения об аддитивности, с учётом массовых долей x . Коэффициент теплоотдачи к перемешиваемой среде a_1 для аппарата с мешалкой.

$$Re = 185685$$

$$Pr = \frac{\mu c}{2} = \frac{0,063 \cdot 3248}{0,425} = 481,5 \quad (33)$$

$$c = C_{\text{и}} X_{\text{n}} + C_{\text{в}} C_{\text{в}} = 2485 \cdot 0,55 + 0,635 \cdot 0,45 = \frac{0,425 \text{Вт}}{\mu\text{К}} \quad (34)$$

$$x_1 = 0,36 \frac{\lambda}{D} Re^{0,67} Pr^{0,33} \quad (35)$$

$$x_1 = 0,36 \cdot \frac{0,425}{2,8} \cdot 185685^{0,67} \cdot 481,5^{0,33}$$

$$x_1 = 1421,9 \text{ Вт/м}^2\text{К}$$

Для определения коэффициента теплоотдачи a_2 от горячей воды в кольцевом канале рубашки как при течении жидкости вдоль плоской поверхности. Поскольку объекты таких больших диаметров допустимо рассматривать как плоскую поверхность. За определяющий линейный размер здесь принимается длина пути, проходимая теплоносителем, равная в нашем случае сумме высоты аппарата и половине диаметра. Предварительно определены скорость потока w , критерии Рейнольдса и Прандтля горячей воды.

$$W = \frac{V}{F_{\text{св}}^4} = \frac{0,0004}{\frac{\pi}{4}(2,9^2 - 2,8^2)} = 0,001 \text{ м/с} \quad (36)$$

$$d = H + \frac{P}{2} = 2 + \frac{2,8}{2} = 3,4 \text{ м} \quad (37)$$

$$Re = \frac{wd\rho}{\mu} = \frac{0,001 \cdot 3,4 \cdot 965}{0,00034} = 9650 \quad (38)$$

$$Pr = \frac{\mu c}{\lambda} = \frac{0,00034 \cdot 4200}{0,675} = 2,1 \quad (39)$$

$$x = 0,66 \frac{\lambda}{a} Re^{0,5} Pr^{0,33} = 0,66 \frac{0,675}{3,4} \cdot 9650^{0,5} \cdot 2,1^{0,33} = 16,4 \text{ Вт/м}^2\text{K} \quad (40)$$

Коэффициент теплопередачи.

$$k = \frac{1}{\frac{1}{x_1} + \frac{1}{x_2} + \frac{6}{\lambda}} = \frac{1}{\frac{1}{1421,9} + \frac{1}{16,4} + \frac{0,01}{53}} = 16,2 \text{ Вт/м}^2\text{K} \quad (41)$$

Требуемая поверхность теплообмена.

$$F = \frac{Q}{K \Delta t} = \frac{8450}{16,2 \cdot 42,5} = 12,3 \text{ м} \quad (42)$$

Фактическая поверхность теплообмена.

$$F_{\text{факт}} = \pi D H + \frac{\pi D^2}{4} = \pi \cdot 2,8 + \frac{\pi \cdot 2,8^2}{4} = 23,7 \quad (43)$$

Запас поверхности.

$$\Delta = \frac{F_{\text{факт}} - F}{F} = \frac{23,7 - 12,3}{12,3} 100 = 92,7\% \quad (44)$$

Нами были определены основные параметры процесса теплообмена и подтверждено, что предлагаемая конструкция рубашки обеспечит необходимую интенсивность теплообмена.

2.4 Расчет лопастной мешалки

1. При расчёте выбрана двухлопастная мешалка, поскольку согласно книге Павлова, Романкова, именно этот тип мешалок обладает минимальным соотношением диаметр/диаметр мешалки. То есть диаметр мешалки максимален и обеспечит лучшее перемешивание во всём объёме мешалки.

