

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова»

На правах рукописи



ЕДИСЕЕВ ОЛЕГ СЕРГЕЕВИЧ

**РАЗРАБОТКА СПОСОБА УТИЛИЗАЦИИ СВИНОГО НАВОЗА ПУТЁМ
ПРИМЕНЕНИЯ РЕЦИРКУЛЯЦИОННОЙ ЖИДКОСТИ ЭФФЛЮЕНТА**

Диссертация

на соискание ученой степени кандидата технических наук

Специальность: 4.3.1. Технологии, машины и оборудование
для агропромышленного комплекса

Научный руководитель:
доктор технических наук,
профессор В.П. Друзьянова

Якутск 2026

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
ГЛАВА 1. АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	11
1.1 Сельскохозяйственная отрасль Республики Саха (Якутия)	11
1.1.1 Состояние растениеводства в РС(Я)	11
1.1.2 Состояние животноводства в РС(Я).....	14
1.2 Существующие способы утилизации, обработки и переработки отходов животноводства	17
1.3 Общие сведения о свином навозе.....	25
1.3.1 Свойства свиного навоза	25
1.3.2 Польза и вред свиного навоза	29
1.4 Свиноводческие комплексы Центральной Якутии.....	30
1.5 Биогазовая технология – эффективный способ переработки свиного навоза	33
1.5.1 Стадии анаэробного сбраживания.....	33
1.5.2 Режимы анаэробного сбраживания	34
1.5.3 Системы анаэробного сбраживания	36
Выводы по главе 1, постановка цели и задач исследования.....	37
ГЛАВА 2. ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРОЦЕССА АНАЭРОБНОГО СБРАЖИВАНИЯ	39
2.1 Патентный поиск.....	39
2.2 Предлагаемый способ утилизации свиного навоза	46
2.3 Математическое моделирование предлагаемой технологии утилизации свиного навоза	48
2.4 Динамическая модель процесса анаэробной утилизации субстрата, разжиженного рециркуляционной жидкостью от эффлюента	53
2.5 Общие сведения о гуминовых удобрениях	59
2.6 Битумы и асфальтобетоны	63

2.6.1 Битумы для приготовления асфальтобетонных смесей	63
2.6.2 Классификация асфальтобетонных смесей в Российской Федерации	65
Выводы по главе 2.....	68
ГЛАВА 3. ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	70
3.1 Общая методика экспериментальных исследований	70
3.2 Применяемые приборы, аппаратура и оборудование для проведения эксперимента.....	74
3.3 Методы исследования свойств получаемых продуктов.....	80
3.3.1 Методы исследования состава биогаза	80
3.3.2 Методы исследования состава эфлюента.....	80
3.3.3 Методика исследования характеристик органоминерального гуминового удобрения	80
3.3.4 Методика исследования физико-механических характеристик СДА	81
3.3.5 Методика исследования физико-химических характеристик битумного вяжущего.....	81
3.3.6 Методика исследования физико-механических характеристик асфальтобетона со структурирующей добавкой.....	82
3.4 Планирование и обработка результата удельного выхода биогаза с рециркуляционной жидкостью эфлюента.....	83
Выводы по главе 3	86
ГЛАВА 4. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ	87
4.1 Запуск лабораторной биогазовой установки.....	87
4.2 Запуск пилотной линии на водном субстрате	89
4.3 Хранение биогаза и запуск сепаратора	90
4.4 Щелочная экстракция органоминерального гуминового удобрения	91
4.5 Запуск пилотной установки на рециркуляционной жидкости	91
4.6 Результаты эксперимента выхода биогаза на рециркуляционной жидкости эфлюент	93

4.7 Расчет технологической линии на примере ООО «Хатасский свинокомплекс»	98
4.8 Получение органоминерального гуминового удобрения и структурирующей добавки для асфальтобетона	100
4.9 Характеристика органоминерального гуминового удобрения (ОМГУ)	101
4.10 Характеристики СДА, битумного вяжущего и асфальтобетона с СДА	101
4.10.1 Определение характеристик СДА	101
4.10.2 Разработка состава СДА	102
4.10.3 Физико-химические характеристики битумного вяжущего со СДА.....	103
4.10.4 Проектирование состава асфальтобетонной смеси	104
Выводы по главе 4.....	107
ГЛАВА 5. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ЛИНИИ ПО УТИЛИЗАЦИИ СВИНОГО НАВОЗА ..	109
5.1 Техничко-экономическое обоснование разработанной технологической линии и методика расчета экономической эффективности	109
5.2 Расчет капитальных и эксплуатационных затрат	110
5.2.1 Капитальные затраты вариантов утилизации свиного навоза.....	110
5.2.2 Капитальные затраты для предлагаемого варианта утилизации свиного навоза	110
5.2.3 Расчет эксплуатационных расходов	112
5.3 Расчет годового экономического эффекта	113
Выводы по главе 5	116
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	119
ПРИЛОЖЕНИЯ	138

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность работы. В современном мире необходимо, чтобы каждый из нас поменял свое поведение и отношение к экологии. Важно не ограничиваться только текущими потребностями, но и нужно заботиться о будущих поколениях, которым мы оставляем экологическую среду в наследство. Это особенно актуально для северных регионов, расположенных в зоне распространения вечной мерзлоты.

Устойчивого развития агропромышленного комплекса (АПК) в условиях Республики Саха (Якутия) можно добиться при соблюдении мер защиты и охраны окружающей среды, а повышения качества жизни населения – на основе решения технологических процессов в сельскохозяйственном производстве в экологическом направлении, внедрения энерго- и ресурсосберегающих технологий.

В настоящее время в Якутии содержат крупный рогатый скот, лошадей, свиней и птиц. Ими занимаются в основном крестьянско-фермерские и личные-подсобные хозяйства. Следует отметить, что ввиду наличия малого поголовья животных, трудоемкие процессы осуществляются вручную. Особенно проблематичен вопрос механизации процессов сбора, переработки и утилизации образуемого навоза животных.

Известно, что при правильной организации процесса сбора и переработки навоза животных можно получать качественное органическое удобрение. Существует множество способов и методов переработки отходов, но большинство из них не подходит для применения в сложившихся условиях ведения аграрного производства в хозяйствах Якутии. На наш взгляд, наиболее подходит анаэробная переработка в биогазовых установках. Известны исследования и разработки якутских ученых в этом направлении, когда биогазовая технология обоснована и адаптирована под природно-климатические и хозяйственные условия региона. Однако, анализ существующих современных способов и перспективных исследований в области анаэробной переработки животноводческих отходов позволил составить выводы о том, что в настоящее время отсутствуют технологии по полной утилизации свиного навоза – одного из агрессивных видов отходов.

Используемые в настоящее время биогазовые технологии позволяют перерабатывать достаточные объемы органических отходов. В результате, навоз животных преобразуется в органическое удобрение (эффлюент) и попутно получается альтернативный источник энергии – биогаз. Эффлюент не содержит болезнетворных микроорганизмов, семян сорных растений, не имеет постороннего резкого запаха – безопасен с санитарно-эпидемиологической точки зрения. При внесении в почву сразу впитывается и усваивается растениями, не остается в почве. Главной проблемой эффлюента является его большой объем из-за высокого содержания воды. Жидкий эффлюент требует специальных ёмкостей и площадей для её хранения, или же больших энергозатрат на высушивание. Таким образом, эффлюент в чистом виде создает серьезные трудности в доработке и применении. Поэтому, существует значимая проблема в процессе хранения эффлюента, которая требует решения [78].

В связи с этим имеется необходимость модернизации биогазового способа переработки навоза с целью уменьшения объемов образуемого жидкого эффлюента.

В начале процесса сбраживания навоз (отход) разжижается водой. Жидкая среда способствует ускорению роста и продуцирования метаногенных бактерий, которые потребляют вредные составляющие органического отхода, а продуктом их жизнедеятельности является биогаз. Поэтому навоз перед сбраживанием подготавливается путем смешивания с водой. В данной работе предлагается разделять эффлюент на жидкую и твердую фракции, и жидкой фракцией эффлюента – рециркулятом, разбавлять свежий отход в навозной яме. Тем самым подготовленный к переработке субстрат уже будет содержать активную колонию метанообразующих психрофильных бактерий. При загрузке метантенка субстрата с активными метаногенами, интенсифицируется процесс разложения отхода, уменьшится объем жидкого эффлюента, улучшится качество образуемого биогаза.

Степень разработанности темы. Научные основы переработки и утилизации отходов в виде навоза от сельскохозяйственных животных и применение

полученных продуктов отражены в работах Апажева А.К., Баадера В., Бадмаева Ю.Ц., Бондаренко А.М., Васильева Ф.А., Васильевой А.С., Гайфуллина И.Х., Головки А.Н., Гюнтер Л.И., Друзьяновой В.П., Зиганшина Б.Г., Ильина С.Н., Лимаренко Н.В., Ожигова В.П., Осмонова О.М., Панцхава Е.С., Петрова Н.В., Савватеевой И.А., Спиридоновой А.В., Успенского И.А., Фиापшева А.Г. и др.

Связь работы с научными программами и темами. Диссертационная работа выполнена в рамках выполнения НИР ФГБУ «Фонд содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере» (Фонд содействия инновациям) программы «У.М.Н.И.К».

Цель исследования – разработка оригинального безотходного способа утилизации свиного навоза на основе биогазовой технологии, обеспечивающего минимизацию объемов жидкого удобрения и интенсификацию процесса анаэробного разложения в психрофильном режиме за счет введения в сбрасываемый субстрат жидкого эффлюента с активной колонией метаногенных бактерий.

Для достижения цели поставлены и сформулированы следующие **задачи исследования:**

1. Уточнить производительность накопительной психрофильной биогазовой технологии переработки свиного навоза.
2. Обосновать замкнутый и безотходный способ утилизации свиного навоза на основе накопительной психрофильной биогазовой технологии и предложить его экономико-математическую модель.
3. Разработать динамическую модель нового способа утилизации свиного навоза, описывающую эффективность использования рециркуляционной жидкости эффлюента.
4. Дать технико-экономическое обоснование безотходному, замкнутому и энергосберегающему способу утилизации свиного навоза.

Объект исследования – технологический процесс анаэробной утилизации свиного навоза с получением биогаза, эффлюента, органоминерального гуминового удобрения (ОМГУ) и структурирующей добавки для асфальтобетона (СДА).

Предмет исследования – зависимости, раскрывающие процесс

интенсификации параметров анаэробной переработки при разжижении свиного навоза рециркуляционной жидкостью от разделения эффлюента.

Научная новизна работы:

1. Разработана экономико-математическая модель эффективности нового способа утилизации свиного навоза на основе производственно-технологических и энергетических затрат.

