

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- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии»

(код и наименование направления подготовки / специальности)

«Рациональное природопользование, рециклинг и утилизация отходов»

(направленность (профиль) / специализация)

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВАРСКАЯ РАБОТА)

на тему: Предложение технического решения по анаэробной переработке отходов животноводства

Обучающийся

К.М. Козлаков

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

Ю.Н. Шевченко

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

Тольятти 2023



Росдистант

ВЫСШЕЕ ОБРАЗОВАНИЕ ДИСТАНЦИОННО

Аннотация

Бакалаврскую работу выполнил студент: Козлаков Кирилл Михайлович.

Тема бакалаврской работы: «Предложение технического решения по анаэробной переработке отходов животноводства».

Целью работы является предложение технического решения для переработки животноводческих отходов с использованием биогазовых установок для снижения негативного воздействия на почву.

Актуальность работы связана с негативным влиянием животноводческой промышленности на окружающую среду. Существующие технологии переработки позволяют снизить количество вредных выбросов и использовать полученные продукты для производства гумуса и экологически чистого удобрения. Однако, необходима более широкая реализация данных технологий и серьезное внимание к проблеме утилизации для уменьшения негативного влияния животноводческой промышленности на окружающую среду.

Задачи: предложить оптимальное решение по обработке отходов с целью снижения концентрации загрязняющих веществ до ПДК и негативного воздействия на экологию.

Выпускная квалификационная работа состоит из пояснительной записки на 45 страниц, введения, трех разделов, включает 8 рисунков, 11 таблиц, список литературы из 31 источников, включая 6 иностранных источников.

В первом разделе проведен анализ животноводческих ферм Московской области и анализ состояния проблемы утилизации отходов.

Во втором разделе рассмотрены технологические решения по переработки навоза КРС, проведен патентный анализ биогазовых установок.

В третьем разделе проведен расчет материального и теплового балансов, проведен расчет мешалки.

Содержание

Введение.....	5
1 Использование отходов животноводства с ферм в качестве удобрений для полей сельскохозяйственных культур	7
1.1 Анализ животноводческих ферм Московской области	7
1.2 Анализ состояния проблемы применения отходов животноводства в качестве удобрений	9
2 Технологические решения по переработке животноводческих отходов	14
2.1 Компостирование	14
2.2 Пеллетирование	16
2.3 Анаэробное сбраживание	17
2.4 Патентный анализ биогазовых установок	22
3 Расчетная часть.....	32
3.1 Материальный баланс.....	32
3.2 Тепловой баланс	39
3.3 Расчет перемешивающего устройства	43
Заключение	47
Список используемой литературы и используемых источников.....	48

Перечень сокращений и обозначений

КРС – крупный рогатый скот

ПДК – предельно-допустимая концентрация

АПК – агропромышленный комплекс

Введение

На территории Московской области в настоящее время происходит рост животноводческих ферм, что приводит к увеличению объема навоза и негативному влиянию на экосистему. Одной из главных проблем любой фермы на сегодняшний день является утилизация отходов, так как чем больше поголовье, тем больше отходов получается в итоге. Это также усугубляется тем, что увеличивающееся количество органических отходов повышает концентрацию азота и фосфора в стоках, которые могут попадать в природные водоемы и внутренние водные источники. В некоторых случаях уровень азота может достигать 15 мг/л (в то время как норматив для сельскохозяйственных участков составляет 6 мг/л), а уровень фосфора может превышать норматив в 5-6 раз и достигать 2 мг/л (норматив для сельскохозяйственных участков 0,5 мг/л).

Ежегодно в нашей стране образуется около 10 млн. тонн животноводческих отходов. Тот факт, что животные плохо усваивают энергию растительных кормов и что более половины этой энергии используется непроизводительно – уходит в навоз, позволяет рассматривать последний не только как органическое удобрение, но и как мощный источник энергии. Актуальность данной проблемы связана с негативным влиянием животноводческой промышленности на окружающую среду. Один из путей рациональной утилизации навоза и навозных стоков животноводческих ферм – их анаэробное сбраживание, которое обеспечивает обезвреживание навоза и сохранение его как удобрения при одновременном получении локального источника энергии – биогаза. Превращение биомассы во вторичный энергоноситель происходит при помощи микроорганизмов. При анаэробном (без доступа воздуха) брожении биомассы (навоз, органические отходы) под воздействием различных групп бактерий происходит образование биогаза, который состоит в основном из метана (55–70%) и углекислого газа (25–35%). Анализ литературных источников показывает, что биогазовые установки

часто разрабатываются без учета их использования в технологических линиях утилизации навоза, а получение биогаза рассматривается без взаимосвязи с параметрами установок для конкретных ферм и температурой окружающей среды. В результате возникают явные противоречия между теорией процесса анаэробного сбраживания навоза с получением биогаза и методами построения и расчета технических систем для его осуществления. Таким образом, цель настоящего исследования заключается в определении оптимальной технологии переработки животноводческих отходов для конкретных условий.

Для решения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- изучить деятельность сельскохозяйственных предприятий Московской области и их влияние на экологическую обстановку в регионе;
- оценить эффективность существующих технологических схем утилизации животноводческих отходов;
- предложить оптимальное решение по обработке отходов;
- произвести расчет материального баланса.

1 Использование отходов животноводства с ферм в качестве удобрений для полей сельскохозяйственных культур

В настоящее время утилизация отходов производства и потребления животноводства, а также больших объемов навоза и навозных стоков, образующихся в животноводческих хозяйствах, являются серьезной проблемой и могут стать потенциальной причиной загрязнения окружающей среды.

1.1 Анализ животноводческих ферм Московской области

Согласно проведенным исследованиям на сельскохозяйственных предприятиях Московской области, лишь около 30% мест хранения отвечают требованиям по охране окружающей среды. Примечательно, что в объемах хранилищ многих ферм наблюдается отклонение от нормы вместимости навоза. В основном это связано с быстро растущей продуктивностью крупного рогатого скота в последнее время, что приводит к увеличению удельного выхода навоза, который не учитывается в действующих стандартах [3,5].

Например, развитие КРС в Московской области является приоритетным направлением развития АПК Подмосковья. В связи с тем, что только крупные комплексы по производству коров могут обеспечить эффективность крупного рогатого скота, следовательно, основной акцент делается на создании таких комплексов (рис.1).

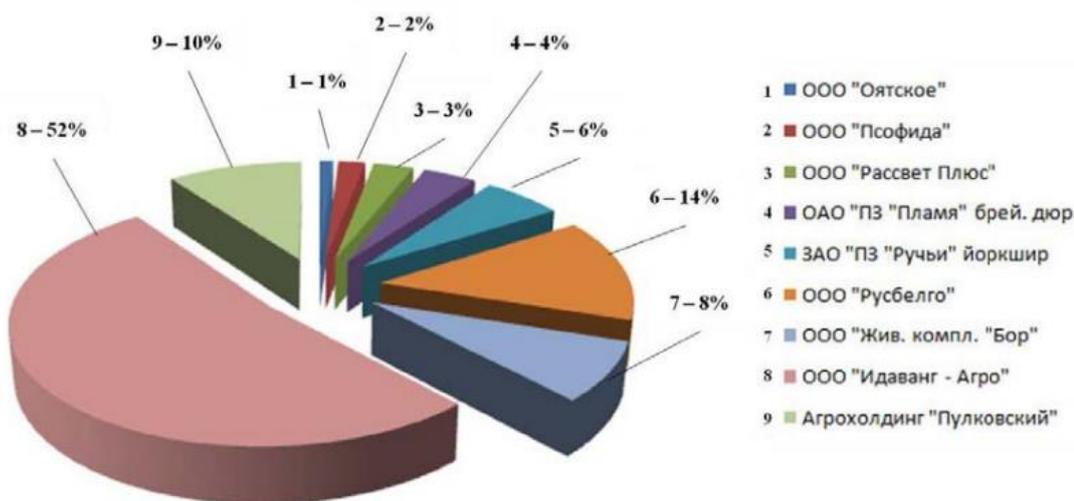


Рисунок 1 – Распределение количества коров между различными сельскохозяйственными организациями, действующими на территории Московской области

Таблица 1 демонстрирует информацию о среднем объеме навоза, вырабатываемом данными предприятиями от одного крупного рогатого скота [2].

Таблица 1 – Выход экскрементов от КРС [2]

Половозрастные группы	Суточный выход от одной головы	
	навоза, кг	мочи, л
Быки-производители	30	10
Коровы	35	20
Телята 2-3 месяцев	0,5	4
Телята до 6 месяцев	5	2,5
Молодняк 6-12 месяцев	10	4
Молодняк 12-18 месяцев	20	7
Молодняк на откорме 6-12 месяцев	14	12
Свыше 12 месяцев	23	12

Проблема высоких доз навоза от КРС связана с отсутствием надежной и производительной техники в хозяйствах, а также необходимостью экономии на эксплуатационных и транспортных расходах.

1.2 Анализ состояния проблемы применения отходов животноводства в качестве удобрений

Для использования отходов животноводства в качестве удобрений следует соблюдать определенные требования, так как в нем содержатся различные микроорганизмы, происходящие из фекалий, подстилки, остатков корма и т.д. Небольшой процент кишечных микроорганизмов являются патогенами, некоторые из них являются облигатными паразитами, поэтому они больше не могут размножаться вне своих хозяев. Если эти патогенные микроорганизмы получают доступ к другим чувствительным хозяевам, воде или растительности, возникнет риск для здоровья животных или человека. Некоторые микроорганизмы в навозе могут увеличить риск порчи корма, если навоз загрязняет корм, и эти микроорганизмы могут выделяться в сырое молоко [19], [14]. Таблица 2 демонстрирует различные виды возбудителей заболеваний, уровень их распространения, условия хранения и выживаемости в навозе крупного рогатого скота после инфицирования, загрязнения и транспортировки. Кроме того, в ней содержится информация о возможных заболеваниях и симптомах, которые могут проявляться у человека.