2. Лопастные мешалки относят к тихоходным мешалкам. Частота вращения тихоходных мешалок, как правило, 30-100 оборотов в минуту. В расчёте нами принята максимальная частота оборотов - 100 оборотов в минуту по нескольким причинам. Во-первых, увеличение частоты оборотов приводит к увеличению значения критерия Рейнольдса, что означает

установление турбулентного режима перемешивания, что позволит нам получить относительно гомогенную среду, что в свою очередь положительно скажется на скорости протекания реакции. Во-вторых, увеличение значения критерия Рейнольдса ведёт к увеличению значения коэффициента теплоотдачи и более интенсивному теплообмену, при меньших же частотах оборотов может наблюдаться худшие условия теплообмена за счёт образования застойных зон у стенок аппарата.

3. По вязкости: Согласно книге П. Я Семенова (Бесподстилочный навоз и его использование для удобрения. М., «Колос». 1978) значение динамической вязкости КРС с содержанием сухого вещества 13% колеблется от 0,1 до 4 Па*с. Используемый в эксперименте навоз представлял собой вязкую субстанцию, плохо способную к течению. По этой причине примем вязкость исходного навоза максимальной и равной 4 Па*с. В то же время мы осуществляли разбавление навоза водой, а согласно работе И.И. Скорб (Реологические характеристики и другие свойства жидкого навоза) увеличение влажности навоза ведёт к уменьшению значения динамической вязкости. По этой причине вязкость смеси определена по формуле, предложенной в книге Павлова и Романкова (Примеры и задачи по курсу ПАХТ) с учётом объёмных долей навоза и воды, и составила 0,063 Па*с. (Расчёт приводится). критерий мощности K_n брали по графику VII из Романкова Павлова, потом считали мощность N .

4. Дальнейший расчёт вёлся по методике, изложенной в книге Павлова Романкова (Примеры и задачи по курсу ПАХТ).

1. $D=2,8$
2. $N=100 \text{ об мин}=1,7 \text{ об/с}$
3. $d_m=D/1,1=2,8/1,1=2,5$

Плотность смеси рассчитывается по формуле 45:

$$\rho_{\text{см}} = \frac{1}{\frac{x_H}{\rho_H} + \frac{x_B}{\rho_B}} = \frac{1}{\frac{0,55}{1200} + \frac{0,45}{1000}} = 1101 \text{ кг/м}^3 \quad (45)$$

Вязкость смеси рассчитывается по формуле 46:

$$\mu = 10^{(x_{V_H} \lg \mu_{см} + x_{V_B} \lg \mu_H)} = 10^{(0,5 \lg 4 + 0,5 \lg 0,001)} = 0,063 \text{ Па} \quad (46)$$

Центробежный критерий Рейнольдса определяется по формуле 47:

$$Re_y = \frac{pnd^2}{\mu} = \frac{1101 \cdot 1,7 \cdot 2,5^2}{0,063} = 185 \ 685 \quad (47)$$

Мощность мешалки найдем по формуле 48:

$$N = K_n p n^3 d m^5 = 0,15 \cdot 1101 \cdot 1,7^3 \cdot 2,5^5 = 79236 \approx 80 \text{ кВт} \quad (48)$$

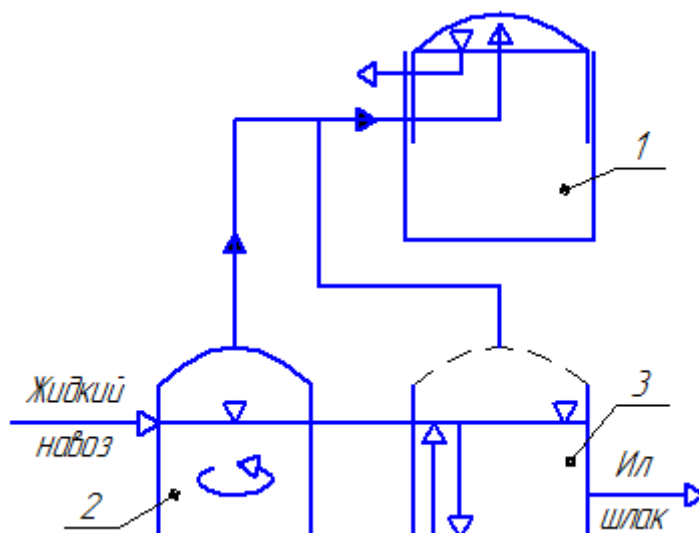
В результате расчета нами была определена необходимая мощность электродвигателя мешалки.