2. Разработана динамическая модель, раскрывающая кинетику анаэробного разложения, когда навоз разбавляется рециркуляционной жидкостью от разделения эффлюента, вносящей в свежий отход активную колонию метанообразующих микроорганизмов.

Новизна, изобретательский уровень и промышленная применимость предложенных технических решений подтверждены Евразийским патентом на изобретение № 053350, патентом на изобретение РФ №2839275, свидетельствами о государственной регистрации базы данных РФ №2025621821 и программы для ЭВМ РФ №2024661576.

Теоретическая и практическая значимость работы:

Теоретически обоснованы и экспериментально проверены новые подходы к процессу утилизации свиного навоза, доказывающие эффективность разбавления свежего навоза жидким рециркулятом эффлюента для анаэробной переработки в метантенке. Получены теоретические зависимости, позволяющие снизить расход технически чистой воды и заменить его жидким рециркулятом эффлюента.

Практическая ценность заключается в: применении доступного оборудования, упрощающего его эксплуатацию, обслуживание и ремонт; практическом подходе к вопросу использования альтернативной электроэнергии; исключении применения ассенизаторов для вывоза жидкого навоза; экономии технически чистой воды; возможности создания замкнутого безотходного и ресурсосберегающего производства, заключающегося в утилизации вредного отхода без вывоза за пределы свиноводческого предприятия.

Методология и методы исследования. Исследования осуществлены на основе общих положений проведения научно-исследовательских работ,

использовались методы системного анализа, математического моделирования и методики планирования экспериментов.

Положения, выносимые на защиту:

1. Способ интенсификации анаэробного разложения субстрата, базирующийся на использовании жидкого рециркулята эффлюента, позволяющий создать замкнутое безотходное производство с получением новых дополнительных продуктов в виде ОМГУ и СДА.

2. Модель эффективности предлагаемого нового безотходного способа утилизации свиного навоза на основе учета производственно-технологических и энергетических затрат.

3. Динамическая модель, раскрывающая кинетику эффективной анаэробной утилизации субстрата и образования качественного биогаза, когда процесс ускорен внесением активной метаногенной колонией.

Реализация результатов исследования. Результаты работы подтверждаются актами внедрения в ООО «Хатасский свинокомплекс» (с. Хатассы, ГО «город Якутск», Республика Саха (Якутия)), ЗАО «Гордормостстрой» (г. Якутск, ГО «город Якутск», Республика Саха (Якутия)), СППК «Урдэл» (с. Булгунняхтах, Хангаласский район, Республика Саха (Якутия)), а также справкой об использовании материалов диссертационной работы в учебном процессе ФГАОУ ВО СВФУ.

Степень достоверности результатов исследований подтверждается:

— достаточным объемом теоретических исследований, проведенными экспериментами с использованием разработанных и существующих методических рекомендаций, нормативно-технической документации и современного оборудования;

— сходимостью результатов теоретических и экспериментальных исследований, проверкой результатов в лабораторных исследованиях и производственных условиях с внедрением полученных результатов исследований в производство.

Личный вклад соискателя состоит в обосновании зависимостей, раскрывающих процесс интенсификации параметров анаэробной переработки при

разжижении свиного навоза рециркуляционной жидкостью эффлюента, непосредственном участии на всех этапах разработки, при проведении экспериментальных исследований в производственных условиях ООО «Хатасский свинокомплекс» (с. Хатассы, ГО «город Якутск», Республика Саха (Якутия)), ЗАО «Гордормостстрой» (г. Якутск, ГО «город Якутск», Республика Саха (Якутия)), СППК «Урдэл» (с. Булгунняхтах, Хангаласский район, Республика Саха (Якутия)).

Апробация работы. Основные положения и результаты диссертационной работы доложены и получили положительную оценку на международных и всероссийских конференциях: «Агропромышленный комплекс: проблемы и перспективы развития» (Благовещенск, Россия, 2022, 2025), «Актуальные вопросы инженерно-технического и технологического обеспечения АПК» (Иркутск, Россия, 2022), «Стратегия и перспективы развития агротехнологий и лесного комплекса Якутии до 2050 года» (Якутск, Россия, 2022), «Актуальные вопросы строительства: взгляд в будущее» (Красноярск, Россия, 2023), Всероссийской (национальной) научно-практической конференции, посвященной Дню российской науки, Улан-Удэ, 03–07 февраля 2025, XXVIII Международный научно-практический форум «Аграрная наука – сельскохозяйственному производству СНГ и BRICS» (Новосибирск, Россия, 2026).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 13 научных работ, в том числе 4 – в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки России, получено 1 свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ РФ, 1 свидетельство о государственной регистрации базы данных РФ, 1 патент РФ на изобретение и 1 Евразийский патент на изобретение.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы из 156 наименований, в том числе 13 – иностранном языке и приложений. Общий объем работы составляет 150 страниц машинописного текста, включает 29 рисунков и 39 таблиц.

ГЛАВА 1. АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

1.1 Сельскохозяйственная отрасль Республики Саха (Якутия)

В настоящее время в агропромышленной отрасли Якутии отсутствуют технологии по переработке образуемых органических отходов – навоза животных. Поэтому стоит актуальная задача для разработки технических решений, позволяющих не только утилизировать объемы навоза, но и производить полезные продукты от них.

Отмечается, что по сравнению с растениеводческой отраслью, сектор животноводства производит отходов на 50-60% больше [14].

1.1.1 Состояние растениеводства в РС(Я)

Растениеводство является одним из ключевых секторов агропромышленного комплекса, в котором производимая продукция имеет востребованность в различных отраслях народного хозяйства. В Республике Саха (Якутия) основными направлениями растениеводства являются следующие:

- зерновые культуры;
- картофелеводство;
- овощи открытого и закрытого типа.

Данные по валовому сбору производимых растениеводческих культур за 2020-2024 гг. в Республике Саха (Якутия) (РС(Я)) представлены на рисунке 1.1 [125].

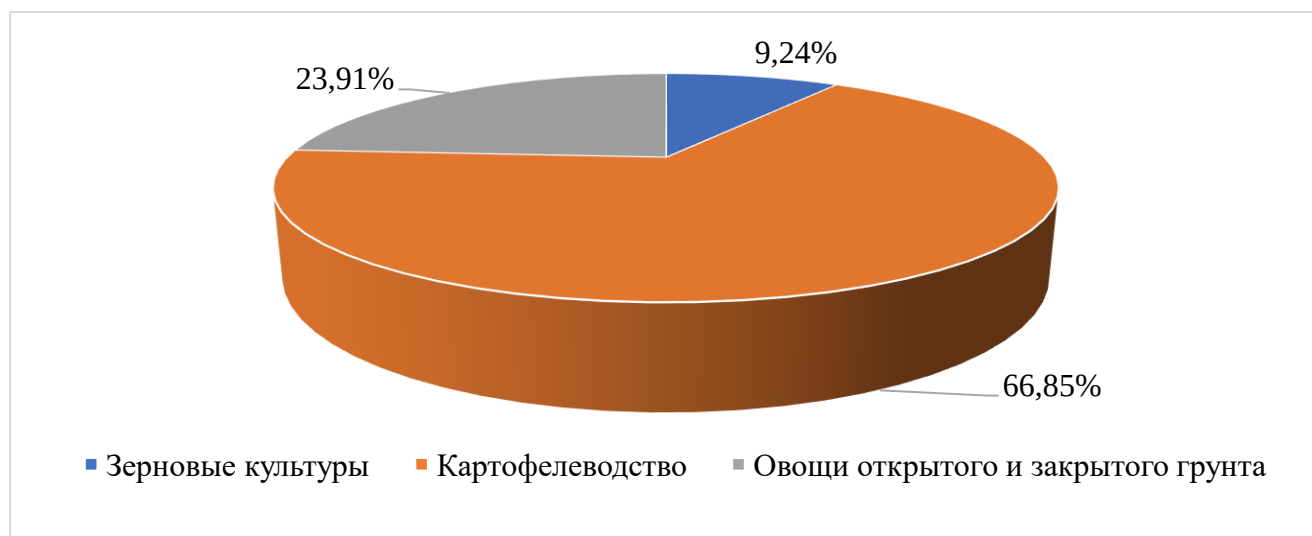


Рисунок 1.1 – Доля растениеводства по РС(Я)

Далее в таблице 1.1 дана информация о посевных площадях в РС(Я) на 2020 - 2024 гг. [126].

Таблица 1.1 – Посевные площади в РС(Я) за 2020-2024 гг.

№	Посевная площадь, тыс. га	2020	2021	2022	2023	2024
1	Общая посевная площадь	47,2	48,0	49,3	49,5	49,3
2	Площадь под пшеницу	1,5	1,3	1,8	1,5	1,7
3	Площади под рожь	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1
4	Площади под ячмень	2,3	2,4	2,4	2,6	2,4
5	Площади под овес	5,3	6,9	6,5	7,3	6,8
6	Площади под картофель	6,2	6,2	6,1	6,2	6,1
7	Площади под овощи открытого и закрытого грунта	1,3	1,4	1,3	1,3	1,3
8	Кормовые культуры	30,5	29,7	31,1	30,5	30,9

Согласно представленным данным, основная доля посевных площадей приходится на кормовые культуры, картофель и овёс [125].

В таблице 1.2 приведены сведения о внесении минеральных и органических удобрений в сельскохозяйственных предприятиях на период с 2020-2024 гг.

Таблица 1.2 – Сведения о внесении минеральных и органических удобрений под посевы в сельскохозяйственных организациях РС(Я) за 2020-2024 гг. [126]

№	Наименование	2020	2021	2022	2023	2024
1	Внесено минеральных удобрений (в пересчете на 100% питательных веществ) всего тонн.	465,2	235,6	446,4	417,8	434,4
2	На 1 гектар посева, кг	28,7	24,1	26,6	18,5	17,4
3	Под зерновые культуры, кг	57,8	25,8	30,0	36,0	30,2
4	Под картофель, кг	370,5	111,4	827,2	38,6	34,8
5	Под овощи, кг	101,1	30,3	277,8	763,4	434,4
6	Под кормовые культуры, кг	13,6	2,8	15,5	11,2	13,4
7	Удельный вес площади с внесенными минеральными удобрениями во всей посевной площади, %	25,8	18,8	42,9	31,9	38,2
8	Внесено органических удобрений всего, тонн	2300,0	3700,0	5000,0	3600,0	4000,0
9	На 1 гектар посева, кг	200,0	300,0	400,0	300,0	300,0
10	Под зерновые культуры, кг	0	0	0	0	0
11	Под картофель, кг	3100,0	2500,0	3500,0	3900,0	3200,0
12	Овощи, кг	3800,0	700,0	12500,0	-	7700,0

13	Кормовые культуры, кг	100,0	400,0	500,0	300,0	300,0
14	Удельный вес площади с внесенными органическими удобрениями во всей посевной площади, %	1,9	4,3	3,5	4,0	3,1

Согласно данным таблицы 1.2 в поля под выращивание картофеля ежегодно вносится порядка 3700 кг/га органических удобрений, и под выращивание овощей - 320 кг/га минеральных удобрений. В качестве органических удобрений в основном применяются компост (перегной) из навоза КРС.