Таблица 2 – Факторы, влияющие на распространение патогенов среди крупного рогатого скота, включая тип заболевания, температуру хранения, выживаемость и симптомы, которые они вызывают у людей [12]

Тип патогена	Распространенность (%)	Выживаемость (дни)	Температура хранения (°C)	Болезни / Симптомы
<i>E. coli</i> O157: H7	16	от 10 до >100	от 5 до 30	Диарея от легкой до кровавой, рвота, гемолитико-уремический синдром, геморрагический колит
<i>Salmonella typhimurium</i> , <i>Salmonella dublin</i>	от 0 до 13	С 28 по 196	от 5 до 30	Сальмонеллез

Продолжение таблицы 2

Тип патогена	Распространенность (%)	Выживаемость (дни)	Температура хранения (°C)	Болезни / Симптомы
<i>Campylobacter</i> spp.	31,1	С 7 по 21	от 5 до 30	Кампилобактериоз, синдром Гийена-Барре, реактивный артрит и постинфекционный синдром раздраженного кишечника
<i>Listeria monocytogenes</i>	24,4	168	<20	Листерииоз, гриппоподобные симптомы, рвота, диарея, менингит, септицемия, самопроизвольные аборт.
<i>Yersinia enterocolitica</i>	<1	от 10 до 100	от 5 до 30	Иерсиниоз, диарея, лимфаденит, пневмония, аборт
<i>Cyptosporidium parvum</i>	от 1 до 100	С 28 по 56	от 5 до 30	Гастроэнтерит и цитоспоридиоз
<i>Giardia lamblia</i>	от 10 до 100	7	от 5 до 30	Лямблиоз (диарея и спазмы в животе)

Выживаемость каждого бактериального патогена в навозе определяет его потенциальную угрозу вызвать инфекции или заболевания. При этом это время, выживания бактерий в навозе, может варьироваться от одного дня до нескольких месяцев и зависеть от конкретного вида бактерий и их способности адаптации к условиям обитания в навозе крупного рогатого скота [18,28]. В литературе существует множество различных показателей выживаемости или скорости вымирания микробов, связанных с лабораторными исследованиями в идеальных условиях, поэтому они могут не совпадать с результатами полевых сезонных исследований, которые подвергаются воздействию внешней среды. Влияние многих факторов, таких как температура, рН-уровень, влажность, доступность питательных веществ и органических веществ, биологические взаимодействия, время, плотность организмов в навозе и многие другие, могут влиять на инактивацию патогенов в навозе [15], [16].

В таблице 3 представлен состав навоза крупного рогатого скота [2].

Таблица 3 – Химический состав жидкого навоза крупного рогатого скота, г/л [2]

Показатель	Животноводческий комплекс на 10 тыс. голов КРС
Величина pH	6,0-7,7
Взвешенные вещества	1,2-8,6
Химическое потребление кислорода	5,0-11,7
Биологическая потребность в кислороде пятидневная	1,8-9,2
Общий азот	1,3-3,9
Аммиачный азот	1,4-2,7
Фосфаты	0,15-1,80
Калий	0,25-1,90
Кальций	0,3-0,6
Магний	0,1-0,2
Натрий	0,1
Гидрокарбонаты	0,9
Хлориды	0,12-0,90
Сульфаты	0,4-0,45

Следовательно, для решения проблемы патогенных бактерий, имеющих значение для общественного здравоохранения и окружающей среды, необходимо контролировать с помощью комбинации двух или более методов в зависимости от осуществимости и экономической жизнеспособности животноводческой фермы. Доступные методы, используемые для обработки и обращения с навозом, могут привести к снижению уровня патогенов, которые в противном случае способны вызывать пищевые и водные заболевания у людей. Если придерживаться строгих санитарных и биобезопасных мер на фермах, а также внести изменения в рацион животных через добавление определенных составляющих или выбор рациона в целом, это может сократить количество патогенов, попадающих в окружающую среду через навоз [29,31]. В конечном итоге переработанный навоз, полученный в результате аэробной или анаэробной обработки, подвергается сушке на песке или бетонных плитах, чтобы дать возможность полному разложению частично переваренного материала аэробными микроорганизмами и гарантировать окончательное снижение уровня патогенов.

Следует отметить, что в связи с быстрым ростом цен на энергетические ресурсы, навоз становится все более интересным как возможное альтернативное топливо, и поэтому все чаще упоминают о технологии производства биогаза. В таблице 4 представлены приблизительные данные о производстве биогаза из различных отходов животноводства, причем данный разброс объясняется различными факторами, такими как кормление животных и птиц, материалы и подстилка, а также эффективность измельчения. Каждый из этих факторов оказывает влияние на процесс производства биогаза [8].

Таблица 4 – Образование биогаза из различных типов отходов [11]

Тип сырья	Выход газа (м ³ на кг сухого вещества)	Содержание метана (%)
Навоз КРС	0,250-0,340	65
Свиной навоз	0,340 - 0,580	65-70
Птичий помет	0,310-0,620	60
Конский навоз	0,200-0,300	56-60
Овечий навоз	0,300-0,620	70

Отмечается, что значительное сокращение содержания личинок, яиц глистов и других патогенов происходит в эффлюенте (переброженной навозной массе) благодаря мезофильному режиму анаэробного брожения. Доказано, что до 90% патогенов животных не могут выжить в бескислородной среде, в то время как патогены растений подвержены значительному или полному уничтожению. Помимо этого, количество микробов в общей загрязненности снижается на 50-65% [22]. Присутствие полиовирусов уменьшается на 98%, а количество яиц паразитов сокращается на 90-100%. Таблица 5 показывает, что состав эффлюента определяется исходным составом навоза и используемого сырья.

Таблица 5 – Средний состав различных видов эффлюента [11]

Удобрение	Влажность, %	Содержание, кг/т					
		Органическое вещество	N _{общ.}	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
Эффлюент на основе:							
птичьего помета	95	30	7,0	3,7	4,1	2,3	0,8
свиного навоза	95	40	4,0	1,77	2,0	0,8	0,4
навоза КРС	95	35	4,0	1,3	3,0	0,8	0,4

Выбор технологий обработки навоза крупного рогатого скота потенциально может обеспечить одновременную утилизацию отходов, снижение содержания загрязняющих веществ в воде и воздухе и производство ценных продуктов, таких как синтез-газ и биогаз.

Вывод к главе 1: проблема хранения и использования навоза на сельскохозяйственных предприятиях Московской области вызывает опасения в связи с высоким содержанием патогенных микроорганизмов. Необходим контроль и корректировка способов обработки и обращения с навозом для снижения уровня патогенов и улучшения экологических условий. Одним из вариантов использования навоза может быть производство биогаза в связи с ростом цен на энергетические ресурсы.

2 Технологические решения по переработке животноводческих отходов

При предварительном выборе оптимального экономического решения необходимо провести анализ существующих вариантов переработки (представленных на рисунке 2), выявив их ключевые достоинства и недостатки.



Рисунок 2 – Технологии переработки навоза КРС

На рисунке 2 приведена классификация методов переработки биомассы во вторичный энергоноситель.

2.1 Компостирование

Данная технология представляет из себя поточный способ приготовления органических удобрений в буртах (рис. 3), который заключается в смешивании отходов с органическим угленосителем, формировании буртов на бетонной площадке и обязательной аэрацией этих буртов воздухом. Для смешивания компонентов используют специальный самоходный смеситель, который укладывает смесь в бурты на бетонированной площадке. Затем аэратор встраивается в каждый бурт, насыщая навоз воздухом. Готовый компост пропускают через сепаратор, чтобы удалить

крупные включения. После этого компост фасуют в перфорированные пакеты и отправляют на хранение в склад [13,24].

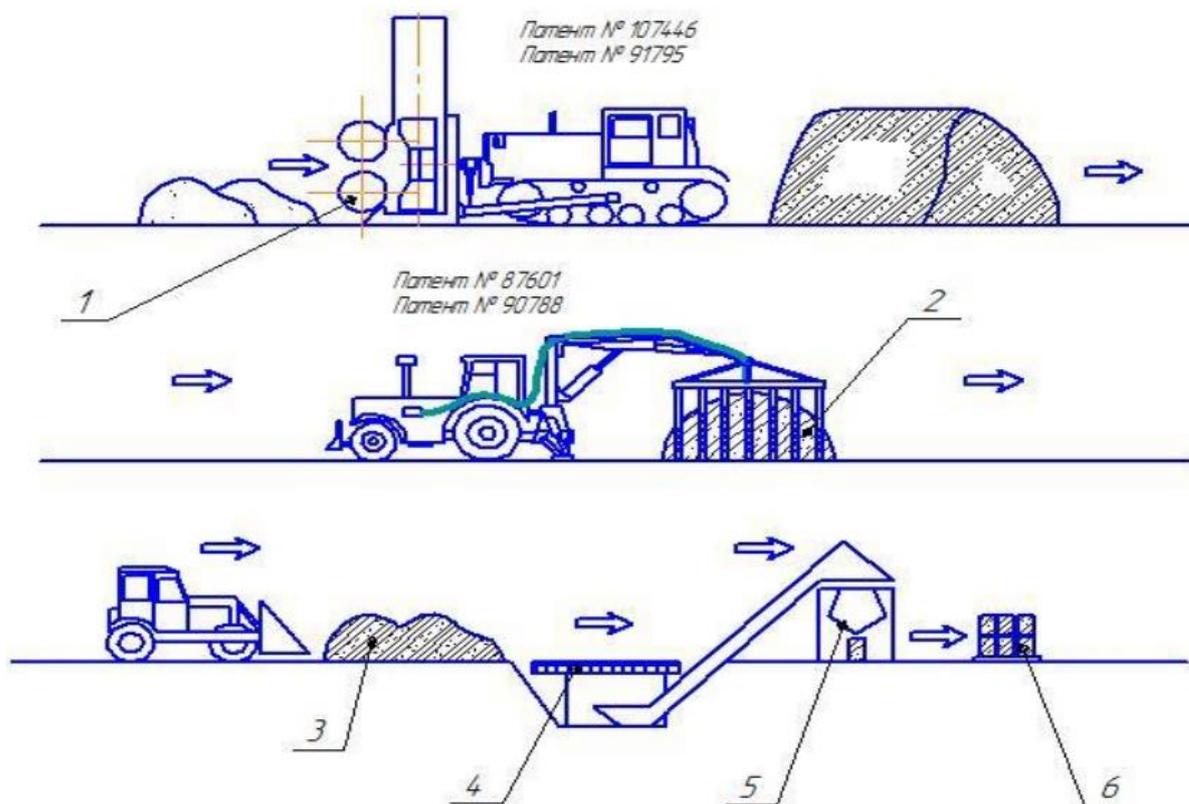


Рисунок 3 – Линия технологического процесса поточного производства компоста в буртах

Применение поточного метода для изготовления компоста в резервуарах способствует биотермическому созреванию, повышению качества получаемого удобрения и обеспечению безопасности для окружающей среды.