Во второй главе диплома были проведены расчеты материального баланса биореактора, теплового баланса биореактора, а также расчеты подогревателя рубашки и лопастной мешалки биореактора. Полученные результаты этих расчетов позволяют сделать следующие выводы: расчет материального баланса позволил определить состав и расход входного и выходного потоков сырья. По результатам расчета было установлено, что материальный баланс биореактора соблюдается, что свидетельствует о правильном подборе параметров и эффективности процесса реакции в биореакторе. Было определено количество тепла, выделяющегося в биореакторе в результате реакции. Это количество тепла было вычислено с учетом теплового эффекта реакции и теплопередачи среды в реакторе. Также было рассчитано тепло, уносимое отходящими газами и потери тепла с поверхности аппарата. была проведена оценка работы и эффективности лопастной мешалки в биореакторе. Были определены геометрические и операционные параметры мешалки, такие как диаметр, число оборотов и мощность мешалки. Результаты расчета показали, что выбранная лопастная мешалка обеспечивает необходимую интенсивность перемешивания внутри биореактора, что способствует равномерности реакции и повышению производительности процесса. Расчет подогревателя рубашки биореактора позволил определить требуемую площадь поверхности теплообмена

3 Предложение технологического решения

3.1 Анализ существующих систем для анаэробной переработки органических отходов

Установки анаэробной переработки органических отходов имеют различные режимы работы. В проточной системе, где процесс может быть непрерывным или квазинепрерывным, субстрат загружается в реактор непрерывно или через короткие промежутки времени, например, ежедневно, чтобы удалить соответствующий объем шлама (рисунок 5).



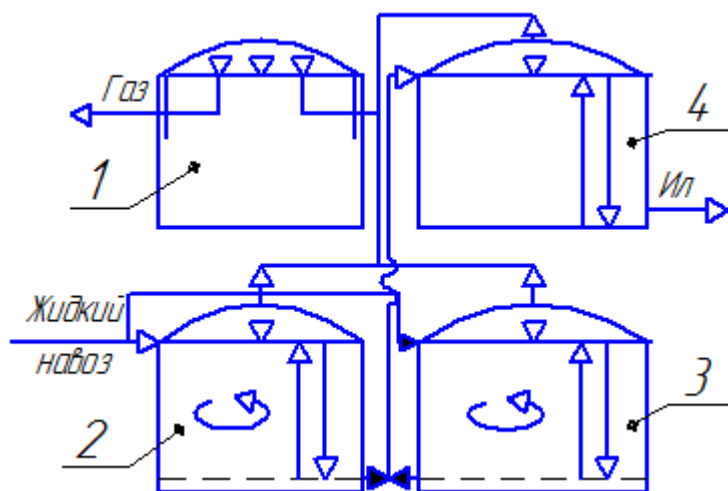
1 - газгольдер; 2 - реактор; 3 - хранилище шлама

Рисунок 5 — Схема непрерывного сбрасывания

«Объем субстрата рассчитывается в соответствии с заданными гидравлическими расчетами времени пребывания массы в реакторе и поддерживается на определенном уровне. Если обеспечивается постоянство условий производства, а именно: подача массы, концентрация сухого вещества и загрузка рабочего пространства, т.е. концентрация способного к

брожению органического вещества при загрузке, оптимальная температура брожения и равномерное перемешивание массы, то этот вид производства позволяет получить максимальный выход газа при непрерывном процессе газообразования» [17].

Если использовать систему с периодическим использованием реакторов, то процесс будет прерывистым и будет происходить в двух реакторах, идентичных по размерам и форме (рисунок 6).