В таблице 1.3 представлены сведения по валовому сбору и урожайности за период с 2020-2024 гг. включительно [125].

Таблица 1.3– Валовый сбор и урожайность в РС(Я) за 2020-2024 гг.

№	Наименование	2020	2021	2022	2023	2024
Валовый сбор продукции, тонн						
1	Зерновые культуры (в весе после доработки), всего	9145,00	9326,00	10056,00	11414,00	9727,00
1.1	Пшеница	1144,00	1083,00	1678,00	1529,00	1376,00
1.2	Рожь	27,00	5,00	66,00	13,00	17,00
1.3	Ячмень	2338,00	2068,00	2150,00	2389,00	2082,00
1.4	Овёс	5635,00	6169,00	6162,00	7483,00	6252,00
2	Картофель	71178,00	69249,00	73547,00	72651,00	72722,00
3	Овощи открытого и закрытого грунта	26364,00	24709,00	26385,00	25141,00	25912,00
Урожайность, ц/га убранной площади						
1	Зерновые культуры (в первоначально-оприходованном весе)	10,2	9,6	11,1	10,3	9,1
1.1	Пшеница	7,4	8,5	11,5	10,3	8,3
1.2	Рожь	13,5	9,7	9,2	8,2	10,7
1.3	Ячмень	10,8	8,7	11,6	9,0	9,0
1.4	Овёс	10,7	10,1	10,8	10,8	9,3
2	Картофель	115,3	112,8	121,1	117,7	120,2
3	Овощи открытого и закрытого грунта по всем хозяйствам населения	186,7	162,2	170,6	161,6	171,1

Среднее значение валового сбора и урожайности за 2020-2024 гг. составляет:

– зерновые культуры – 9,93 тыс. т и 10,1 ц/га;

– картофель – 71,87 тыс. т и 117,42 ц/га;

– овощи открытого и закрытого грунта – 25,7 тыс. т и 170,4 ц/га [126].

Для повышения урожайности на посевных площадях, необходимо увеличить использование органоминеральных гуминовых удобрений местного производства, полученных на основе продуктов полной утилизации отходов животноводства.

1.1.2 Состояние животноводства в РС(Я)

Основными видами животных являются крупный рогатый скот, свиньи, лошади и северные олени.

Динамика состояния животноводства отражена в таблице 1.4 [125].

Таблица 1.4 – поголовье животноводства по РС(Я) с 2014-2024 гг.

	Коровы, тыс. голов	Лошади, тыс. голов	Свиньи, тыс. голов	Северные олени, тыс. голов
2014	79,9	167,6	27,8	177,1
2015	77,2	171,5	24,4	165,3
2016	75,3	176,6	23,8	156,0
2017	74,6	181,5	23,1	156,8
2018	74,2	184,2	23,4	154,6
2019	70,3	178,0	22,4	146,6
2020	70,7	183,0	21,6	152,1
2021	72,1	182,8	21,6	157,4
2022	74,0	182,6	18,3	163,4
2023	71,6	181,1	17,8	168,5
2024	67,6	178,9	15,0	171,6

В АПК деятельность ведется следующими видами хозяйств (таблица 1.5) [126]:

Таблица 1.5 – Состояние животноводства по РС(Я) по видам хозяйств за 2024 г.

№	Наименование хозяйств	Коровы, голов	Лошади, голов	Свиньи, голов	Северные олени, голов
1	Сельскохозяйственные предприятия	10666,00	34575,00	10031,00	163427,00
2	Хозяйства населения	38561,00	68005,00	3447,00	2052,00
3	Крестьянские (фермерские) хозяйства	18330,00	76358,00	1475,00	6116,00

Как видно из таблицы 1.5 поголовье свиней и поросят в сельскохозяйственных предприятиях составляет 10031 гол.

В таблице 1.6 отражен годовой объем образуемого свиного навоза, который рассчитан по данным 2024 г, на основе принятых методик [70,124].

Таблица 1.6 – Годовой объем образуемого свиного навоза (по данным 2024 года)

№	Наименование животных	Поголовье за 2024 год, голов	Среднее суточное производство отходов, кг	Годовое производство отходов, тыс. тонн.
1	Свиньи	14953,00	2,2-12	32,90-179,44

Таким образом, среднегодовой выход свиного навоза составляет порядка 32,90-179,44 тыс. т.

Известно, что применение соответствующей технологии переработки навоза животных позволяет сохранить полезные химические вещества и соединения, которые можно использовать в качестве органического или органоминерального удобрения.

В таблице 1.7 представлена классификация отходов животноводства согласно Федеральному классификационному каталогу [118].

Таблица 1.7 – Классификация отходов животноводства

№	Наименование отхода	Код по классификатору	Класс опасности отходов
1	Отходы животноводства	1 12 000 00 00 0	
2	Навоз крупного рогатого скота	1 12 110 00 00 0	
	Навоз крупного рогатого скота свежий	1 12 110 01 33 4	IV класс
	Навоз крупного рогатого скота перепревший	1 12 110 02 29 5	V класс
	Стоки навозные от содержания крупного рогатого скота обеззараженные, пригодные к использованию для улучшения качества почв	1 12 151 11 32 4	IV класс

3	Навоз конский	1 12 210 00 00 0	
	Навоз конский свежий	1 12 210 01 33 4	IV класс
	Навоз конский перепревший	1 12 210 02 29 5	V класс
4	Навоз свиней	1 12 510 00 00 0	
	Навоз свиней свежий	1 12 510 01 33 3	III класс
	Навоз свиней перепревший	1 12 510 02 29 4	IV класс
	Жидкая фракция сепарации свиного навоза при самосплавной системе навозоудаления	1 12 551 11 32 4	IV класс
	Твердая фракция сепарации свиного навоза при самосплавной системе навозоудаления	1 12 551 12 39 4	IV класс
	Жидкая фракция сепарации свиного навоза при смывной системе навозоудаления	1 12 551 21 32 4	IV класс
	Твердая фракция сепарации свиного навоза при смывной системе навозоудаления	1 12 551 22 39 4	IV класс
	Навозосодержащие стоки при гидроудалении навоза свиней	1 12 552 11 32 4	IV класс
	Стоки навозные при самосплавной системе навозоудаления свиней	1 12 552 12 32 3	III класс
	Осадок навозных стоков от свиарников при отстаивании в навозонакопителях	1 12 553 11 33 4	IV класс
5	Отходы содержания диких животных в неволе	1 12 990 00 00 0	
	Навоз диких животных, содержащихся в неволе, свежий	1 12 991 11 33 4	IV класс
	Навоз диких животных, содержащихся в неволе, перепревший	1 12 991 12 20 5	V класс

Как видно, из таблицы 1.7 свежий свиной навоз относится к отходам III класса опасности. Известно, что отходы III класса опасности – это умеренно опасные отходы, требующие восстановления окружающей среды на срок не менее 10 лет. К ним относятся дизельное топливо, цементная пыль, моторные смазки, медные провода, строительный мусор, ацетон, свиной навоз и птичий помёт, а также отработанные катализаторы и амальгамные лампы [118]. Следовательно, эти отходы должны утилизироваться, а не только перерабатываться. Поэтому рассмотрим существующие методы и способы переработки и утилизации навоза животных, проведем анализ их эффективности.

1.2 Существующие способы утилизации, обработки и переработки отходов животноводства

Выбор способа переработки навоза зависит от поставленных целей его использования и вида получаемого конечного продукта, с учётом особенностей и характеристик перерабатываемого сырья. Для выбора определенного способа и метода переработки навоза, необходимо руководствоваться следующими научно обоснованными принципами:

1. В составе навоза содержатся органические вещества, обладающие энергетическим потенциалом, в процессе разложения эти вещества высвобождают значительное количество энергии [7,69,80,88].

2. Целесообразно активно применять переработанный навоз как органическое удобрение. Переработанный навоз является источником питательных веществ для почвенной микрофлоры, их активность обеспечивает поддержание биохимических процессов в почве, способствует к образованию гумуса и повышения плодородия почвы [69].

3. Использование навоза без переработки не допускается, так как в нём содержатся болезнетворные бактерии и семена сорных растений [22,69,94,117,122].

4. Органические удобрения способствуют снижению использования минеральных удобрений, так как минеральные удобрения требуют значительных затрат сырьевых и энергетических ресурсов [96].

5. Переработка навоза должна рассматриваться с точки зрения экологической безопасности, повышения эффективности производства и снижения затрат на хранение отходов [69,96].

Основной задачей утилизации и переработки навоза является эффективное использование энергетических и удобрительных потенциалов навоза с соблюдением норм экологической безопасности.

Для переработки и утилизации навоза применяют физический, химический и биологический методы [3-5,7-9,10-12,14-20,22-27,40-49,53-67,69,73-81,83-84,86-94,96-97,99-101,113-114,117,120-123,127,132,136,137,140-156].

Физические методы переработки делятся на механические и тепловые.

Механический способ переработки применяется для удаления воды и разделения навоза на фракции. Для обезвоживания применяют способы отстаивания, фильтрования и центрифугирования. По степени воздействия на навоз процесс разделения бывает естественным и механическим. К устройствам естественного разделения навоза относятся отстойники, работающие под действием силы тяжести. Данные устройства могут применяться, когда влажность навоза выше 90%, так как при низкой влажности навоз находится в связном состоянии и может разделяться на фракции. К недостаткам данного способа можно отнести низкую производительность, большие габариты и высокую стоимость оборудования. Данное устройство может быть использовано в технологических линиях для разделения животноводческих стоков [10-11,16-17,26-27,69,87,120].

В некоторых животноводческих комплексах используют устройства для механического разделения навоза на фракции. Разделение на фракции производят с помощью фильтрующих машин и аппаратов для осаждения. Недостатком данного способа является высокая выходная влажность твёрдой фракции навоза. Достаточно качественного разделения навоза можно добиться применением шнековых сепараторов. В последнее время в качестве эффективного способа разделения навоза на фракции широко используется шнековый сепаратор, что подтверждается исследованиями и разработками многих ученых [10-11,16-17,75]. Так, в работе [10] обоснована разработка щеточного шнека для разделения жидкого навоза – в результате производится твердый навоз с влажностью 75%. Н.В. Бышовым с коллегами разработана концептуальная модель для оценки и повышения энергоэффективности переработки бесподстилочного свиного навоза в безопасное органическое удобрение [20]. В данной модели описывается структура энергозатрат и существующие ограничения на всех этапах утилизации. Разработанная модель служит основой для факторного анализа, создания статистических моделей, позволяющих оптимизировать процесс утилизации с достижением снижения энергопотребления.