Компостирование не лишено некоторых недостатков, включая неприятные запахи, потерю азота, медленное высвобождение питательных веществ, значительную площадь, затраты на погрузочно-разгрузочное оборудование и время обработки, а также основной недостаток - потерю аммиака во время процесса брожения. Вдобавок, возможное выщелачивание, стоки и гидролиз могут привести к загрязнению окружающей среды в ходе процесса компостирования, что, в конечном счете, понижает его эффективность.

Для улучшения эффективности и сокращения времени переработки навоза используют такие биотехнологии, как вермикомпостирование или использование специальных бактерий [21,25]. Эти методы обеспечивают высокое качество биогумуса, но имеют также некоторые недостатки. Например, вермикомпостирование отнимает много времени, и микробиологические процессы не могут быть полностью управляемыми. Также требуется отделение червей от биогумуса, производство ограничено сезонностью, а потери питательных веществ возникают из-за их улетучивания. Эти методы также потребуют значительных трудозатрат и больших площадей.

2.2 Пеллетирование

Используя технологию пеллетирования или экструзии, грубый навоз может быть преобразован в сухой гранулированный продукт, который является удобным в использовании и может быть использован в качестве кормовой добавки, удобрения или энергетического топлива. Навоз подвергается высокому давлению и высокой температуре, после чего перерабатывается в гранулы в специальном штампе [9,11] (рис. 4).

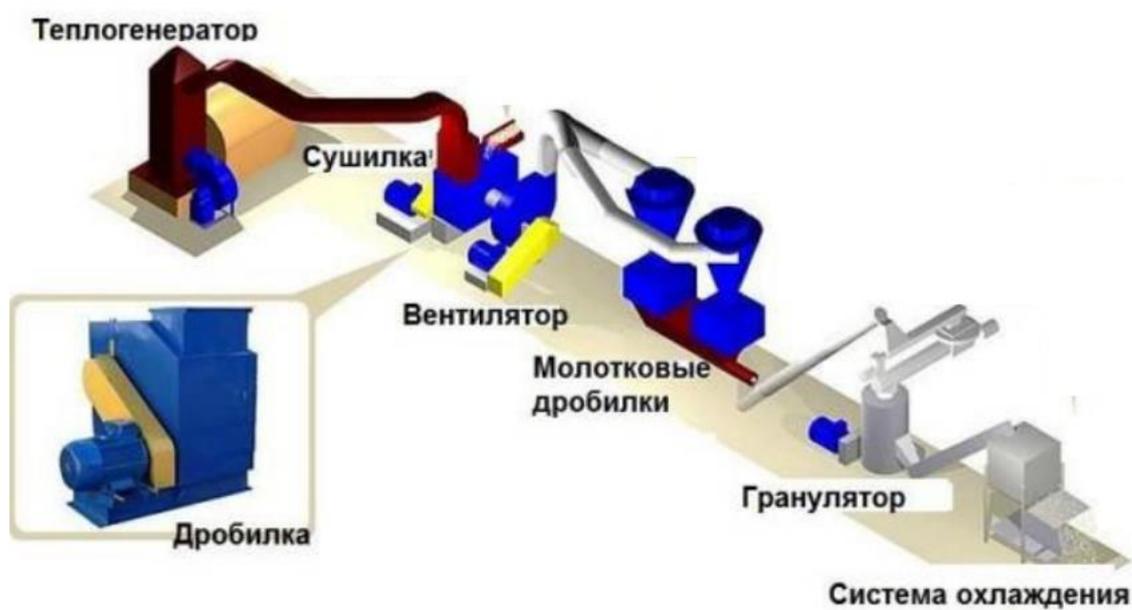


Рисунок 4 – Линия технологического процесса производства пеллет

Обработка высоковлажного материала может препятствовать гранулированию, что в свою очередь может привести к дополнительным затратам на обслуживание высоковольтного оборудования. Пеллетирование является процессом, требующим больших энергозатрат и дорогостоящего оборудования, а после преобразования навоза в пеллеты его удобрительные свойства уменьшаются.

2.3 Анаэробное сбраживание

В настоящее время, для утилизации навоза, широко применяются биогазовые установки (рис.5) [3,8,9,27,31]. Анаэробная переработка навозных отходов в таких установках способствует образованию биологического газа и органоминеральных удобрений высокого качества. В ходе процесса биологической переработки навоза происходит расщепление органических веществ до формирования кислот. После этого они могут превратиться в метан и углекислый газ благодаря действию синтрофных бактерий и микроорганизмов. Этот процесс также обеспечивает дезодорацию и дегельминтизацию навоза, а также перевод удобрительных веществ в форму, которую легко усваивают растения.

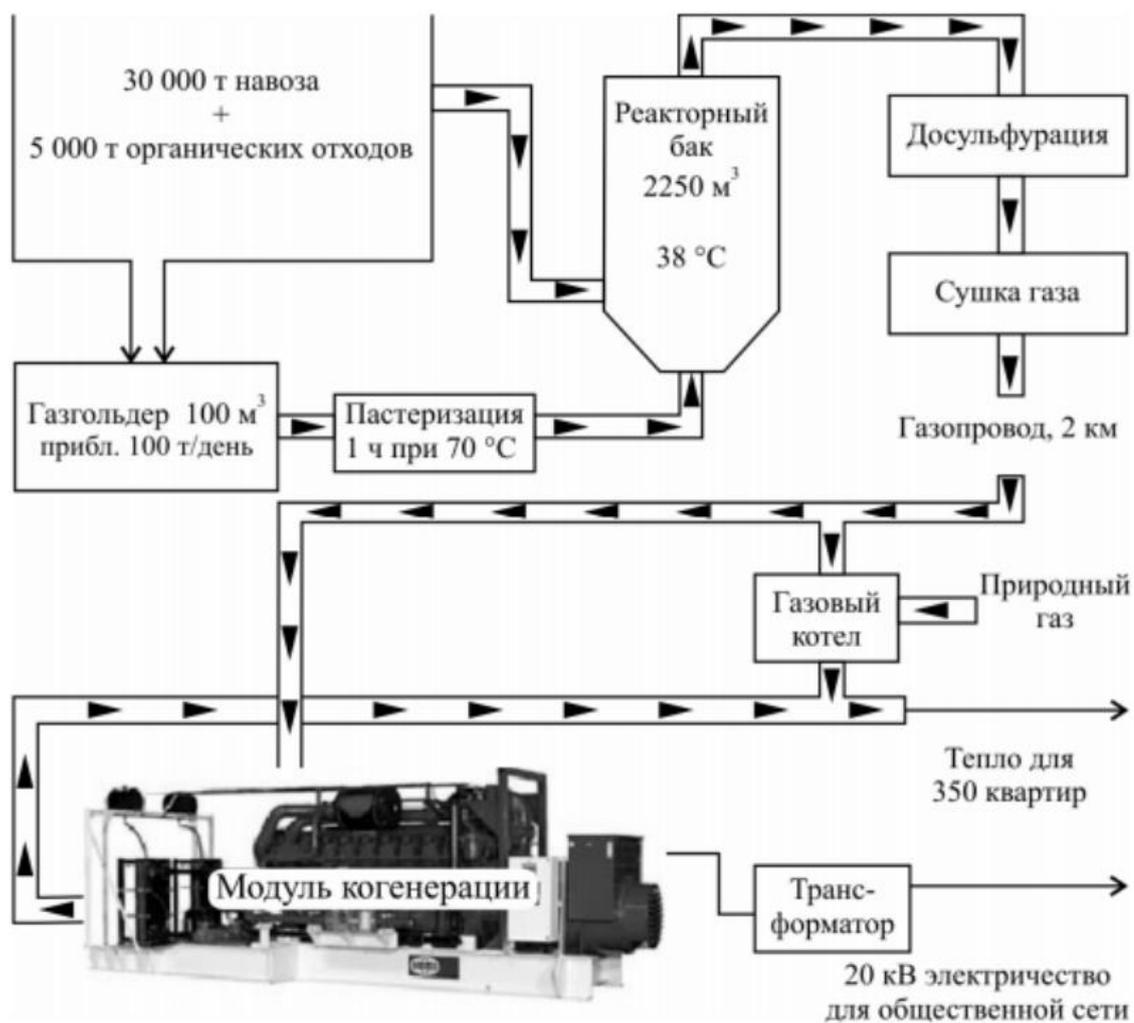


Рисунок 5 – Биогазовая установка

Каждый год на биогазовую установку, находящуюся на сельскохозяйственном предприятии, поступает определенный объем тонн навоза от КРС, который используется для производства биогаза. Чтобы избежать заболеваний, биомассу пастеризуют при температуре 70 °С в течении 1 часа [10]. После этого, пастеризованный материал помещают в специальный реакторный бак, где процесс гниения продолжается около 20-25 дней при температуре 35-40°С. Как результат, биомасса претерпевает разложение, что позволяет бактериям превратить 40-50% органического материала в биогаз, содержащий 60-70% чистого метана. После этого, газ подвергается очистке от сероводорода и проходит процесс компрессии и сушки. За сутки производится примерно 3000-4000 м³ биогаза [12].

Чтобы создать биогазовую установку, необходимо поместить навоз крупного рогатого скота в непроницаемую емкость, оснащенную газоотводной системой, и обеспечить длительное перемешивание и постоянную температуру. Как правило, скорость выделения биогаза достигает максимума на начальных стадиях брожения, после чего постепенно снижается на финальных стадиях. Важно отметить, что объем органического сырья в реакторе ограничен, следовательно, со временем, по мере завершения процесса разложения, выход биогаза будет снижаться. Если брожение остановить в конце этого цикла, то в реакторе останется частично разложенная органика. Установки для производства биогаза отличаются от лабораторных тем, что в них используются полные порции сырья сразу, а затем добавляются порции свежего навоза, для уменьшения размеров самой установки и увеличения скорости получения биогаза. Длительность цикла заменяется на «время гидравлического пребывания», отражающее среднее время нахождения свежего навоза в реакторе. Время гидравлического пребывания зависит от состава исходного сырья [5].