1 – газгольдер; 2 – первый реактор; 3 – второй реактор; 4 – хранилище шлама

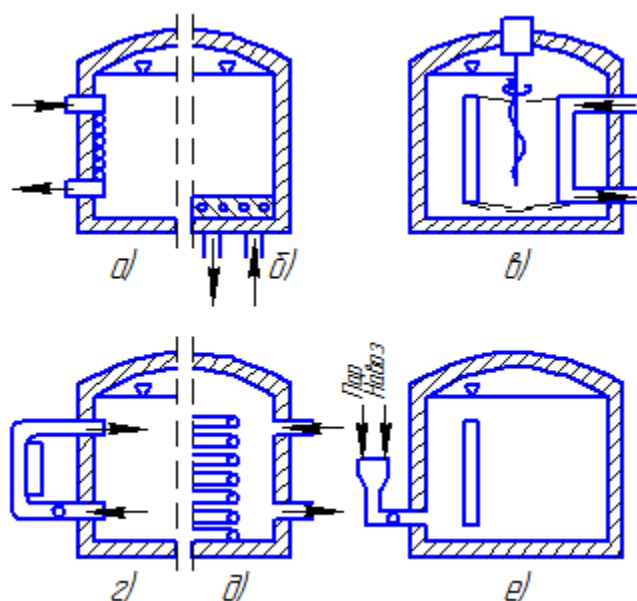
Рисунок 6 — Схема периодического сбраживания

«В случае ежесуточной загрузки свежего субстрата реакторы попеременно заполняются свежим сырьем для образования определенного количества шлама (так называемого затравочного шлама) и по истечению заданного срока брожения опорожняются так, что в них остается только затравочный шлам. Поскольку при постоянном количестве подаваемого в реактор сырья загрузка рабочего пространства во время процесса заполнения будет постоянно снижаться по сравнению с оптимальным значением, соответствующие исходному количеству шлама, потенциальная производительность этой системы будет использоваться не полностью.

Кроме того, если учитывать наличие порожнего объема реактора во время процесса заполнения, то эта система требует большего рабочего объема, чем проточная». [17].

Микроорганизмы проявляют метаболическую активность и способность к размножению в зависимости от температуры, что оказывает влияние на количество газа, выделяемого из определенного количества органического вещества в течение заданного времени, а также на время, необходимое для завершения брожения при определенной температуре. Таким образом, температура оказывает функциональное воздействие на процессы брожения.

Для запуска и поддержания процесса метановой ферментации в биогазовых установках используются нагревательные устройства (рисунок 7).



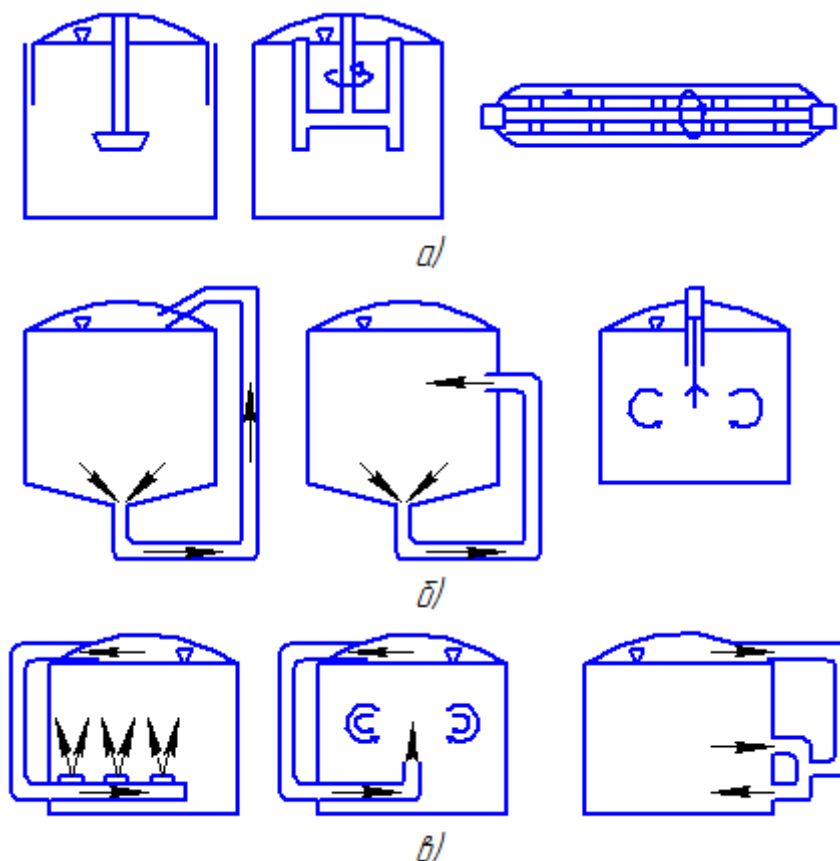
а - настенного; б - донного; в - размещенного в отопительном цилиндре;
г - расположенного вне реактора; д - в виде змеевика; е - использующего пар