Механические способы разделения навоза на фракции необходимо рассматривать как один из этапов при переработке навоза, так как они не обеззараживают

и имеют достаточно большую энергоёмкость. Навоз после разделения необходимо перерабатывать с использованием тепловых, химических и биологических методов.

Тепловые методы переработки предназначены для обеззараживания навоза. К ним относится высушивание, обработка паром и выпаривание. Высушивание навоза можно осуществить низкотемпературными и высокотемпературными способами. Низкотемпературное высушивание производится в естественных условиях для остановки брожения навоза. После данного способа переработки достигается снижение влажности без энергозатрат, снижается зловонный запах. Недостаток данного способа - не производится обеззараживание и при снижении влажности происходит потеря ценных веществ из навоза [69,97,114,122].

Высокотемпературное высушивание навоза выполняется на специальных установках. Достоинством данного способа является получение переработанного обеззараженного навоза, удобной для транспортировки и внесения в почву. Недостатком является большой расход горюче-смазочных материалов и высокая стоимость аппарата, которая ограничивает широкое применение данного способа [69].

В работе Спиридоновой А.В. обоснована технология биотермической конверсии твёрдых отходов животноводства пиролизным способом [136]. Отличие данного способа - при утилизации попутно образуется дополнительный источник энергии в виде пиролизного газа.

Американские учёные Ocfemia K.C.S., Fini E.H. [146,153] разработали технологию получения вяжущего материала из свиного навоза. Они преобразовали свиной навоз в бионефть с применением гидротермального процесса. Путем извлечения воды, бионефть разделяли на фракции – твёрдого остатка и органических соединений. Полученный вязкий клеобразный остаток применяли в качестве заменителя битумного вяжущего. Было обосновано, что применение органического материала улучшает низкотемпературные свойства битумного вяжущего.

В 2012 году Е. Х. Фини и др. путем сжижения под высоким давлением превращали свиной навоз в бионефть для дальнейшего использования в качестве битумного вяжущего при частичной замене нефтяного битума [149]. Добавление

битума на основе биомасла снижает характеристики связующего при высоких температурах и улучшает характеристики при низких температурах. Обосновано, что увеличение интервала способствует улучшению физико-механических характеристик битумного вяжущего.

При изучении битума из отходов свиноводства было выявлено, что полученный образец обладает большим количеством амидов. Известно, что амиды применяются для обработки каучука – они способствуют разрыву дисульфидной связи в каучуковый полимер, который также способствует взаимодействию между свободными радикалами и амидными группами в бионефти. Также были изучены физико-химические свойства и реологические свойства битума с резиной до и после модификации [148].

В 2014 году Мильс – Боле и соавторы применили анаэробный высокотемпературный метод сжижения при 380 °С под высоким давлением в 40 МПа для приготовления бионефти, получаемой из свиного навоза [152]. Бионефть добавляли в количестве 5% от массы битума. Для оценки влияния биомасла из свиного навоза на параметры битумного вяжущего проводились испытания на ротационную вязкость, на динамический сдвиг, изгиб балки реологический тест и тест FTIR. Исследования показали, что биомодифицированное вяжущее может улучшить свойства асфальтовых вяжущих и смесей к низкотемпературному растрескиванию. Добавление биосвязующих из свиного навоза снизило вязкость основного связующего.

В известных на настоящее время исследованиях по биосвязующим, источником в основном являются бионефти растительного происхождения, полученные пиролизным сжижением и бионефть на основе навоза животных, полученная методом сжижения под высокой температурой и давлением [147,151].

Также известны работы по получению битума из отходов свиноводства методом пиролиза при температурах 400 °С, 450 °С, 500 °С, 550 °С, 600 °С соответственно, а время пиролиза было установлено как 1 с и 2 с. То есть осуществляется быстрый пиролиз свиного навоза. Наибольший выход биобитума

в 45,1 % получен при температуре пиролиза 550 °С и времени пиролиза 1 сек. [154].

Группой исследователей получен модифицированный битум с добавлением биобитума из свиного навоза и резинового порошка. В качестве резины применяли резину от автомобильных покрышек [155].

В работе Х. Ванга обосновано, что асфальтовые вяжущие на основе лигнина имеют упрочняющий эффект с лучшими характеристиками на устойчивость к колебленированию и сниженными усталостными характеристиками [156].

По низкотемпературным свойствам и водостойкости у разных авторов были получены противоречивые результаты, это скорее всего зависит от различного происхождения лигнина. Битумные вяжущие с лигнином имеют меньшую температурную чувствительность и хорошую устойчивость к процессу окисления. Рассматриваемая технология термохимической конверсии свиного навоза приводит к образованию сложных органических соединений, которые невозможно применять в качестве удобрения, а возможно использовать только в качестве модифицирующей добавки для битума. Также для получения бионефти необходимо использовать дорогостоящее оборудование и необходимо затрачивать большое количество энергии.

Способ обработки навоза горячим паром. Данный способ обеззараживания навоза применяется на малых масштабах производства и при возникновении эпизоотии среди животных. Недостаток - требует значительных энергетических затрат, навоз после обработки становится влажным и разжиженным из-за пара. Также навоз можно обеззаразить с помощью автоклава, но при применении данного способа переработки требуется большой расход энергии [69].

Электрические методы обработки навоза (ВЧ-воздействие, электроосмос, электрохимическая коагуляция, электрофлотация, УФ-облучение) не получили широкого распространения из-за высокой стоимости оборудования, энергозатрат и необходимости квалифицированного персонала [69].

Химические методы обработки навоза используются исключительно для обеззараживания, снижения загрязнения и запахов, уничтожения бактерий.

Недостатками химического способа обработки навоза являются большие расходы и негативное воздействие химических веществ на окружающую среду [69,83,93,140,144]. В работе Успенского И.А. и др. рассматривается физико-химический способ обеззараживания бесподстилочного свиного навоза с добавлением пероксида водорода и ультразвуковым воздействием [140]. Проведена математическая оптимизация процессов обеззараживания, и достигнуто получение оптимальных параметров, которые обеспечивают соблюдение санитарно-эпидемиологических требований при минимальных затратах энергии.

В работе Лимаренко Н.В. [92] обоснован физико-химический способ обеззараживания бесподстилочного навоза, сформулирована концептуальная модель повышения энерго-экологической эффективности обеззараживания с использованием активаторов обеззараживания с стержневым и шаровым вихревыми слоями. Экспериментально доказана эффективность использования электромагнитного активатора для обеззараживания бесподстилочного навоза и навозных стоков. Обоснованы оптимальные параметры стержневого и шарового вихревых слоев активаторов для обеззараживания бесподстилочного навоза с влажностью 88-96 % и навозных стоков влажностью 98 % и выше. Разработана цифровая смарт система повышения эффективности обеззараживания бесподстилочного навоза [92].

Биологический метод переработки навоза по мнению многих исследователей является наиболее эффективным и перспективным [3-5, 7-9, 23-25, 40-49, 54-55,66-67,69,73-74,81,84,86,90,96-97,99-101,113,121,132,141-143]. Данный метод переработки навоза заключается в биохимическом разложении и минерализации органических веществ микроорганизмами, которые близки к естественным процессам разложения. При разложении сложных органических соединений, содержащихся в навозе, происходит минимизация загрязняющих веществ, с переходом в твёрдые нерастворимые соединения и образованием газообразных веществ. Биологические методы переработки навоза делятся на два вида – естественные и искусственные [3-5,7-9,69,90,121,141-143]. Естественным методом переработки навоза являются биохимические процессы, которые протекают в естественных

условиях. К ним можно отнести способы переработки в биологических прудах, лагунах и компостирование.

К искусственным методам переработки относятся переработка навоза в аэротенках, в метантенках, окислительных траншеях, анаэробных фильтрах и т.д) [3-5,7-9,17-18,23-27,40-49,54-55,66-67,69,90-91,96-97,99,121,127,141-143].

В зависимости от участвующих типов бактерий, биологические методы переработки делятся на аэробные и анаэробные [55,69,127].

Процесс компостирования навоза происходит в результате аэробного биохимического процесса разложения органических веществ. Разложение и обеззараживание навоза происходит в результате повышения температуры до 60 °С, что объясняется активностью термофильных аэробных микроорганизмов. К недостаткам данного способа можно отнести следующее - зависимость от климатических условий, длительная продолжительность процесса, большие потери питательных элементов и необходимость использования большого объема подстилки.

Из-за достаточно продолжительного периода низких температур метод компостирования в открытых площадках не применяется в условиях Республики Саха (Якутия). При проведении компостирования внутри помещения необходимо затратить большое количество теплоэнергии и нужны большие площади для размещения накопителей [46,69,73].

В естественных условиях применяется способ переработки навоза в биологических прудах, так как оно имеет относительно низкую стоимость. Для переработки данным способом необходимо обеспечить большой отвод земель для разработки пруда, процесс разложения протекает очень долго, существует риск промерзания при низких температурах наружного воздуха, высокое выделение зловонного запаха и загрязнение грунтовых вод [69].

Также для переработки навоза применяется способ аэробного разложения и осаждения органических веществ. Насыщение воздухом разжиженного навоза выполняется специальными компрессорами или механическими аэраторами. Механические аэраторы, благодаря гомогенизации жидкого навоза, способствуют насыщению воздухом, тем самым обеспечивается среда для образования

аэробных бактерий. Данный способ имеет недостатки, такие как снижение содержания азота, сложность конструкции, необходимость постоянной гомогенизации и большие энергозатраты [69].

Метод анаэробной переработки навоза, по мнению ученых Апажева А.К. [3-5], Баадер В. [7], Бадмаева Ю.Ц. [8], Васильева Ф.А. [23], Васильевой А.С. [24], Гайфуллина И.Х. [40-45], Гюнтер Л.И. [47-48], Друзьяновой В.П. [54-55], Зиганшина Б.Г. [40-45, 66-67], Ильина С.Н. [69], Ожигова В.П. [96-97], Осмонова О.М. [99], Панцхава Е.С. [100-101], Петрова Н.В. [113], Савватеевой И.А. [132], Фиापшева А.Г. [141-143] и др., считается перспективным и эффективным. При анаэробном разложении органические сложные соединения навоза преобразуются на смесь газов, которые в основном состоят метана (CH_4), углекислого газа (CO_2), известную как биогаз и органическое минерализованное удобрение – эффлюент. Анаэробная переработка навоза способствует его частичному или полному обеззараживанию, уничтожению гельминтов, устранению неприятных запахов и снижению жизнеспособности болезнетворных микроорганизмов.