Существуют следующие требования к биореакторам, используемым для получения органоминеральных удобрений и биогаза из отходов животноводства, и птицеводства [20,23,26,32]:

- отсутствие доступа кислорода - реактор должен быть герметичным, чтобы избежать окисления органических веществ;
- высокая температура - реактор должен быть нагрет до определенной температуры, которая оптимальна для процессов анаэробного распада. Обычно это температура около 35-40⁰С;
- различные условия - в реакторе необходимы различные условия, такие как определенный уровень рН, наличие микроорганизмов, которые способны превращать органические вещества в биогаз и удобрения;
- для эффективного превращения органических веществ в биогаз и удобрения в реакторе требуется продолжительное время контакта;
- оптимальный размер - размер реактора должен быть

оптимальным, чтобы обеспечить эффективное перемешивание и достаточное время контакта органических веществ с микроорганизмами;

– контроль влажности и концентрации субстрата - в реакторе необходимо контролировать влажность и концентрацию субстрата, чтобы обеспечить оптимальные условия для процессов анаэробного распада.

Этот метод обладает множеством преимуществ, таких как производство качественного удобрения, которое легко усваивается растениями, а также отсутствие загрязнения поверхностных и грунтовых вод. Кроме того, анаэробная обработка уничтожает патогенные микроорганизмы и семена сорных растений, а также сокращает неприятные запахи благодаря анаэробному брожению. Более того, производимый в процессе биогаз может быть использован для генерации электроэнергии на ферме или в бытовых целях, в том числе для приготовления пищи. Также стоит отметить, что установка подходит для эксплуатации в любых климатических зонах России и может быть установлена на любом крестьянском хозяйстве, обеспеченном электроэнергией.

Ранее отмечалось, что использование технологии переработки навоза было неэффективным, из-за необходимости значительных капиталовложений только для производства биогаза. Однако, благодаря анаэробному сбродиванию, удалось добиться получения не только биогаза, но и экологически чистого органоминерального удобрения. Эти удобрения содержат различные биогенные макро- и микроэлементы, такие как минерализованный азот в форме солей аммония, минерализованный фосфор и калий, а также витамины, аминокислоты и другие биологически активные вещества, которые способствуют увеличению плодородия почвы. Кроме того, они также содержат гуминоподобные соединения, которые могут улучшить структуру почвы. Благодаря этим характеристикам, одна тонна удобрений может заменить до 100 тонн исходного навоза крупного рогатого скота [1].

Эффективное использование сброженной массы может привести к повышению урожайности полевых культур на 40-100% [9]. Экологический

эффект, связанный с сохранением окружающей среды, составляет 78% от общего воздействия сброженной массы, в то время как энергетический эффект, связанный с производством биогаза, составляет 22% от общего воздействия [6].

В таблице 6 представлены преимущества и недостатки технологий переработки навоза КРС.

Таблица 6 – Преимущества и недостатки технологий переработки навоза КРС [18,22, 29]

Технология переработки	Преимущества	Недостатки
Компостирование	<ul style="list-style-type: none"> – компостирование является естественным процессом переработки органических отходов. – не требуется сложное оборудование и может быть проведен в любых условиях. – компост может быть использован для улучшения физических свойств почвы. 	<ul style="list-style-type: none"> – запахи; – потери азота; – медленное высвобождение доступных питательных веществ; – значительная занимаемая площадь; – затраты на погрузочно-разгрузочное оборудование и время обработки; – потеря аммиака во время брожения; – возможные стоки и выщелачивание, которые могут привести к загрязнению окружающей среды.
Пеллетирование	<ul style="list-style-type: none"> – навоз, превращенный в пеллеты, занимает меньше места, чем навоз в необработанном виде; – легче транспортировать. 	<ul style="list-style-type: none"> – процесс пеллетирования требует дополнительных затрат на оборудование и энергию; – удобрения, полученные в результате пеллетирования, имеют более низкую биологическую активность и содержание питательных веществ, чем удобрения, полученные в результате анаэробного сбраживания.

Продолжение таблицы 6

Технология переработки	Преимущества	Недостатки
Анаэробное сбраживание	<ul style="list-style-type: none"> – производство высококачественного удобрения, которое легко усваивается растениями; – уничтожение патогенных микроорганизмов и семян сорных растений; – уменьшение неприятных запахов; – возможность использования биогаза для генерации электроэнергии; – универсальность установки в любых климатических зонах 	<ul style="list-style-type: none"> – требуется дополнительное оборудование; – первоначальные затраты.

Итак, преимущества компостирования и пеллетирования не могут противостоят преимуществам анаэробного сбраживания в плане производства высококачественного удобрения и биогаза, поэтому перспективным техническим решением для утилизации навоза КРС с животноводческих предприятий является технология реакторного типа, то есть использование биогазовых установок, объединяющих преимущества биологического и энергетического процессов.

2.4 Патентный анализ биогазовых установок

Был проведен патентный анализ биогазовых установок, с целью определения наиболее оптимального биореактора.

В таблице 7 приведены три различных патента, которые описывают получение органоминеральных удобрений и биогаза с помощью биогазовых установок, а также демонстрируют преимущества переработки органических отходов с использованием реакторного типа.

Таблица 7 – Патентный поиск технологии переработки отходов реакторного типа

Номер документа	Дата публикации	Название	Автор	Характеристика	Недостатки
RU2422385C1	27.06.2011	Установка для анаэробного сбраживания органических отходов с получением биогаза	Кондратьев А.С. Павлов Г.И. Борисов С.Г. Загретдинов А.Р.	«Данное изобретение относится к процессу анаэробного сбраживания органических материалов, например, растительных и хозяйственных отходов, сточных вод, навоза и других, и предназначено для получения безопасного органического удобрения и биогаза. Оно может применяться в различных отраслях, таких как жилищный сектор, химическая промышленность, энергетика и сельское хозяйство. Изобретение заключается в создании простой и надежной установки, не требующей больших капитальных затрат на ее изготовление, а также обеспечивающей эффективный и постоянный процесс анаэробного сбраживания органического материала в течение всего года» [15].	Прототип имеет ряд недостатков, включая сложность очистки емкости для анаэробного сбраживания, недостаточную защиту от "корки" и отсутствие эффективного перемещения биомассы вдоль нагревательного элемента, что приводит к образованию зон застоя.

Продолжение таблицы 7

Номер документа	Дата публикации	Название	Автор	Характеристика	
RU2462856C1	10.10.2012	Биогазовая установка для переработки навоза	Емельянов С.Г. Кобелев Н.С. Плетнёв А.Н. Алябьева Т.В. Кобелев А.Н. Щедрина Г.Г. Щедрин П.Ю.	«Представлена улучшенная версия биогазовой установки, в которой жесткая мешалка для главного реактора и цепочные мешалки для кольцевых дозревателей соединены с мотор-редуктором, который оснащен регулятором скорости вращения и связан с регулятором температуры. Датчик температуры расположен в главном реакторе, и регулятор температуры включает блоки задания и сравнения, электронные и магнитные усилители, а также блок нелинейной обратной связи. Регулятор скорости вращения выполнен в виде блока порошковых электромагнитных муфт» [16].	-
RU2407723C2	27.12.2010	Технологическая линия утилизации бесподстилочного навоза с получением биогаза и удобрений	Ковалев Д.А. Камайданов Е.Н. Ковалев А.А.	«Данное устройство - это технологическая цепочка, состоящая из нескольких этапов обработки органических отходов, включая начальное перемещение материала, гидролиз, анаэробную обработку в камере с термофильным режимом, теплообменный блок и повторную анаэробную обработку в камере с термофильным режимом» [14].	-

Продолжение таблицы 7

Номер документа	Дата публикации	Название	Автор	Характеристика	
RU2688356C1	21.05.2019	Биогазовая установка для переработки органических отходов в биогаз и биоудобрения	Федянин В.Я. Жумагажинов А.Т.	«Описывается биогазовая установка для переработки органических отходов в биогаз и биоудобрения. Установка оснащена несколькими участками, включая биореактор с трубами для загрузки и выгрузки биомассы, патрубком выхода биогаза и техническим люком. Она также имеет циркуляционный насос, приемную емкость для биомассы и кожухотрубный теплообменник, размещенный между насосом и биореактором. Теплообменник соединен с трубопроводом загрузки биомассы, а циркуляционный насос - с трубопроводом выгрузки субстрата. Кроме того, биореактор также имеет водяную рубашку и турбинную мешалку» [17].	-

Главным преимуществом патента RU2688356C1 является комплексное применение различных технологий и элементов системы, которые работают в комплексе для обеспечения эффективной переработки органических отходов в биогаз и удобрения. Турбинная мешалка, кожухотрубный теплообменник и контроль объема выгружаемой массы объединены в единую систему, обеспечивающую высокую производительность, надежность и эффективность работы установки, что является значительным преимуществом перед другими биогазовыми установками.

Конструкция турбинной мешалки позволяет создавать более интенсивное перемешивание субстрата за счет высокой скорости вращения турбины. Электродвигатель запускает турбинную мешалку, которая создает сильный вихрь в жидкостях и газах, обеспечивая более эффективное смешивание питательных веществ и микроорганизмов в биогазовой установке, где происходит биологический процесс переработки материала в биогаз. Интенсивное перемешивание также уменьшает время, необходимое для биологического процесса и увеличивает производительность установки, что сокращает ее размеры. Образование корки на поверхности может серьезно снизить эффективность процесса и привести к полной остановке работы биогазовой установки, поэтому, как и любая другая мешалка, она является средством предотвращения образования корки и гарантирует стабильное выполнение процесса переработки.