Рисунок 7 – Схемы нагревательных устройств

«Традиционным способом обогрева считается расположение в корпусе биореактора трубчатых теплообменников с циркулирующим теплоносителем. Устройства, в которых в качестве теплоносителя используется горячая вода (Рис. 7, а, б, в, г, д, е), а передача тепла осуществляется через стенки теплообменника, отличаются друг от друга только формой нагревательных элементов и способом их расположения внутри реактора (в виде змеевика у стенок или в днище, в виде спирали вдоль боковых стенок или в центральной части резервуара). Исходный субстрат доводится до температуры режима в камере сбраживания, а, следовательно, в момент загрузки свежего субстрата наблюдается кратковременное нарушение температурного режима. Этот недостаток преодолим при использовании предварительного нагрева субстрата горячей водой (возможно через теплообменники), паром или продуктами сгорания биогаза (рис. 7, в). Для компенсации теплотерь через ограждающие конструкции и теплотерь, связанных с выносом биогаза из реактора, предусматриваются надежная теплоизоляция и нагревательные устройства, установленные внутри биореактора. Основное требование к нагревательным приборам такого типа – обеспечение вблизи теплообменников температуры не выше 60°C и повышенной скорости движения субстрата, иначе возможно налипание субстрата на теплообменные поверхности и снижение эффективности теплообмена. При температуре, превышающей 70°C, процесс газообразования прекращается в связи с гибелью метанобразующих бактерий» [17].

Контроль за перемешиванием в биогазовых установках важен для обеспечения равномерного распределения органического субстрата и создания необходимого градиента температуры по всему объему. Неэффективное перемешивание может привести к уменьшению эффективного объема метантенка и сокращению времени, в течение которого жидкий навоз находится в нем, что в свою очередь может уменьшить процесс распада органического вещества и выработки биогаза. Для обеспечения

эффективного перемешивания жидкого навоза в метантенках используются механические мешалки, а также осуществляется циркуляция жидкого навоза и рециркуляция газа (рисунок 8).



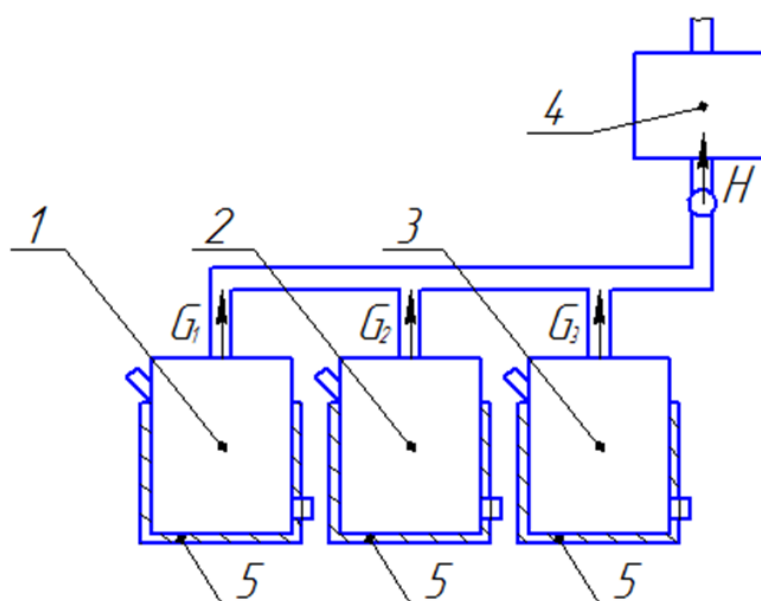
а - механические; б - гидравлические; в – газовые

Рисунок 8 – Схемы устройства для перемешивания

«Для перемешивания субстрата в биогазовых установках в настоящее время преимущественно используются механические перемешивающие устройства. Применение механических перемешивающих устройств предъявляет высокие требования к форме реактора, если должны быть обеспечены необходимая для уменьшения образования корки скорость перемешивания и требующаяся для интенсивного перемешивания субстрата турбулентность во всех зонах реактора» [17],[3].