Для осуществления анаэробного разложения навоза и навозных стоков применяются различные типы биореакторов, такие как метантенки и анаэробные фильтры. Важным условием эффективного протекания процесса является поддержание постоянной температуры, энергетические затраты на которое могут быть компенсированы за счет использования производимого биогаза. После анаэробного разложения в переработанном навозе улучшаются удобрительные свойства, так как происходит минерализация питательных веществ, без потери в окружающую среду. Достоинством способа анаэробного разложения является возможность переработки большого объема навоза, отсутствие необходимости использования химических веществ и снижение абсорбционной способности навоза. Также стоит отдельно отметить главное достоинство анаэробного способа переработки — это возможность снижения затрат энергии за счёт применения биогаза. Биогаз, полученный в результате анаэробного разложения, может быть преобразован в тепловую, электрическую и механическую энергию. Недостатком данного

способа переработки является образование большого объема жидкого переработанного навоза – эффлюента [55,69,74].

По результатам вышеприведенного анализа, сделаны следующие выводы: для эффективной утилизации навоза необходимо применять несколько способов переработки с обеспечением увеличения видов получаемых продуктов. По мнению учёных [3-5,7-9,23-24,40-45,47-49,54-55,69,74,81,90,96-97,99,100-101,113,121,132,141-143], в настоящее время остается эффективной и перспективной способ анаэробной переработки навоза, так как при данном способе достигается увеличение доли использования органических удобрений в растениеводстве с попутным получением альтернативного возобновляемого источника энергии – биогаза. Для повышения эффективности применения способа анаэробного сбраживания необходимо использовать модернизированные и высокоэффективные биореакторы (метантенки).

На данном этапе из свиного навоза по биогазовой технологии получают эффлюент и сопутствующий продукт – биогаз. Свиной навоз имеет отличительную особенность – высокую липкость. Это его свойство, как было показано выше, применено американскими учеными при разработке биобитума для изготовления асфальтобетонных смесей.

1.3 Общие сведения о свином навозе

1.3.1 Свойства свиного навоза

Свиной навоз является самым опасным из рассмотренных видов навоза сельскохозяйственных животных. В состав свиного навоза входят кал, вода, моча, остатки корма и выделений. По содержанию твёрдой фракции, свиной навоз делится на следующие типы [69]:

- навозные стоки, не более 3% твёрдых веществ;
- жидкий навоз, 3-8% твёрдых веществ;
- полужидкий навоз, 8-17% твёрдых веществ;
- полутвёрдый, 17-27% твёрдых веществ;
- твёрдый, от 27% и более твёрдых веществ.

Количество производимого навоза зависит от следующих факторов таких как: поголовье свиней и поросят, способ кормления, состав и качество кормов. Влажность навоза зависит от применяемого способа удаления навоза, соблюдения технологии содержания и доступности питьевой воды. По мнению некоторых исследователей, среднесуточное производство экскрементов эффективнее рассчитывать нормативными методами [8,24,69].

В свиноводческих предприятиях навоз удаляется гидравлическими и механическими способами [8,77,24].

Для механической очистки помещения применяют стационарное и передвижное оборудование. К стационарным оборудованьям относятся конвейеры различного типа, а к передвижным можно отнести различного типа бульдозеры и навесное оборудование для тракторов. Данный способ очистки применяется для небольших свиноферм и свинокомплексов.

Гидравлическая система очистки применяется для крупных свиноводческих предприятий. Данная система удаления имеет ряд преимуществ: снижение труда на очистку помещения, длительный срок работы систем очистки и помещение при уборке соответствует зоотехническим требованиям по содержанию животных. Гидравлические системы подразделяются на самотечные и гидросмывные.

Гидросмывные системы применяются на крупных свиноводческих предприятиях, содержащих более 54 тыс. голов свиней, так как используется достаточное количество технической воды.

Самотечные системы применяются для небольших предприятий, в которых разжиженный до 88-92 % влажности навоз удаляется по естественному уклону и поступает в навозную яму. Достоинством данного способа является использование небольшого количества воды для очистки. Недостатком данной системы является риск накопления осадков, образование мертвой зоны в торце последней секции канала для сбора навоза [8,24,77,79].

Использование воды для удаления значительно увеличивает объем жидкого навоза и навозных стоков, что усложняет возможность дальнейшего использования и переработки.

Свиной навоз состоит из смеси химических веществ, макроэлементов и биологических объектов. По составу свиной навоз не является однородным (рисунок 1.2) [8,24,69].

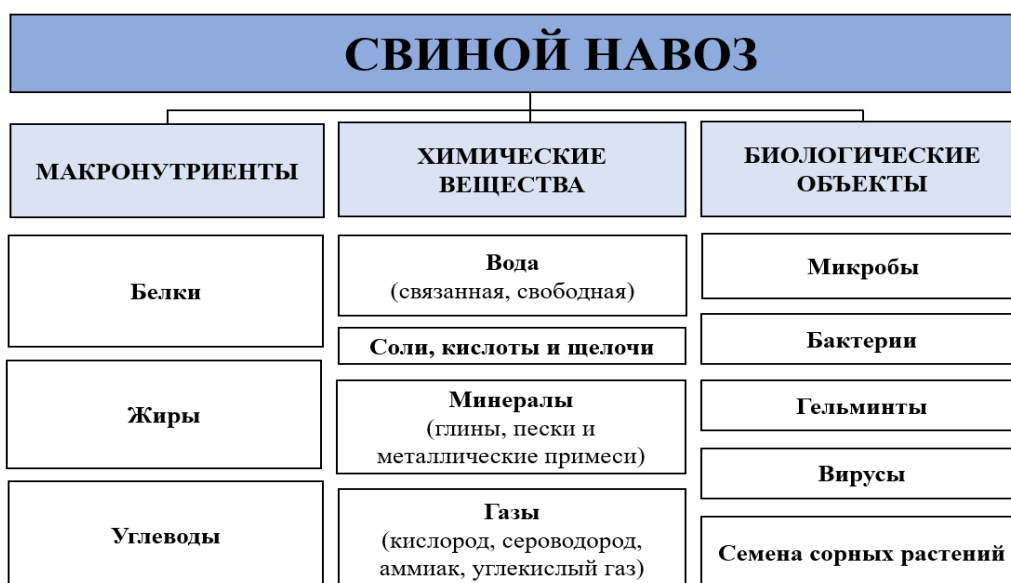


Рисунок 1.2 – Состав свиного навоза

Свиной навоз состоит из твёрдой, газообразной и жидкой фазы. Объем газообразной фазы незначителен, поэтому его наличием можно пренебречь, навоз можно представить виде двухфазной суспензии из жидкой и твёрдой фазы (рисунок 1.3).

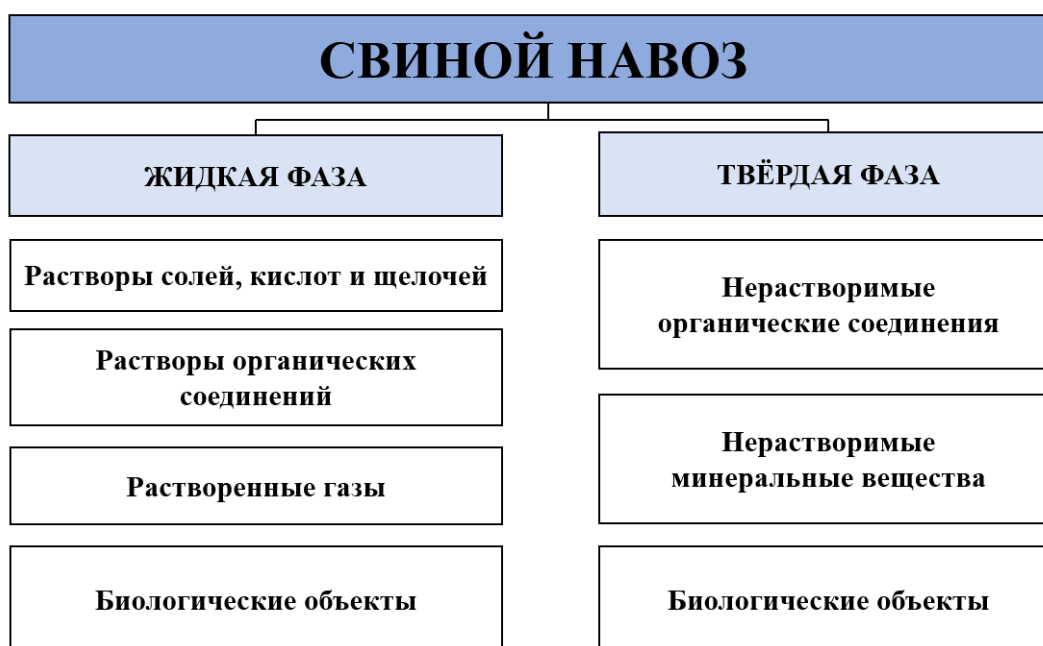


Рисунок 1.3 – Суспензия из свиного навоза

В состав жидкой фазы свиного навоза входят водные растворы органических веществ, щелочей, кислот и солей. Твёрдая фаза содержит нерастворимые органические примеси, кормов и минеральных веществ. Микроорганизмы присутствуют в обеих фазах [8,13,69].

Свиной навоз необходимо рассматривать по физическим, биологическим и химическим свойствам [8,24,69].

К физическим характеристикам свиного навоза относятся влажность, гранулометрический состав, плотность и вязкость. Влажность свиного навоза зависит от двух параметров от собственной влажности при выходе и степени разжижения. Степень разжижения зависит от способа удаления. Содержание твёрдой фракции свиного навоза находится в пределах 5-10% при механическом способе удаления, 2-4% при гидравлической системе удаления и 1-2% при гидросмыве. Также с увеличением содержания воды, концентрация питательных веществ снижается, с переходом навоза из связного в текучее состояние. В зависимости от степени увлажнения, средняя плотность составляет 1,05-1,10 г/см³[24,69].

Размер частиц свиного навоза зависит от способов кормления, рациона питания и половозрастной группы свиней и поросят. При кормлении свиней и поросят концентрированными кормами, содержание твёрдых частиц размером более 1 мм составляет 35-40%, в случае кормления многокомпонентными кормами содержание твёрдых частиц размером более 1 мм увеличивается до 60% [69,88].

Одним из важных физических характеристик являются реологические характеристики – вязкость и предельное сдвиговое напряжение. В зависимости от реологических характеристик производится выбор способа удаления, перемещения и внесения. Так при снижении температуры и влажности происходит увеличение вязкости и сдвигового напряжения, и наоборот при увеличении влажности и температуры наблюдается снижение вязкости и сдвигового напряжения [7,69].