Помимо использования турбинной мешалки, патент RU2688356C1 предлагает ряд других преимуществ перед другими биогазовыми установками. Одним из главных достоинств данного патента является использование кожухотрубного теплообменника 13, который обеспечивает эффективное теплообменное взаимодействие между субстратом и теплоносителем, что позволяет увеличить температуру и скорость генерации биогаза. Этот теплообменник имеет высокую эффективность и обеспечивает стабильный и надежный процесс обмена теплом между субстратом и теплоносителем. Кроме того, установка, описанная по данному патенту, имеет

простую конструкцию, что делает ее надежной и стабильной в работе. Таким образом, использование данной установки обеспечивает высокую производительность и эффективность при переработке органических отходов, а также минимизирует количества выбросов углеродных газов, что делает ее экологически более дружелюбной. Еще одним преимуществом является контроль выгружаемого объема массы при помощи циркуляционного насоса 16, который контролирует выгрузку субстрата через задвижки 18, 23 и 25, в то время как задвижки 15, 19 и 21 заперты. Это позволяет избежать переполнения и необходимости дополнительных затрат на обслуживание установки.

Патент RU2462856C1 также описывает биогазовую установку, но его основное отличие от RU2688356C1 заключается в использовании двухбакового реактора. Однако это решение повышает сложность конструкции и требует дополнительных затрат на обслуживание.

Патент RU2422385C1 описывает установку для производства биогаза с использованием ленточного смесителя. Однако главным недостатком этой конструкции является медленная скорость перемешивания, что сказывается на эффективности процесса переработки материала. В то время как применение турбинной мешалки в биогазовой установке по патенту RU2688356C1 позволяет создавать более интенсивное перемешивание внутри биореактора, что значительно повышает эффективность процесса.

В целом, использование данного патента позволяет получать биогаз и удобрения из органических отходов в эффективном и экономически выгодном режиме. Конструкция установки отличается простотой, что позволяет обеспечивать стабильную и надежную работу установки в условиях агропромышленного комплекса.

Схема биогазовой установки представлена на рисунке 6.

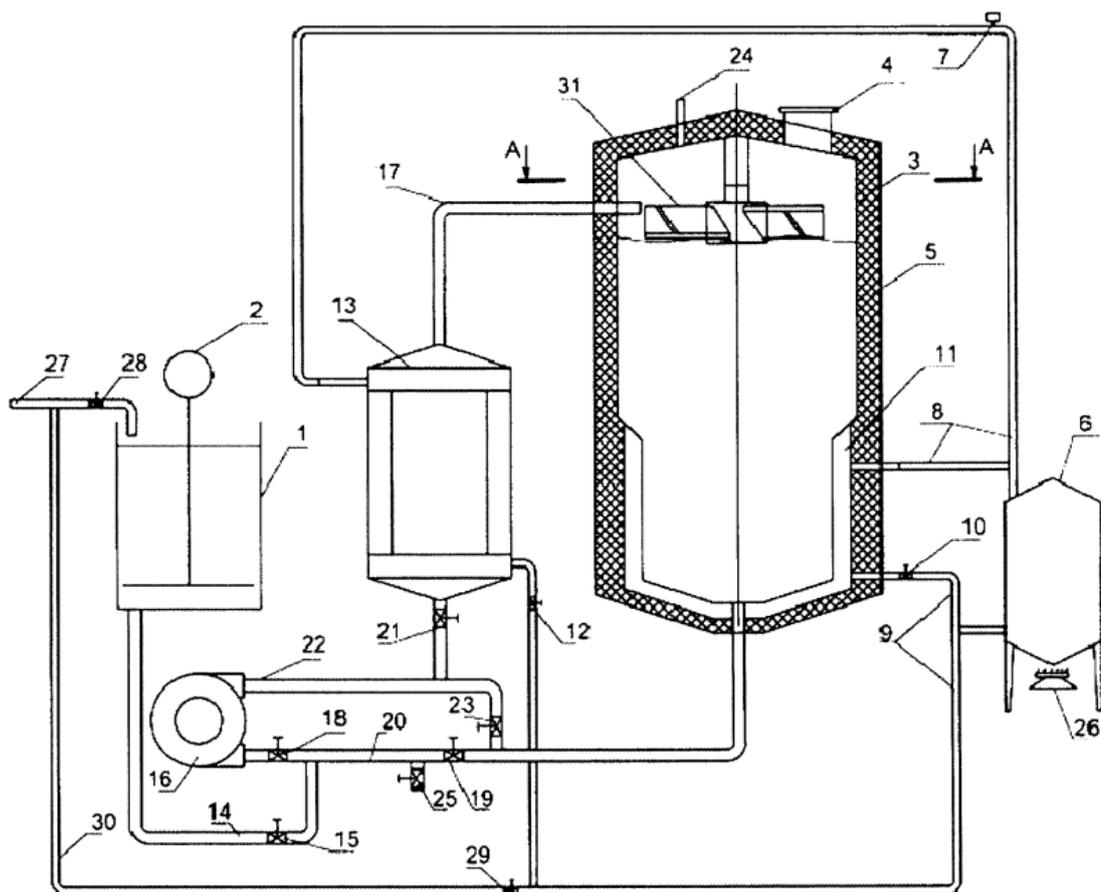


Рисунок 6 – Схема биогазовой установки

В этой установке: 1 - приемная емкость для перерабатываемой биомассы; 2 - мешалка в приемной емкости; 3 – биореактор; 4 - технический люк на биореакторе; 5 - теплоизоляция на биореакторе; 6 - газовый водонагреватель; 7 - расширительный бак на газовом водонагревателе; 8 - трубопровод для подачи теплоносителя; 9 - трубопровод для возврата теплоносителя; 10 - вентиль для регулирования объема подачи теплоносителя в водяную рубашку биореактора; 11 - водяная рубашка на биореакторе; 12 - вентиль для регулирования соединения трубопровода возврата теплоносителя с кожухотрубным теплообменником; 13 - кожухотрубный теплообменник; 14 - трубопровод, соединяющий приемную емкость с кожухотрубным теплообменником; 15 - задвижка на трубопроводе, соединяющем приемную емкость с кожухотрубным теплообменником; 16 - циркуляционный насос, соединяющий кожухотрубный теплообменник с биореактором; 17 -

трубопровод для загрузки биомассы в биореактор; 18, 19 - задвижки на трубопроводе, соединяющем циркуляционный насос с биореактором для выгрузки субстрата; 20 - трубопровод для выгрузки субстрата; 21 - задвижка на трубопроводе, соединяющем циркуляционный насос с кожухотрубным теплообменником; 22 - трубопровод, соединяющий кожухотрубный теплообменник с задвижкой 21; 23 - дополнительный трубопровод с задвижкой для изменения потока перерабатываемой биомассы; 24 - патрубок на куполе биореактора для выхода биогаза; 25 - задвижка на трубопроводе для выгрузки переработанного субстрата; 26 - горелка на газовом водонагревателе; 27 - водопровод для подачи воды в приемную емкость; 28 - кран на водопроводе для подачи воды в приемную емкость; 29 - кран на водопроводе для пополнения системы теплоснабжения водой; 30 - водопровод для пополнения системы теплоснабжения водой; 31 - турбинная мешалка в биореакторе на уровне трубопровода для загрузки биомассы.

Работает установка следующим образом: перед началом брожения в приемную емкость 1 добавляют измельченную и очищенную от примесей биомассу. Чтобы достигнуть необходимой влажности, вода подается в приемную емкость 1 через кран 28, подключенный к водопроводу 27. Для однородности биомассы она перемешивается при помощи мешалки 2. Далее, циркуляционный насос 16 перекачивает биомассу через кожухотрубный теплообменник 13 по трубопроводу 17 загрузки биомассы в биореактор 3, при открытых задвижках 15, 18, 21 и закрытой задвижке 19, 23.

Для подготовки субстрата к процессу брожения его нагревают в кожухотрубном теплообменнике 13 до необходимой температуры, которая должна поддерживаться в заполненном биореакторе 3 для анаэробного брожения субстрата на заданных режимах и условиях. Для поддержания температурных режимов используется газовый водонагреватель 6, водяная рубашка 11 биореактора 3 и трубопроводы 8, 9. Для обеспечения равномерного перемешивания субстрата, доставки питательных веществ метаногенным бактериям, предотвращения образования осадочного

материала и образования корки под куполом биореактора 3, циркуляционный насос 16 регулярно осуществляет перемешивание. Данная операция выполняется путем открытия задвижек 18, 19 на трубопроводе 20 и задвижки 21 на трубопроводе 22, с одновременным закрытием задвижек 15 и 23. В результате сбрасываемый субстрат из биореактора 3 перекачивается через кожухотрубный теплообменник 13 и трубопровод загрузки биомассы 17.

Разрез по линии биогазовой установки представлен на рисунке 7.

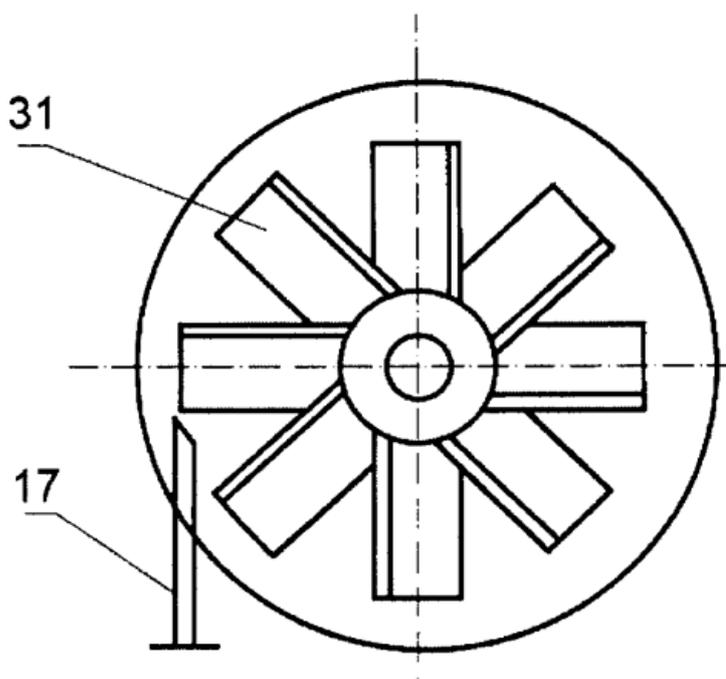


Рисунок 7 – Разрез по линии биогазовой установки

Через трубопровод 17 загрузки биомассы субстрат попадает на турбинную мешалку 31 в биореакторе 3, которая предотвращает образование корки на поверхности. Биогаз, который образуется в верхней внутренней части биореактора 3, выводится через патрубок 24 выхода биогаза. Водонагреватель 6 нагревается горелкой 26. Отходы подвергаются переработке и периодически выгружаются через трубопровод 20 при помощи циркуляционного насоса 16, который контролирует выгрузку субстрата через задвижки 18, 23 и 25, в то время как задвижки 15, 19 и 21 заперты. Для избежания переполнения необходимо контролировать выгружаемый объем массы. Оставшаяся часть

биогаза может использоваться в бытовых нуждах, а переработанный субстрат - как органический удобрение.