3.2 Биогазовая установка периодического действия

Переработка животных отходов рассматривается на примере биореактора периодического действия, который представляет из себя три отдельных биореакторов. Технологическая схема биогазовой установки представлена на рисунке 9. Ежедневная загрузка составляет $9,8 \text{ м}^3$. Загрузка происходит параллельно с выгрузкой готового продукта из биореактора.

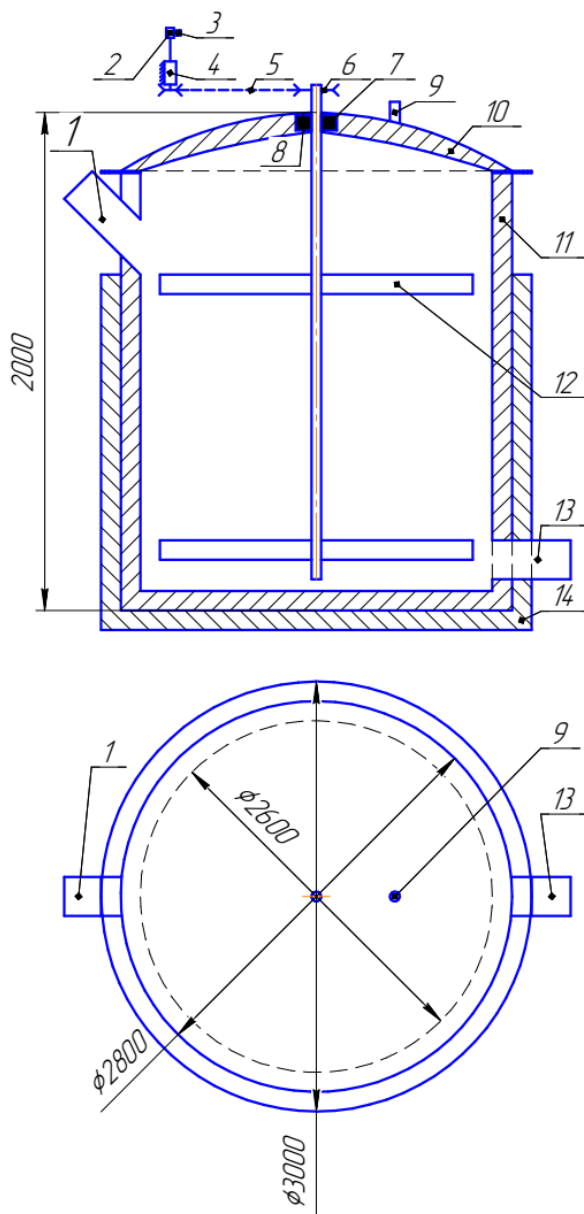


1, 2, 3, – биореактор; 4 – газгольдер; 5 – подогреватель;
 G_1, G_2, G_3 , – выход биогаза; Н – насос

Рисунок 9 – Технологическая схема биогазовой установки

Цикл прохождения одной загрузки составляет семь суток. Таким образом $9,8 \text{ м}^3$ загружаемого сырья, которые вводятся параллельно в три биореактора по 5880 кг , вытесняют $9,8 \text{ м}^3$ готового продукта $G_{\text{ост}}$, прошедшего семидневный цикл сбраживания. Чертеж биореактора приведён на рисунке 10.

Биомасса перемещается с помощью лопастных мешалок. В процессе сбраживания подогрев и поддержание температуры осуществляется при помощи подогревателей 5, а также змеевика под рубашкой биореактора.



1 - патрубок подвода; 2 - реле времени; 3 - пульт управления; 4 - электродвигатель; 5 - клиноременная передача; 6 - ведомый шкаф; 7 - подшипник качения; 8 - сальниковый уплотнитель; 9 - патрубок отвода биогаза; 10 - крышка; 11 - корпус; 12 - теплообменник-мешалка; 13 - отвод биомассы; 14 - подогреватель; 15 – труба, подающая тепло

Рисунок 10 – Чертёж биореактора

Выделяемые при сбраживании биогазовые потоки выходят по трубам G_1 , G_2 , G_3 , направляются в газгольдер 4.