Содержание химических элементов и соединений в свином навозе определяется следующими факторами: от влажности, возраста свиней и поросят, условиями размещения, рационом питания и условиями окружающей среды. Свиной навоз содержит химические вещества, которые способствуют росту

сельскохозяйственных культур. Составе свиного навоза содержится аммиачный азот, фосфор и калий в доступной для усвоения растениями форме. Содержание органического вещества в сухом веществе составляет 70-80% от массы. Органические вещества состоят из непереваренных химических соединений с высоким содержанием гемицеллюлозы, лигнина, клетчатки и углерода [69].

Биологические характеристики свиного навоза оказывают существенное влияние на окружающую среду, которая включает наличие болезнетворных бактерий, семян сорных растений и яиц паразитов. А также в свином навозе могут содержаться микроорганизмы, вызывающие туберкулез и сибирскую язву [96].

1.3.2 Польза и вред свиного навоза

Свиной навоз обладает энергетической ценностью, содержит белки, жиры и углеводы, которые при разложении анаэробными бактериями выделяют биогаз. После анаэробного сбраживания свиной навоз преобразуется в обеззараженный и обезвреженный эффлюент. Полученный эффлюент применяется в качестве органического удобрения, так как в нем содержатся микроэлементы, способствующие повышению плодородия почвы [8,24,69].

Микроэлементы, содержащиеся в эффлюенте, хорошо усваиваются растениями, так как после анаэробного сбраживания они переходят в доступные для растений формы. Твердая фракция эффлюента способствует улучшению структуры почвы, увеличивая удержание воды и питательных веществ. При регулярном использовании эффлюента повышается плодородие почвы и урожайность. Применение органических удобрений имеет экономическую эффективность, так как можно применять эффлюент из местных свиноводческих предприятий. Известно, что применение минеральных удобрений способствует повышению себестоимости выращиваемых сельскохозяйственных культур.

Не переработанный свиной навоз обладает отрицательными свойствами:

- зловонный запах, который вызывает дискомфорт и негативно влияет на окружающую среду;

- содержание патогенных микроорганизмов, представляющих серьёзную опасность для людей и животных;
- семена сорных растений, способные испортить площади для посевных культур.

Внесение в поля свиного навоза необходимо проводить после переработки, то есть после уничтожения болезнетворных патогенных микроорганизмов и семян сорных растений, и только в таком случае свиной навоз может приносить пользу для сельскохозяйственных культур [8,23-24,54,69].

1.4 Свиноводческие комплексы Центральной Якутии

В центральной Якутии функционируют два свиноводческих комплекса ООО «Хатасский свинокомплекс» (рисунок 1.4) и КХ ПТ «Сибирь», реализующее свинину под торговой маркой «Мархинское» (рисунок 1.5).



Рисунок 1.4 – Хатасский свинокомплекс



Рисунок 1.5 – Свиноводческий комплекс КХ ПТ «Сибирь»

Поголовье в ООО «Хатасский свинокомплекс» составляет порядка 6500 голов, а в КХ ПТ «Сибирь» примерно 6000 голов.

В свиноводческом комплексе «Сибирь» предусмотрено разделение навоза на твёрдую и жидкую фракции. Разделение на фракции производится с использованием навозного сепаратора марки Bauer 3.2-520 (рисунок 1.6).



Рисунок 1.6 – Шнековый навозный сепаратор марки Bauer 3.2-520

Жидкая фракция свиного навоза вывозится ассенизатором в станцию переработки сточных отходов. Твердая фракция навоза накапливается в теплом помещении, после сбора вывозится в специально отведенные площади на территории свиноводческого комплекса (рисунок 1.7). Отсутствует специальная подготовленная бетонированная площадка под хранение твёрдой фракции свиного навоза, таким образом почва загрязняется отходом [57].



Рисунок 1.7 – Твердая фракция свиного навоза после разделения

В ООО «Хатасский свинокомплекс» отсутствуют системы переработки. Свиной отход разбавляется водой в навозной яме, забирается ассенизаторами и вывозится в ближайший открытый полигон (лагуну), расположенной вблизи региональной автомобильной дороги «УМНАС» (РАД «УМНАС») (рисунок 1.8).

Таким образом, содержащийся в открытой лагуне навоз наносит огромный вред окружающей среде, что проявляется выделением зловонного запаха, вредных веществ. Зловонный запах свиного навоза особенно сильно проявляется в весенне-летний период, при езде по участку РАД «УМНАС». Также следует отметить, что жидкий навоз вносит негативную лепту в процесс оттаивания мерзлых грунтов [57,60,61,64].



Рисунок 1.8 – Открытая лагуна под жидкий свиной навоз

1.5 Биогазовая технология – эффективный способ переработки свиного навоза

По мнению многих исследователей [3-5,7-9,23-24,40-45,47-49,54-55,69,74,81,90,96-97,99,100-101,113,121,132,141-143], биогазовая технология является эффективной и перспективной технологией по переработке навоза животноводства.

1.5.1 Стадии анаэробного сбраживания

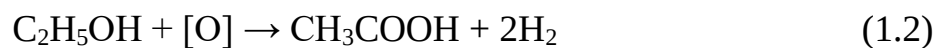
Технология анаэробной переработки свиного навоза сопровождается многоступенчатым процессом, который зависит от активности микроорганизмов, участвующих в определенной последовательности.

Процесс анаэробного сбраживания протекает в четырёх последовательных этапах [7,49,69,83].

Первым этапом анаэробного сбраживания является гидролиз. На стадии гидролиза происходит разложение сложных органических веществ до простых химических веществ аэробными микроорганизмами, находящимися в субстрате. На данном этапе происходит разложение полимеров в мономеры [7,69].

После этапа гидролиза происходит окисление, в котором происходит формирование органических кислот, в результате разложения мономерных соединений под воздействием кислотообразующих бактерий. На данном этапе образуются органические кислоты (муравьиная, уксусная, бутановая и пропановая), и химические вещества (этанол, метанол, сероводород, диоксид углерода и аммиак) [7,49,83].

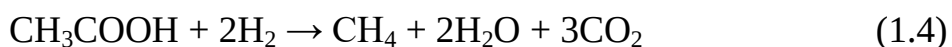
На следующей стадии происходит увеличение содержания уксусной и муравьиной кислот, в результате активации ацетогенных бактерий. Ацетогенные бактерии разлагают продукты образованные на этапе окисления, в котором происходит дегидрогенизация жирных кислот, с разложением спиртов в уксусную кислоту [7,49].



На данном этапе функционируют два вида ацетогенных бактерий, в котором первый вид бактерий производят уксусную кислоту из продуктов, образованных на стадии образования кислот с выделением водорода, а второй вид бактерий из водорода и углекислого газа образуют уксусную кислоту [7,49].



Далее наступает завершающая стадия анаэробного сбраживания – метаногенез, в котором метаногенные микроорганизмы производят метан, диоксид углерода и воду. Для активности метаногенных бактерий необходимо соблюдать строгие условия (должен отсутствовать кислород, pH 6-8 нейтральная или слабощелочная среда, наличие кобальта, молибдена или никеля в малых количествах), так как данные группы бактерий очень чувствительны к окружающей среде. Метаногенные группы бактерий получают энергию исключительно из формиата, монооксида углерода, метанола, этановой и уксусной кислоты, моно-, ди- и триэтаноламинов, при этом наиболее значимыми субстратами являются этановая кислота и диоксид углерода в сочетании с водородом [7].



При производстве метана ключевую роль играет уксусная кислота, содержание которой составляет более 70% от общего объема. Объем производимого метана напрямую зависит от количества произведенной уксусной кислоты [7,47-49,69].

1.5.2 Режимы анаэробного сбраживания

По температурным градиентам существуют три основных режима сбраживания (рисунок 1.9) [7,47,49,55]:

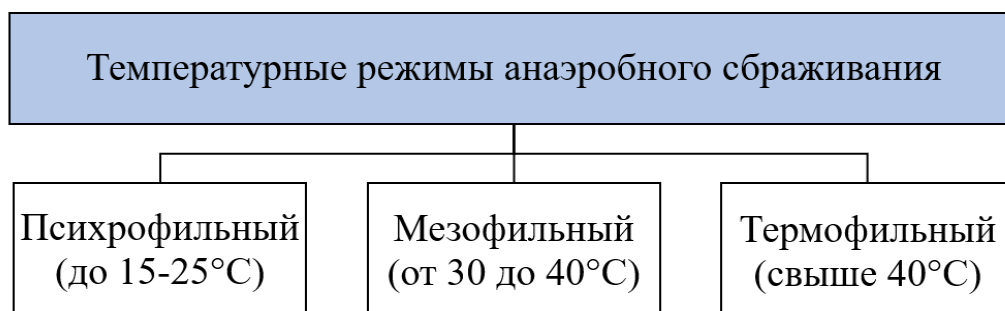


Рисунок 1.9 – Температурные режимы анаэробного сбраживания

Наибольшее распространение получили два температурных режима анаэробного сбраживания – мезофильный и термофильный.

Для мезофильного режима сбраживания установлены следующие требования:

- влажность субстрата от 85 до 92%;
- строгое поддержание температуры сбраживания;
- колебание температуры не более 2 °С.

Достоинством мезофильного режима являются стабильный выход биогаза: с 1 тонны свиного навоза выделяется 70-80 м³, сохранение питательных веществ в получаемом удобрении и достаточно быстрая скорость разложения субстрата. К недостаткам можно отнести недостаточное обеззараживание субстрата, высокая чувствительность к изменению температуры и затраты энергии на поддержание температуры [132].

К термофильному режиму анаэробного сбраживания устанавливаются более строгие требования по колебанию температуры. Термофильный режим анаэробного сбраживания имеет ряд достоинств такие как быстрая скорость разложения, высокий выход биогаза и полное уничтожение болезнетворных бактерий, содержащихся в субстрате. Недостатками являются более высокий расход энергии на поддержание температурного режима, высокая чувствительность к изменению температуры и низкое качество получаемых органических удобрений [132].

Процесс анаэробного сбраживания весьма чувствителен к изменению температуры. Для психрофильного режима перепад температур не должен быть выше ± 2 °С в час, для мезофильного режима не более ± 1 °С в час и для термофильного не более $\pm 0,5$ °С [25,132].

В термофильном и мезофильным режимах для соблюдения главного требования при анаэробном сбраживании необходимо постоянное поддержание температурного режима с затратой электроэнергии. Известно, что в мезофильном режиме для подготовки субстрата для сбраживания в предсбраживателе, затрачивается в 2 раза больше теплоты для нагрева сырья, чем при функционировании накопительной биогазовой установки в психрофильном режиме [54-55]. Обосновано,

что при обеспечении максимального периода ферментации с применением адаптированной естественной ассоциации микроорганизмов, содержащихся в навозе, можно добиться устойчивого выхода биогаза в психрофильном режиме работы биогазовой установки, что является оптимальным для условий животноводческих хозяйств Якутии [55,132].