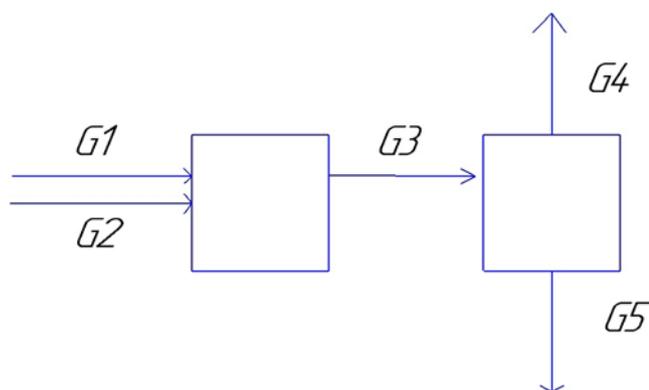
Таким образом, применение данной установки позволяет получать биогаз и удобрения из органических отходов в эффективном и экономически выгодном режиме.

Вывод к главе 2: были проанализированы технологические решения по переработке навоза КРС, проанализирована патентная литература и выбрана оптимальная биогазовая установка. Главным преимуществом патента RU2688356C1 является комплексное применение различных технологий и элементов системы, которые работают в комплексе для обеспечения эффективной переработки органических отходов в биогаз и удобрения. Турбинная мешалка, кожухотрубный теплообменник и контроль объема выгружаемой массы объединены в единую систему, обеспечивающую высокую производительность, надежность и эффективность работы установки, что является значительным преимуществом перед другими биогазовыми установками.

3 Расчетная часть

3.1 Материальный баланс

Схема потоков биогаза представлена на рисунке 8.



G1-входящий навоз; G2-входящая вода; G4-биогаз; G4-выходящий CH_4 ; G5-твердо-жидкий остаток

Рисунок 8 – Схема материальных потоков биогазовой установки

Была проведена экспериментальная часть с целью определения исходных данных для дальнейшего материального баланса.

Ход эксперимента: в круглодонную колбу поместили 100 граммов навоза и добавили 50 миллилитров воды. Полученную смесь выдерживали в термостате при 35°C (мезофильный режим) семь дней, затем проводили измерение массы колбы с содержимым [1]. Результаты измерений были зафиксированы в таблице 8 и позволили провести анализ изменений в процессе выделения биогаза из данной смеси.

Таблица 8 – Результаты исследования выделения биогаза

Дни	Уменьшение массы навески, г
1	1,748
2	3,496
3	4,37
4	6,118
5	7,866
6	9,177
7	10,925
Итого:	43,7 г

Видно, что с течением времени количество органических веществ в навозе уменьшалось, что может свидетельствовать об активном биологическом разложении.

Можно сделать вывод, что чем больше уменьшение массы навески, тем больше органических веществ разлагается, а значит больше выделяется биогаза. Полученные значения будут использоваться для составления материального баланса.

Найдем по формуле (1) объём навоза:

$$V = \frac{m_{\text{навоза}}}{\rho} \quad (1)$$

где $m_{\text{навоза}}$ – масса навоза 100 г;

ρ — плотность коровьего навоза 1,25 г/мл [11].

Подставив данные в формулу (1), получим:

$$V = \frac{100}{1,25} = 80 \text{ мл}$$

Найдем общий объём навоза и воды по формуле (2):

$$V = V_{\text{навоза}} + V_{H_2O} \quad (2)$$

где $V_{\text{навоза}}$ – объем навоза, г;

V_{H_2O} – объем воды, мл.

Подставив данные в формулу (2), получим:

$$V = 80 + 50 = 130 \text{ мл}$$

Найдем массу загрузки по формуле (3):

$$m_{\text{загрузки}} = m_{\text{навоза}} + m_{H_2O} \quad (3)$$

Подставив данные в формулу (3), получим:

$$m_{H_2O} = V \cdot P \quad m_{H_2O} = 50 \text{ мл} \cdot 0,992 \frac{\text{г}}{\text{мл}} = 49,6 \text{ г}$$

$$100\text{г} + 49,6\text{г} = 149,6\text{г}$$

Процентное соотношение компонентов биогаза при сбраживании сырья КРС представлено в таблице 9.

Таблица 9 — Состав биогаза крупного рогатого скота [4]

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 (4):

$$r_i = \frac{m_r \cdot m_i}{100} \quad (4)$$

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

m_r — масса навески биогаза, гр;

m_i — процентное содержание i -го вещества в биогазовой смеси.

Подставим значения в формулу (4):

$$r_{CH_4} = \frac{43,7 \cdot 56}{100} = 24,472 \text{ г}$$

$$r_{CO_2} = \frac{43,7 \cdot 34}{100} = 14,858 \text{ г}$$

$$r_{N_2} = \frac{43,7 \cdot 3}{100} = 1,311 \text{ г}$$

$$r_{H_2} = \frac{43,7 \cdot 3,2}{100} = 1,4 \text{ г}$$

$$r_{CO} = \frac{43,7 \cdot 2,8}{100} = 1,224 \text{ г}$$

$$r_{H_2S} = \frac{43,7 \cdot 1}{100} = 0,437 \text{ г}$$

По уравнению Клапейрона – Менделеева найдем объём каждого из компонентов газовой смеси по формуле (5), (6):

$$p \cdot V = \nu \cdot R \cdot T, \quad (5)$$

$$pV = \frac{m}{M} \cdot RT, \quad (6)$$

где p – давление газа, Па;

V – объём, м³;

m – масса газа, кг;

M – молярная масса, кг/моль;

R – универсальная газовая постоянная, Дж/К·моль;

T – температура, К.

Для нахождения объёма газа выражения принимает вид под формулой (7):

$$V = \frac{m}{pM} RT, \quad (7)$$

Молярные массы компонентов находим по формуле (8):

$$\mu_i = \sum Ar \cdot x \quad (8)$$

где Ar – относительная атомная масса вещества;

x – количества атомов.

Рассчитаем молярные массы компонентов по формуле (8):

$$\mu(\text{CH}_4) = 12 \cdot 1 + 1 \cdot 4 = 16 \frac{\text{Г}}{\text{МОЛЬ}}$$

$$\mu(\text{CO}_2) = 12 \cdot 1 + 16 \cdot 2 = 44 \frac{\text{Г}}{\text{МОЛЬ}}$$

$$\mu(\text{N}_2) = 14 \cdot 2 = 28 \frac{\text{Г}}{\text{МОЛЬ}}$$

$$\mu(\text{H}_2) = 1 \cdot 2 = 2 \frac{\text{Г}}{\text{МОЛЬ}}$$

$$\mu(\text{CO}) = 12 \cdot 1 + 16 \cdot 1 = 28 \frac{\text{Г}}{\text{МОЛЬ}}$$

$$\mu(\text{H}_2\text{S}) = 1 \cdot 2 + 32 \cdot 1 = 34 \frac{\text{Г}}{\text{МОЛЬ}}$$

Подставляем в формулу (7) наши значения:

$$V_{\text{CH}_4} = \frac{24,472}{147,1 \cdot 16} 8,31 \cdot 318 = 27,48$$

$$V_{CO_2} = \frac{14,858}{147,1 \cdot 44} 8,31 \cdot 318 = 6$$

$$V_{N_2} = \frac{1,311}{147,1 \cdot 28} 8,31 \cdot 318 = 0,84$$

$$V_{H_2} = \frac{1,4}{147,1 \cdot 2} 8,31 \cdot 318 = 12,58$$

$$V_{CO} = \frac{1,224}{147,1 \cdot 28} 8,31 \cdot 318 = 0,79$$

$$V_{H_2S} = \frac{0,437}{147,1 \cdot 34} 8,31 \cdot 318 = 0,23$$

Материальный баланс по экспериментальным данным (навоз 100 гр, вода 50 мл) сведен в таблицу 10.

Таблица 10 — Материальный баланс по экспериментальным данным

Вещество	Приход		Вещество	Компонент	Выход	
	г	мл			г	мл
Навоз	100	80	Биогаз	CH ₄	24,472	27,48
H ₂ O	49,6	50		CO ₂	14,858	6
				N ₂	1,311	0,84
				H ₂	1,4	12,58
				CO	1,224	0,79
				H ₂ S	0,437	0,23
			Твёрдо-жидкий остаток		105,9	82,08
Итого:	149,6	130		Итого:	149,6	130

С одной коровы за день – 35 кг навоза, с фермы за день – 3500 кг. Соответственно с учетом времени брожения – 7 дней материальный баланс будет представлять следующие результаты, сведенные в таблицу 11.

Таблица 11 – Материальный баланс, составленный для фермы на 100 коров (навоз, образующийся за сутки)

Вещество	Приход		Вещество	Компонент	Выход	
	кг	л			кг	л
Навоз	3500	2800	Биогаз	CH ₄	856,52	961,8
H ₂ O	1736	1750		CO ₂	520,03	210
				N ₂	45,885	29,4
				H ₂	49	440,3

				CO	42,84	27,65
				H ₂ S	15,295	8,05

Продолжение таблицы 11

Вещество	Приход		Вещество	Компонент	Выход	
	кг	л				кг
			Твёрдо-жидкий остаток		3706,5	2872,8
Итого:	5236	4550		Итого:	5236	4550

Предложенное в работе патентное решение (RU2688356C1) рассчитано на 150 голов. Время брожения биомассы регулируется автоматически. Соответственно если принять, что анаэробное брожение будет проводиться в течении 7 дней, то в реактор будет загружаться навоз от с выход биогаза от 100 голов за 7 дней. Выход биогаза составит 11740,4 л.

3.2 Тепловой баланс

Расчет ведем по методике, представленной в [7]. Размеры биогазовой установки приняты исходя из выбранного патента (RU2688356C1).