Вывод по главе: был проведен анализ различных существующих систем, предназначенных для анаэробной переработки органических отходов. В ходе этого анализа были рассмотрены различные типы биогазовых установок, а также изучены технологии и процессы, применяемые при переработке органических отходов с использованием анаэробного сбраживания. На основе проведенного анализа была предложена биогазовая установка периодического действия. Эта установка представляет собой компактное и эффективное решение для переработки органических отходов, позволяющее получать ценный биогаз, который может быть использован в различных областях, включая производство электроэнергии и тепла. Она обеспечивает стабильную работу при различных условиях и типах органических отходов. Кроме того, данная установка имеет небольшие размеры и требует минимальных затрат на обслуживание. Ее использование может способствовать снижению загрязнения окружающей среды и обеспечению устойчивого использования ресурсов.

Заключение

Животноводческое предприятие сталкивается с серьезной проблемой в виде огромного объема отходов животноводства, которые занимают значительную площадь. Кроме производства молока и мяса, животноводческая продукция включает в себя также навоз, который представляет собой ценное удобрение для обогащения почвы. Однако, длительное хранение неиспользованного навоза может привести к загрязнению окружающей среды, включая почву, воду и воздух. Для минимизации негативного воздействия на окружающую среду предлагается процесс переработки навоза путем анаэробного сбраживания. Этот подход позволяет эффективно использовать навоз и предотвращать его негативное влияние на окружающую среду, таким образом снижая загрязнение почвы, воды и воздуха.

В рамках этой бакалаврской работы проведен расчет материального баланса выхода биогаза и материальный баланс и тепловой баланс биореактора. По результатам расчета материального баланса, можно сделать вывод, что при загрузке $9,8 \text{ м}^3$ сырья, вырабатывается $29,42 \text{ м}^3$ биогаза, включающего $12,63 \text{ м}^3$ метана. Проведен расчет лопастной мешалки и расчет подогревателя рубашки биореактора. Определены основные параметры процесса теплообмена и подтверждено, что предлагаемая конструкция рубашки обеспечит необходимую интенсивность теплообмена. Разработана технологическая схема биогазовой установки переработки органических отходов. Выбран и обоснован биореактор периодического действия цилиндрической формы. Еженедельная загрузка составляет $9,8 \text{ м}^3$. Загрузка происходит параллельно с выгрузкой готового продукта из биореактора

Таким образом, выбранный способ переработки животноводческих отходов, проведенный эксперимент и предложенная конструкция биореактора позволит снизить негативное влияние на окружающую среду, что и являлось целью работы.

Список используемых источников

1. Архипченко И.А., Орлова О.В. Оптимизация процесса компостирования и влияние биокомпостов на урожай // Агрехимический вестник. – 2001. – № 5. – С. 22-24.
2. Архипченко И.А., Орлова О.В. Оптимизация процесса компостирования и влияние биокомпостов на урожай // Агрехимический вестник. – 2001. – № 5. – С. 22-24.
3. Баадер В., Е Доне, Бренндеферфер М, Биогаз. Теория и практика / 1982, – 148 с., ил.
4. Вайсман Я.И., Коротаев В.Н., Рудакова Л.В., Управление отходами. Механобиологическая переработка твердых бытовых отходов. Компостирование и вермикомпостирование органических отходов» (Управление отходами. Механобиологическая переработка твердых бытовых отходов. Компостирование и вермикомпостирование органических отходов : монография / – Пермь : ПНИПУ, 2012. — ISBN 978-5-398-00844-9. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/160323> (дата обращения: 10.11.2023). – Режим доступа: для авториз. пользователей. – С. 169.).
5. Васильев В.А., Шершнеv А.А., Резваткина Т.Г., Андрюхин Т.Я., Гриднев П.И., Ковалев А.А., Влияние метанового сбраживании бесподстилочного навоза на изменение химического состава и эффективности его как удобрения. Агрехимия, №9, 2002 г.;
6. Васильев В.А., Шершнеv А.А., Резваткина Т.Г., Андрюхин Т.Я., Гриднев П.И., Ковалев А.А. Влияние метанового сбраживании бесподстилочного навоза на изменение химического состава и эффективности его как удобрения. Агрехимия, № 9, 2002 г.;
7. Виктор Г. Дождевые черви для повышения урожая /2 [Электронный ресурс] – режим доступа: <https://kartaslov.ru/>
8. Гусев М.В, Минеева Л.А.,– М: Изд- во Моск. ун-та, 2004 г.;