1.5.3 Системы анаэробного сбраживания

Для анаэробного сбраживания применяют непрерывные, периодические и аккумулятивные системы, в котором каждая система существенно отличается по трудозатратам, к техническим требованиям по применению и эксплуатации [7,47,69].

В непрерывной системе анаэробного сбраживания субстрат загружается в метантенк непрерывно с удалением того же количества эффлюента, сколько было загружено.

В непрерывной (проточной) системе субстрат загружают в метантенк непрерывно или через короткие промежутки времени, с удалением того же объема шлама. Постоянный объем субстрата рассчитывается в соответствии с гидравлическими расчетами и временем пребывания массы в метантенке.

Периодическая система работы метантенков характеризуется прерывистым процессом, которая протекает не менее чем в двух одинаковых по размерам и форме метантенках. В случае ежесуточной загрузки свежего субстрата метантенки при образовании определенного количества шлама заполняются свежим субстратом и по истечении срока брожения опорожняются так, что в метантенке остается только затравочный шлам.

Метантенки накопительной системы отличаются тем, что накопление газа и шлама происходят в его рабочем объеме. Накопительная установка играет роль бродильной камеры и накапливает шлам до момента его опорожнения. Поэтому метантенк никогда не опорожняют полностью, остаток шлама служит катализатором для новой порции субстрата. При новом цикле работы производства биогаза достигается по истечении значительного времени [54-55].

В системах с попеременным использованием метантенков и системах с накоплением газа и шлама выработка газа происходит периодически. Кроме того, подобная технология требует увеличения объема метантенков для обработки. Преимуществом накопительной и периодической системы является то, что они не требуют, просты в эксплуатации, доступны в обслуживании и ремонте.

Непрерывный режим работы метантенков обеспечивает выход биогаза в течение всего периода эксплуатации. При обеспечении постоянной концентрации способного к брожению органического вещества, оптимальной температурой брожения и равномерного перемешивания массы, можно получить максимальный выход газа при непрерывном процессе газообразования.

Основным элементом любой технологии анаэробной переработки навоза являются метантенки различных конструкций [25,49,91,101]. Биогазовые установки можно разделить на твердофазные (метантенки) и жидкофазные анаэробные биореакторы (анаэробные фильтры). Анаэробная обработка в метантенках проводится при влажности 90-93% с выдерживанием в течении 5-50 суток и является традиционной при обработке твердой фазы навоза или органического отхода [25,101].

Выводы по главе 1, постановка цели и задач исследования

Проведенный анализ показал, что свиной навоз и навозные стоки представляют серьёзную экологическую опасность, требующую обязательного устранения. После правильной переработки свиной навоз может использоваться в качестве органического удобрения, но при ненадлежащей переработке может нанести непоправимый и ощутимый вред окружающей среде.

Для его полной утилизации необходимо применять комбинированный способ, когда в процесс задействованы несколько способов и видов переработки. На наш взгляд, наибольший эффект можно получить, используя анаэробную биогазовую технологию как основу.

Установлено, что существующие технологии переработки свиного навоза не обеспечивают полной его утилизации с получением товарных продуктов. Ввиду недостаточности и незавершенности процесса утилизации биогазовым сбраживанием, следует дополнительно применить методы и способы, позволяющие глубже переработать отходы с получением качественного удобрения, максимального объема биогаза и других новых целевых продуктов – улучшенного органоминерального гуминового удобрения и стабилизирующей добавки для изготовления асфальтобетонов.

Для эффективной утилизации в условиях Севера наиболее эффективно применять малые накопительные метантенки, работающие в психрофильном режиме, так как они имеют простую конструкцию и удешевляют процесс. Применяя их, можно добиться устойчивой работы анаэробного разложения органических отходов.

Поэтому для данного исследования поставлена следующая **цель**:

Разработка оригинального безотходного способа утилизации свиного навоза на основе биогазовой технологии, обеспечивающего минимизацию объемов жидкого удобрения и интенсификацию процесса анаэробного разложения в психрофильном режиме за счет введения в сбраживаемый субстрат жидкого эффлюента с активной колонией метаногенных бактерий.

Для достижения цели поставлены и сформулированы следующие задачи:

1. Уточнить производительность накопительной психрофильной биогазовой технологии переработки свиного навоза.
2. Обосновать замкнутый и безотходный способ утилизации свиного навоза на основе накопительной психрофильной биогазовой технологии и предложить его экономико-математическую модель.
3. Разработать динамическую модель нового способа утилизации свиного навоза, описывающую эффективность использования рециркуляционной жидкости эффлюента.
4. Дать технико-экономическое обоснование безотходному, замкнутому и энергосберегающему способу утилизации свиного навоза.

ГЛАВА 2. ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРОЦЕССА АНАЭРОБНОГО СБРАЖИВАНИЯ

2.1 Патентный поиск

Основным узлом в биогазовой технологии является биореактор - метантенк. Они бывают разной формы и размеров в зависимости от режима сбраживания и периодичности загрузки свежего субстрата и выгрузки эфлюента.

В изобретении [106] рассматривается устройство для анаэробного сбраживания сточных вод, используемое для очистки стоков промышленных предприятий и коммунального хозяйства – метантенк с биофильтром (рисунок 2.1).

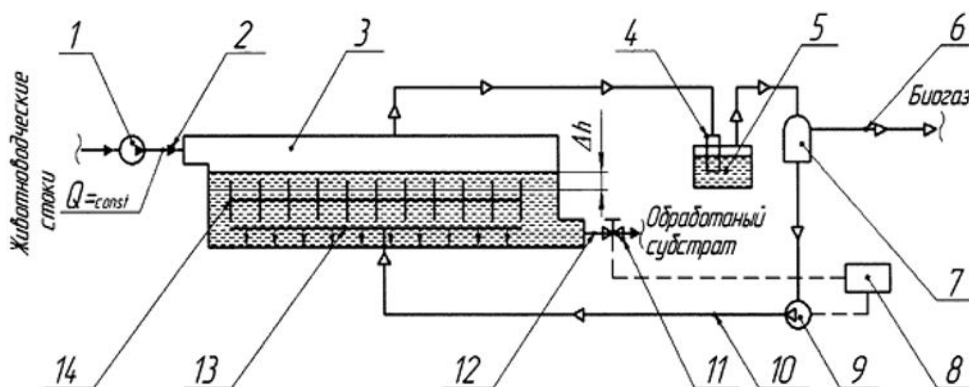


Рисунок 2.1 – Устройство для анаэробного сбраживания по [106]

Устройство состоит из подающего насоса (1), патрубка для подачи животноводческих стоков (2), емкости метантенка (3), патрубка для отвода биогаза (4), гидравлического затвора (5), патрубка для отвода биогаза (6), газгольдера (7), триггера (8), насоса для биогаза (9), патрубка для подачи биогаза (10), сливного вентиля (11), патрубка для отвода отработанного субстрата (12), перфорированных труб (13), иммобилизированного носителя (14).

Данное изобретение направлено на повышение эффективности работы метантенка с биофильтром путем создания дополнительных циклических возмущений в среду жидкого субстрата. Авторы отмечают, что при этом достигается максимальная гомогенизация субстрата, равномерное распределение метаногенов внутри субстрата,

Такого типа работы метантенк с биофильтром описан в изобретении [110]. Устройство предназначено для анаэробной переработки животноводческих стоков (рисунок 2.2).

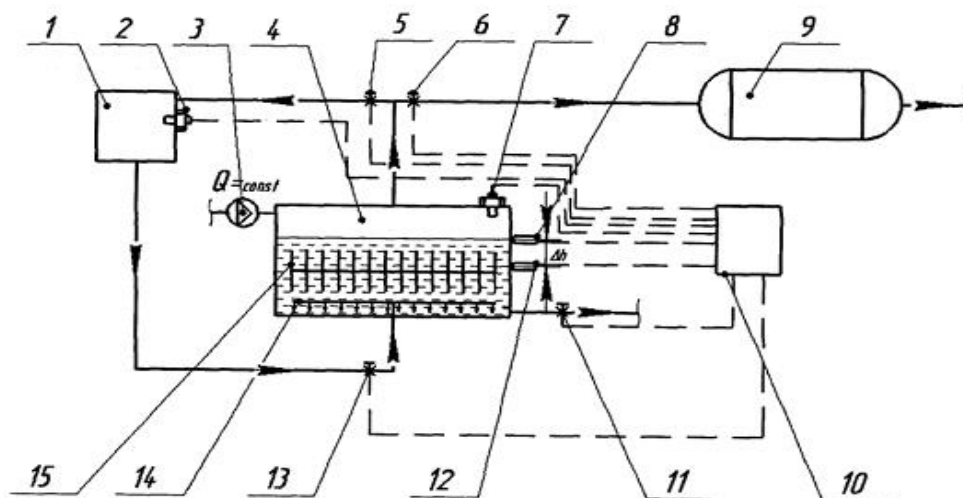


Рисунок 2.2 – Установка для анаэробного сбраживания животноводческих стоков по [110]

Биогазовая установка, представленная на рисунке 2.2 состоит из следующих элементов: 1 – буферная емкость, 2 – датчик давления буферной емкости; 3 – насос для подачи животноводческих стоков; 4 – метантенк с биофильтром; 5 – клапан подачи газа в буферную емкость; 6 – клапан подачи газа в газгольдер; 7 – датчик давления в полости метантенка; 8 – датчик верхнего уровня контроллера; 9 – газгольдер; 10 – контроллер; 11 – датчик нижнего уровня контроллера; 12 – вентиль слива отработанного субстрата; 13 – клапан подачи газа в перфорированную трубу; 14 – перфорированная труба; 15 – иммобилизатор.

Данное устройство предназначено для повышения эффективности переработки животноводческих стоков с внедрением системы автоматизированного управления. Авторы отмечают, что наличие буферной емкости обеспечивает процесс автоматического перемешивания, что позволяет значительно экономить энергию.

Вышеприведенные два метантенка с биофильтрами предназначены для применения на промышленных фермах и работают в мезофильном режиме – то есть, рабочая температура сбраживания от 32 °С. Соответственно, установки

весьма чувствительны к перепадам температур, мезофильные метаногенные бактерии требуют устойчивой теплой температуры для оптимальной жизнедеятельности.

Известно устройство, применяемое для получения сапропелевого концентрата с содержанием гуминовых кислот, направленный на получение органоминеральных удобрений, биологических добавок для косметических, лекарственных препаратов и фармацевтических изделий [102]. Сущность изобретения заключается в следующем: в реакционную емкость с ультразвуковым излучателем подается сапропель с влажностью не более 93%, в емкость подается зола в 2-10 % массовых частей на 100% массовых частей влажного сапропеля, который подвергается воздействию ультразвука с частотой 22-23 кГц и мощностью от 50-160 Вт на 1 дм³ в течение не менее 90 минут. В результате получают сапропелевый концентрат в жидком виде, также в виде суспензии и пасты. Но в данном изобретении не рассматривается сапропелевый концентрат ни в качестве модифицирующей добавки, ни в качестве способа для улучшения биогазовой технологии.