Тепловой баланс определяется следующей формулой (9):

$$Q_B + Q_{\text{Э}} = Q_P + Q_{\text{ПП}} \quad (9)$$

где Q_B -общий вводимый тепловой поток, кВт·ч;

$Q_{\text{Э}}$ -количество тепла, выделяемого в процессе экзотермической реакции, кВт·ч;

Q_P -общий расходуемый тепловой поток, кВт·ч;

$Q_{\text{ПП}}$ -количество тепла, теряемого с поверхности биогазовой установки, кВт·ч.

При определении количества тепла, теряемого с $Q_{\text{ПП}}$ продольной поверхности биогазовой установки в окружающую среду, используется формула (10) [3]:

$$Q_{\text{пп}} = \frac{2\pi \cdot \gamma \cdot L \cdot (T_1 - T_2)}{\ln \frac{d_2}{d_1}} \quad (10)$$

где d_1 -наружный диаметр биогазовой установки, 1,6 м;

d_2 -внутренний диаметр биогазовой установки, 1,59 м;

T_1 -температурный режим биогазовой установки, 309К;

T_2 -температура окружающей среды, 295К;

γ -коэффициент теплопроводности поверхности биогазовой установки, 74,4 Вт/м·К;

L -длина биогазовой установки, 5 м.

Подставляем исходные данные в формулу (10).

$$Q_{\text{пп}} = \frac{2\pi \cdot 74,4 \cdot 5 \cdot (309 - 295)}{\ln \frac{1,6}{1,59}} = 30,6$$

Общая поверхность биогазовой установки (формула 11):

$$F = F_{\text{п}} + F_{\text{б}} = 2\pi R h + 2\pi R^2 \quad (11)$$

где $F_{\text{п}}$ -продольная поверхность биогазовой установки, м²;

$F_{\text{б}}$ -боковая поверхность биогазовой установки, м².

Подставляем исходные данные в формулу (11).

$$F = F_{\text{п}} + F_{\text{б}} = 25,12 + 4,02 = 29,14 \text{ м}^2$$

Исходя из количества тепла, потерянного при продольной длине $Q_{\text{пп}}$ определяем плотность q теплового потока на поверхности продольной длины биогазовой установки $F_{\text{п}}$ (формула 12):

$$q = \frac{Q_{\text{пп}}}{F_{\text{п}}} \quad (12)$$

где $Q_{\text{ПП}}$ -количество тепла, теряемого с поверхности биогазовой установки, кВт·ч;

$F_{\text{П}}$ -продольная поверхность биогазовой установки, м².

Подставляем исходные данные в формулу (12).

$$q = \frac{30,6}{25,12} = 1,45 \frac{\text{кВт} \cdot \text{ч}}{\text{м}^2}$$

Общие потери тепловой энергии с поверхности биогазовой установки определяем по формуле (13):

$$Q_{\text{р}} = q \cdot F \quad (13)$$

где q – плотность теплового потока, $\frac{\text{кВт} \cdot \text{ч}}{\text{м}^2}$;

F - общая поверхность биогазовой установки, м².

Подставляем исходные данные в формулу (13).

$$Q_{\text{р}} = 1,45 \cdot 29,14 = 36,4 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$$

Рассчитаем $Q_{\text{э}}$ количество тепла, выделяемого в процессе экзотермической реакции:

$$Q_{\text{э}} = t \cdot M \quad (14)$$

где t – средняя теплоемкость биомассы, кДж/кг;

M - масса загруженного субстрата, кг.

Из [7] можно определить, что в каждом кг навоза КРС с содержанием влаги 75% количество сухого органического вещества = 20,3%. Количество сухого органического вещества (навоз загружается собранный за 7 дней) в

жидкой биомассе из 171500 кг в биогазовой установке составляет 28388,3 кг. Разложение количества тепловой энергии на кг сухого органического вещества = 4,18 кДж/кг [7]. Следовательно, суточное количество тепла, выделяющееся в результате брожения массы загруженного субстрата, составляет:

$$Q_э = 4,18 \cdot 28388,3 = 118663,094 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}} = 32,96 \text{ кВт/ч}$$

Рассчитаем требуемый тепловой поток $Q_в$ с учетом преобразования формулы (9):

$$Q_в = Q_р + Q_{пп} - Q_э \quad (15)$$

где $Q_в$ -общий вводимый тепловой поток, кВт·ч;

$Q_э$ -количество тепла, выделяемого в процессе экзотермической реакции, кВт·ч;

$Q_р$ -общий расходуемый тепловой поток, кВт·ч;

$Q_{пп}$ -количество тепла, теряемого с поверхности биогазовой установки, кВт·ч.

Подставляем рассчитанные данные в формулу (15):

$$Q_в = 36,4 + 30,6 - 32,96 = 34,04 \text{ кВт/ч}$$

Проведенные расчеты позволили сделать вывод, что для создания мезофильного брожения в реакторе (для переработки навоза от поголовья равного 100 голов, за период жизнедеятельности животных 7 дней) с поддержанием температуры на уровне 35° С необходима дополнительная подача 34,04 Квт/ч.

3.3 Расчет перемешивающего устройства

Расчет ведем по методике, представленной в [7].

Коэффициент расхода $K_2=0,0013$;

Объем аппарата: $V' = 10 \text{ м}^3$;

Высота аппарата $H=5 \text{ м}$;

Высота жидкости в аппарате рассчитывается по формуле (14).

$$H' = \frac{4V}{\pi \cdot D^2} \quad (14)$$

где V -объем аппарата, м^3 ;

D -наружный диаметр, м.

Результаты расчета:

$$H' = \frac{4 \cdot 10}{3,14 \cdot 1,6^2} = 4,98 \text{ м}$$

Согласно [7] диаметр мешалки с учетом диаметра реактора принимаем равной $d_M = 1350 \text{ мм}$.

Параметр заполнения аппарата рассчитывается по формуле (15):

$$\gamma = 8 \cdot \frac{H'}{D} + 1 \quad (15)$$

где H' -высота жидкости в аппарате, м;

D -наружный диаметр, м.

Подставляем данные в формулу (15):

$$\gamma = 8 \cdot \frac{4,98}{1,6} + 1 = 25,9$$

Принимаем частоту вращения $n = 200 \frac{\text{об}}{\text{мин}} = 3,33 \frac{\text{об}}{\text{сек}}$

Число Рейнольдса рассчитываем по формуле (16)

$$Re = \frac{\rho \cdot n \cdot d^2}{\mu} \quad (16)$$

где ρ -плотность среды, кг/м³; Плотность среды по [7] $\rho = 1700$ кг/м³.

n -частота вращения, об/сек;

d -диаметр мешалки, м;

μ -динамическая вязкость среды, кг/м·с.

Результаты расчета:

$$Re = \frac{1700 \cdot 3,33 \cdot 1,35^2}{8,09 \cdot 10^{-3}} = 1275299$$

Параметр гидравлического сопротивления, с учётом того, что $z_M=1$, т.к. число мешалок на валу равно 1 (формула 17):

$$E = \frac{\gamma}{\zeta_M \cdot z_M \cdot Re^{0,25}} \quad (17)$$

где ζ_M -коэффициент местного сопротивления; $\zeta_M=8,4$

Re -число Рейнольдса;

γ -коэффициент потерь.

Рассчитаем параметр гидравлического сопротивления по формуле (17):

$$E = \frac{25,9}{8,4 \cdot 1 \cdot (1275299)^{0,25}} = 0,09$$

По известному значению E , определяем параметр распределения скорости $\psi_1=f(E)=0,5$. По известному значению ψ_1 , определяем параметр глубины воронки $B=4$.

Глубина воронки рассчитываем по формуле:

$$h_B = B \cdot \frac{n^2 \cdot d^2}{2g} \quad (20)$$

где B - параметр глубины воронки;

Re -число Рейнольдса;

g -ускорение свободного падения, m/c^2 .

n - частота вращения об/сек, принятая $3,33 \frac{об}{сек}$

d - диаметр мешалки, м.

Результаты расчёта по формуле (20):

$$h_B = 4 \cdot \frac{3,33^2 \cdot 1,35^2}{2 \cdot 9,8} = 4,1 \text{ м}$$

Расположим мешалку на высоте $h = 0,1$ м, тогда расстояние от свободного уровня жидкости до ступицы мешалки будет равно (формула 21):

$$h_{ст} = H' - h - h_{ст} \quad (21)$$

где H' - высота жидкости в аппарате, м;

h - высота расположения мешалки, м.

Получается по формуле (21):

$$H_{ст} = 4,98 - 0,1 = 4,88 \text{ м}$$

Полученная расчётная глубина воронки, не превышает расстояние от свободного уровня жидкости до ступицы мешалки.

По известному значению ψ_1 , определяем $K_1=0,06$ [7].

Число Эйлера определяем по формуле (22):

$$Eu = 3,87 \cdot z_M \cdot \zeta_M \cdot K_1 \quad (22)$$

Подставляем данные в формулу (22):

$$Eu = 3,87 \cdot 1 \cdot 8,4 \cdot 0,06 = 1,95$$

Мощность, потребляемая на перемешивание, рассчитывается по формуле (23):

$$N = Eu \cdot \rho \cdot n^3 \cdot d^5 \quad (23)$$

где Eu - число Эйлера;

n - частота вращения об/сек, принятая $3,33 \frac{\text{об}}{\text{сек}}$;

ρ -плотность среды, кг/м³; Плотность среды по [7] $\rho = 1700$ кг/м³.

d - диаметр мешалки, м.

Подставляем данные в формулу (23):

$$N = 1,95 \cdot 1700 \cdot 3,33^3 \cdot 1,35^5 = 550 \text{ кВт}$$

Таким образом рассчитаны основные параметры мешалки.

Вывод к главе 3: рассчитаны материальный и тепловой балансы предлагаемого мезофильного процесса брожения биомассы в реакторе (патент RU2688356C1).

Заключение

В бакалаврской работе изучена сельскохозяйственная деятельность в Московской области и выявлена проблема утилизации отходов КРС, где лишь около 30% мест хранения отвечают требованиям по охране окружающей среды. Предельно допустимая концентрация отходов превышает норму из-за ограничений сельскохозяйственных площадей, что в свою очередь говорит о недостаточной эффективности систем переработки этих отходов, используемых на предприятиях.