9. Гусев М.В, Минеева Л.А, Микробиология / – М: Изд- во Моск. ун-та, 2004 г.;
10. Использование отходов животноводства в энергетических целях [Электронный ресурс] – режим доступа: <https://pandia.ru/text/82/155/36215.php> (дата обращения: 15.10.2023).
11. Кожуринчев А.М., Сжигание биогаза метантенков в котельных. Жилищное хозяйство, 1991 г.;
12. Костромин Д.В., Шамшуров Д.Н., Совершенствование технологического процесса метанового сбраживания в биоэнергетических установках / Перспективы развития инноваций в биологии: материалы науч.– практ. конф. в рамках междунар. науч.– образоват. колы конференции по биоинженерии и приложениям (23 ноября 2017 года, г. Москва) / МГУ им. М.В. Ломоносова, биолог. фак. – М.: Инноватика, 2017. – С. 42–43.
13. Кузнецов А.Е, Градова Н.Б, Лушников М.Э, Т. Вайсер Чеботаева М.В. Прикладная Экобиотехнология. // Учебник для высшей школы. 2019.
14. Особенности переработки в кормовые продукты некоторых отходов [Электронный ресурс] – режим доступа <https://studfile.net/preview/5865387/page:15/> (дата обращения 20.09.2023).
15. Переработка отходов животноводческих и птицеводческих комплексов и ферм в эффективные биологические удобрения и энергию [Электронный ресурс] - режим доступа: https://rosinformagrotech.ru/files/dbd_ndt/Pererabotka_othodov_zhivotnovodcheskih_i_pticevodcheskih_kompleksov_i_ferm.pdf (дата обращения: 01.10.2023).
16. Повышение эффективности анаэробной переработки органических отходов при получении биогаза [Электронный ресурс] - // https://revolution.allbest.ru/physics/00272833_0.html
17. Повышение эффективности работы малых биореакторов для анаэробной переработки органических отходов животноводства [Электронный ресурс] – режим доступа:

<https://www.dissercat.com/content/povyshenie-effektivnosti-raboty-malykh-bioreaktorov-dlya-anaerobnoi-pererabotki-organicheskikh> (дата обращения: 05.11.2023).

18. Попов В.Н., Корнеева О.С., Искусных О.Ю., Искусных А.Ю. Инновационные способы переработки биотходов птицеводства // Обзорная статья. 2020. – С. 7.

19. Родионова Н.В., Ветеринарно- Санитарное и Экологическое Обоснование Современных Способов Обеззараживания Органических Отходов Животноводства: диссертация – Москва, 2020.

20. Шестаков А.Г., Васильев Д.А., Терешкин А.С., Молофеева Н.И., Калдыркаев А.И., Компостирование органических отходов сельскохозяйственных животных. // Монография. 2018. С. 114.

21. Author(s): Liangwei Deng, Yi Liu, Wenguo Wang Publisher: Springer Singapore; Springer, Year: 2020 Biogas Technology.

22. Ernst B., Hitzfeld B., Dietrich D. Presence of Planktothrix sp. and cyanobacterial toxins in Lake Ammersee, Germany and their impact on whitefish (*Coregonus lavaretus* L.) // Environ. Toxicol. 2018. V. 16. P. 483–488.

23. Hashimoto A.G. Methane production and effect quality from fermentation of beef cattle manure and molasses // Biotechnol. Bioeng. Symp. – Vol. 11 – P. 481.

24. Inglesby A. E., and Fisher A. C., Enhanced methane yields from anaerobic digestion of *Arthrospira maxima* biomass in a flow-through reactor with an integrated recirculation loop microbial fuel cell. Energy Environ. Sci. 5, 7996-8006.

25. Ria M., Rachma W., Teguh A., Nurul H., Mohammad J. T. Anaerobic digestion biorefinery for circular bioeconomy development. Taherzadeh Bioresource Technology Report. 2023.