Анализ технической литературы позволил сделать вывод о целесообразности использования для частного фермерского хозяйства мезофильного режима брожения. Этот выбор основывается на экономической целесообразности предлагаемого решения с учетом оптимального выхода по биогазу.

В ходе работы был проведен патентный поиск на предмет подбора оптимальной биогазовой установки для частного фермерского хозяйства на 100 голов коровьего скота. Обоснован выбор патента RU2688356C1. Высокая производительность биогаза достигается благодаря простоте конструкции, что дает возможность использовать ее в сфере агропромышленного производства с высокой надежностью и стабильностью работы. Аппаратная часть, используемая в технологическом цикле простая и не требует серьезных финансовых вложений.

Произведен расчет материального, теплового балансов; перемешивающего устройства.

Таким образом, предложенное в работе технологическое решение позволяет снизить негативное воздействие на окружающую среду за счет переработки и обезвреживания отходов путем контролируемого сбраживания в биогазовых реакторах

Цели и задачи в ходе бакалаврской работы были достигнуты.

Список используемой литературы и используемых источников

1. Безуглов В. Г. Экологическая обстановка на животноводческих комплексах, фермах, птицефабриках и прилегающих к ним территориях // Электронный научно-производственный журнал «АГРОЭКОИНФО». – 2013. – №. 1. – С. 12 (дата обращения: 10.03.2023).
2. Баринаева, Е.А. Внедрение новых видов топлива, как фактор устойчивого развития сельскохозяйственного производства / Е.А. Баринаева, О.В. Ковалева, Т.В. Зубкова // Аграрный вестник Верхневолжья. — 2015. — № 3. — С. 55-62. — ISSN 2307-5872. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/journal/issue/297854> (дата обращения: 04.03.2023).
3. Биотехнология в животноводстве / Е. Я. Лебедев, П. С. Катмаков, А. В. Бушов, В. П. Гавриленко. — 2-е изд., стер. — Санкт-Петербург: Лань, 2022. — 160 с. — ISBN 978-5-507-45224-8. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/262487> (дата обращения: 20.03.2023).
4. Васильев Ф.А. Обоснование выбора типа загрузки метатенка в накопительном режиме анаэробного сбраживания навоза КРС / Ф.А. Васильев // Вестник Иркутской государственной сельскохозяйственной академии. — 2011. — № 42. — С. 57-65. — ISSN 1999-3765. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/journal/issue/295095> (дата обращения: 10.05.2023).
5. Винаров А. Ю. Процессы и аппараты биотехнологии. Производство белка из метана / А. Ю. Винаров. — Санкт-Петербург: Лань, 2022. — 128 с. — ISBN 978-5-8114-9669-3. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/230291> (дата обращения: 10.03.2023).
6. Земсков В. И. Возобновляемые источники энергии в АПК: учебное пособие / В. И. Земсков. — Санкт-Петербург: Лань, 2022. — 368 с. — ISBN

978-5-8114-1647-9. — Текст: электронный// Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/211574> (дата обращения: 20.02.2023).

7. Земсков В. И. Проектирование технических систем производства биогаза в животноводстве: учебное пособие / В. И. Земсков, И. Ю. Александров. — Санкт-Петербург: Лань, 2022. — 312 с. — ISBN 978-5-8114-2475-7.— Текст: электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/209858> (дата обращения: 22.05.2023).

8. Максимов Д.А. Повышение эффективности технологии переработки отходов животноводства / Д.А. Максимов, Н.Г. Киселев // Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. — 2002. — № 73. — С. 267-273. — ISSN 0131-5226. — Текст: электронный// Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/journal/issue/294264> (дата обращения: 15.03.2023).

9. Мамонтов, А.Ю. Обоснование параметров технологической схемы «Отходы животноводства –биогаз-электроэнергия» / А.Ю. Мамонтов // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. — 2016. — № 1. — С. 58-65. — ISSN 1819-4036. — Текст: электронный// Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/journal/issue/298092> (дата обращения: 03.02.2023).

10. Мохнаткин В. Г. Технические средства для уборки и переработки навоза: учебное пособие / В. Г. Мохнаткин, П. Н. Солонщиков. — Киров: Вятская ГСХА, 2017. — 61 с.— Текст: электронный// Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/129655> (дата обращения: 03.04.2023).

11. Михайлюк А. А. Технология производства и хранения биотоплива / А. А. Михайлюк, Р. А. Захаревич, науч. рук. Д. А. Секацкий // материалы 74-й научно-технической конференции студентов и аспирантов / Белорусский национальный технический университет, Энергетический факультет; ред. Т.

Е. Жуковская. – Минск: БНТУ, 2018. – С. 468-470 (дата обращения: 08.03.2023).

12. Кононенко С.И. Производство биогаза и удобрений на животноводческих фермах / С.И. Кононенко, Н.П. Ледин, Е.Л. Мурадова // Вестник аграрной науки Дона. — 2013. — № 1. — С. 45-53. — ISSN 2075-6704. — Текст: электронный// Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/journal/issue/297809> (дата обращения: 13.04.2023).

13. Никитин Д. П., Новиков Ю. В. Окружающая среда и человек: Учебное пособие. – Высш. шк, 2020, с.241.

14. Патент № 2407723 С2 Российская Федерация, МПК С05F 3/06. технологическая линия утилизации бесподстилочного навоза с получением биогаза и удобрений: № 2009109767/21: заявл. 19.03.2009: опубл. 27.12.2010 / Д. А. Ковалев, Е. Н. Камайданов, А. А. Ковалев; заявитель Российская Академия Сельскохозяйственных наук Государственное научное учреждение Всероссийский научно-исследовательский институт электрификации сельского хозяйства Российской академии сельскохозяйственных наук (ГНУ ВИЭСХ РОССЕЛЬХОЗАКАДЕМИИ). – EDN SKUJGF (Дата обращения: 27.03.2023).

15. Патент № 2422385 С1 Российская Федерация, МПК С02F 11/04. установка для анаэробного сбраживания органических отходов с получением биогаза: № 2009144467/05 : заявл. 30.11.2009: опубл. 27.06.2011 / А. Е. Кондратьев, Г. И. Павлов, С. Г. Борисов, А. Р. Загретдинов. – EDN CAQJFL (дата обращения: 27.03.2023).

16. Патент № 2462856 С1 Российская Федерация, МПК А01С 3/00. Биогазовая установка для переработки навоза: № 2011106695/13: заявл. 22.02.2011: опубл. 10.10.2012 / С. Г. Емельянов, Н. С. Кобелев, А. Н. Плетнев [и др.]; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Юго-Западный государственный университет" (ЮЗГУ). – EDN ORIBVI (дата обращения: 29.03.2023).

17. Патент № 2688356 С1 Российская Федерация, МПК С12М 1/02, С12М 1/113, С12М 1/38. Биогазовая установка для переработки органических отходов в биогаз и биоудобрения: № 2017146539: заявл. 27.12.2017: опубл. 21.05.2019 / В. Я. Федянин, А. Т. Жумагажинов; заявитель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова" (АлтГТУ). – EDN WLUBAG (дата обращения: 29.03.2023).

18. Пучкова Т. А. Биотехнология очистки промышленных отходов: учебное пособие / Т. А. Пучкова. — Минск: БГУ, 2018. — 175 с. — ISBN 978-985-566-529-9. — Текст: электронный// Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/180422> (дата обращения: 20.04.2023).

19. Садчиков А. В. Повышение энергетической эффективности биогазовых установок //Фундаментальные исследования. – 2016. – №. 10-1. – С. 83-87 (дата обращения: 09.03.2023).

20. Серая Т. М. и др. Виды органических удобрений и методика расчета их потребности для обеспечения бездефицитного баланса гумуса в пахотных почвах //Почвоведение и агрохимия. – 2023. – №. 2. – С. 37-56 (дата обращения: 10.03.2023).

21. Способ переработки навоза: А.с. 792632 СССР, МКИ А23К 1/100. 116 с (дата обращения: 11.03.2023).

22. Титова В. И. Агрохимия – 2021: учебное пособие / В. И. Титова. — Нижний Новгород: НГСХА, 2021. — 208 с.— Текст: электронный// Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/222824> (дата обращения: 21.04.2023).

23. Федоренко И. Я. Ресурсосберегающие технологии и оборудование в животноводстве: учебное пособие / И. Я. Федоренко, В. В. Садов. — Санкт-Петербург: Лань, 2022. — 304 с. — ISBN 978-5-8114-1305-8.— Текст: электронный// Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/210923> (дата обращения: 21.04.2023).

24. Чхенкели В. А. Курс лекций по биотехнологии: учебное пособие / В. А. Чхенкели. — Иркутск: Иркутский ГАУ, 2013. — 371 с.— Текст: электронный// Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/143184> (дата обращения: 15.03.2023).
25. Шерьязов С. К., Пташкина-Гирина О. С. Использование возобновляемых источников энергии в сельском хозяйстве: уч. пособие для вузов. Челябинск: ЧГАА, 2013. 280 с (дата обращения: 11.03.2023).
26. Экология животноводства: учебное пособие / составители Ф. С. Сибагатуллин [и др.]; под редакцией Ф. С. Сибагатуллина. — Казань: КГАУ, 2018. — 220 с. — ISBN 978-5-905201-50-9.— Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/138642> (дата обращения: 18.05.2023).
27. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR). Handreichung Biogasgewinnung und -nutzung // Гюльцов 2010г, с 213.
28. Hashimoto A.G. Methane production and effect quality from fermentation of beef cattle manure and molasses // Biotechnol. Bioeng. Symp. – Vol. 11 – P. 481.
29. Heinzle E. Dunn, I. J. Ryhiner G. B. (1993): Modelling and control for Anaerobic Wastewater treatment, Advances in Biochemical Engineering Biotechnology, Vol 48, Springer Verlag 1993.
30. Kaltschmitt M.; Hartmann, H. Energie aus Biomasse – Grundlagen, Techniken und Verfahren; Springer Verlag Berlin, Heidelberg, New York, 2001.
31. Mc Carty, PL McKinney (1961): Salt toxicity in anaerobic digestion. Journal water pollution control Federation Washington D.C. 33, 399.
32. Inglesby A. E., and Fisher, A. C., Enhanced methane yields from anaerobic digestion of *Arthrospira maxima* biomass in an flow-through reactor with an integrated recirculation loop microbial fuel cell. Energy Environ. Sci. 5, 7996-8006.