Исследователями СВФУ разработана полезная модель метантенка для применения в условиях малых фермерских хозяйств [112]. Устройство предназначено для переработки сельскохозяйственных отходов в органическое удобрение и биологическую добавку с попутным получением биогаза (рисунок 2.3) и работает в психрофильном режиме (когда метантенк дополнительно не подогревается и функционирует при температуре скотопомещения).

Установка для анаэробного сбраживания состоит из метантенка малого объема (1) с конусным днищем (2); сферического купола (3); опоры (4); цилиндрического теплоизолирующего кожуха (5); загрузочного патрубка (6); эластичного затвора – клапана (7); съемной крышки (8); патрубка для отвода биогаза (9); патрубка для выгрузки эфлюента (10); вентиля (11); датчика давления (манометра) (12); греющего кабеля (13); терморегулятора (14).

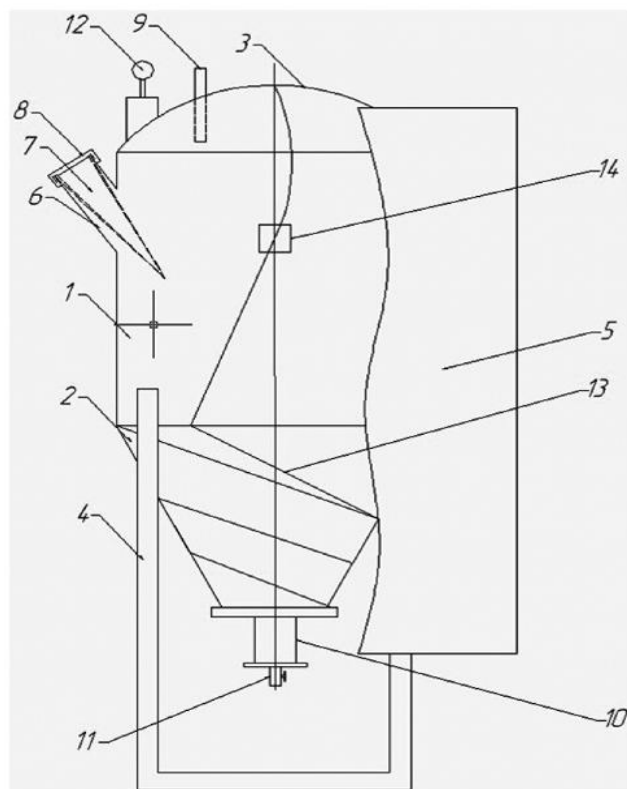


Рисунок 2.3 – Метантенк малого объема, работающая в психрофильном режиме [112]

Авторы подчеркивают, что установка направлена на обеспечение надежности и стабильности процесса анаэробной переработки, проста в изготовлении, эксплуатации и обслуживании. Отмечают, что максимальный объем метантенка должен составлять один - два кубических метра. Увеличение объема влечёт усложнения устройства – необходимо будет предусмотреть автоматизированную мешалку, систему поддержания равномерной температуры внутри метантенка и др. Обосновано, что метантенк стабильно и эффективно работает в психрофильном режиме анаэробного сбраживания.

Особенности животноводческого сектора региона в том, что фермы содержат в среднем 20 – 30 гол КРС, т.е. небольшие. Поэтому, применение в них промышленного оборудования по механизации трудоемких процессов нецелесообразно. Известна накопительная психрофильная технология Друзьяновой В.П., адаптированная с мезофильного режима на психрофильной для применения в условиях животноводческих хозяйств Якутии (рисунок 2.4) [54].

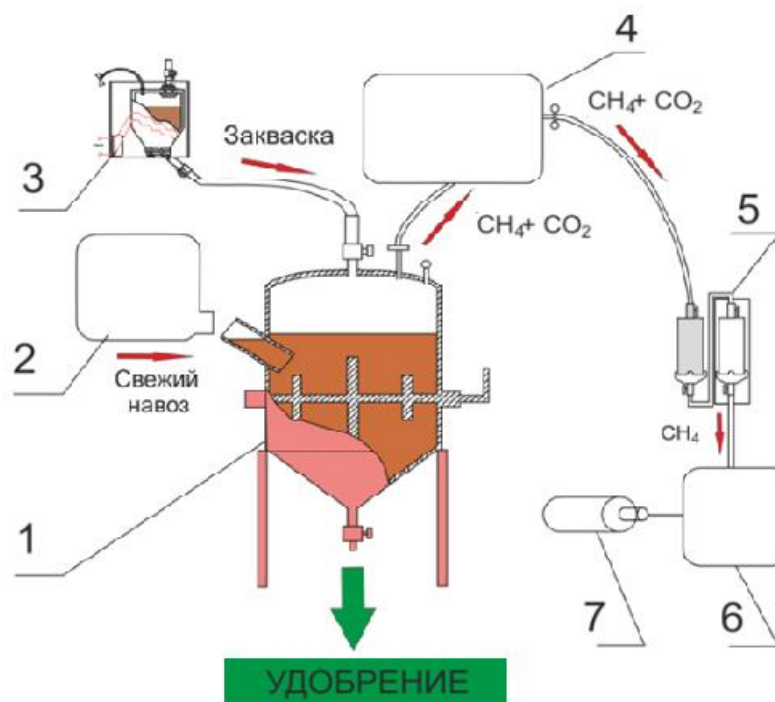


Рисунок 2.4 – Принципиальная схема накопительной психрофильной технологии анаэробной переработки бесподстилочного навоза КРС:
 1 – метантенк; 2 – емкость для гомогенизации нативного навоза с водой;
 3 – адаптационная установка; 4 – сухой газгольдер;
 5 – фильтр для очистки биогаза; 6 – компрессор высокого давления;
 7 – газовые баллоны

В начале процесса в установке 3 осуществляется адаптация мезофильных метаногенов к психрофильным условиям - подготавливается закваска, ускоряющая процесс анаэробного разложения свежего навоза КРС. В емкости (2) свежий навоз и вода гомогенизируются, подготавливается навоз для переработки. Далее из установки (3) в метантенк 1 подается закваска, а из емкости (2) на закваску загружается подготовленный свежий навоз. Биогаз – сопутствующий продукт анаэробного сбраживания - собирается в сухом газгольдере (4), откуда всасывается компрессором низкого давления (6). При этом проходит через фильтр с цеолитовым наполнителем (5) и очищается от вредных примесей – сероводорода, углекислого газа и паров воды. Очищенный биогаз компрессором 6 загружается в газовые баллоны (7). Перемешивание проводится механической мешалкой ежедневно в одно и то же время. Здесь достигается основная цель перемешивания - высвобождение образованного биогаза, перемешивание субстрата и бактерий (прививка), предотвращение участков разной температуры внутри метантенка,

обеспечение равномерного распределения популяций бактерий, предотвращение формирования пустот и скоплений, уменьшающих эффективную площадь метантенка. Таким образом, улучшение и ускорение процесса разложения субстрата в психрофильном режиме по данной технологии достигается путем добавки в сброживаемый субстрат активной метанобразующей колонии, для получения которой мезофильные бактерии постепенно адаптируются к психрофильным условиям. Доказано, что при этом процесс переработки интенсифицируется. Поэтому данную технологию возьмем за основу предлагаемого способа утилизации свиного навоза. На наш взгляд, технология требует упрощения и доработки в плане процесса добавления, внесения активных метаногенов в сброживаемый субстрат.

Как отмечалось в первой главе, основываясь на свойствах липкости свиного навоза, американские ученые разработали технологию производства из него биобитума для изготовления асфальтобетонов. В данном исследовании изучим и рассмотрим пути получения биобитума из свиного навоза, переработав его по биогазовой технологии. В этой связи, далее рассмотрены изобретения по стабилизирующим добавкам, применяющимся в щебеночно-мастичном асфальтобетоне.

В изобретении [104] рассматривается добавка, состоящая из стабилизирующего материала – минеральное волокно, имеющее капиллярную структуру в количестве 60-90 % по массе, резиновый порошок в количестве 5-20 % по массе и органическое связующее в количестве 5-20% по массе. Результатом изобретения является повышение удерживающего эффекта добавки и улучшение стабилизации битума за счет прессования в грануляторе.

Предложена стабилизирующая добавка для щебеночно-мастичного асфальтобетона [107], состоящего из целлюлозно-бумажных отходов в количестве 85% по массе, катионная битумная эмульсия 2 класса в количестве 9% по массе и отработанное синтетическое машинное масло в количестве 6% по массе. В результате достигнуто повышение прочности на сжатие при 50 °С и при 20 °С, трещиностойкости, сдвигоустойчивости, снижение водонасыщения и показателей стекания вяжущего.

Также следует рассмотреть изобретения по применению адгезионной добавки в битумных композициях.

В изобретении [103] рассматривается адгезионная добавка на основе маленинизированного таллового масла с малеиновым ангидридом в количестве от 10 до 30%. Талловое масло содержит смоляные и жирные кислоты в массовом соотношении 1,0:0,6-5,0%. Данная адгезионная добавка хорошо дозируется и распределяется в полимерно-битумной композиции. Результатом изобретения является повышенное сцепление с основными и кислотными минеральными наполнителями полимерно-битумной композиции с адгезионной добавкой.

В международной патентной базе имеется 1 изобретение, касающееся применения свиного навоза в качестве модифицирующей добавки и биобитумного вяжущего [111]. В ней описывается, что биоадгезивные компоненты получены из биомасла, из отходов животного происхождения, приведены способы приготовления биоадгезивных компонентов и область их применения. Данный полученный материал применяется не только в качестве адгезионной добавки, органического вяжущего и компонентов для обновления битумных вяжущих для рециклинга битума, но и в качестве материала для кровельных работ, стабилизации грунта, герметизации трещин и стыков. Предложенная технология получения биомасла предусматривает термохимическое сжижение свиного навоза под воздействием высоких температур, при котором получают легкие и тяжелые масла.

В вышеперечисленных работах отсутствует информация по биогазовым установкам, предназначенным для получения органоминеральных гуминовых удобрений, отсутствует информация по применению переработанных твёрдых отходов свиноводства в качестве модифицирующих добавок. Имеются несколько исследований, где содержится информация о применении свиного навоза в качестве битумного вяжущего после многостадийной глубокой переработки, но технология не раскрывается [111,146-156].

Таким образом, можно сделать вывод о том, что в настоящее время по биогазовой технологии путем переработки органических отходов производится жидкий эфлюент и попутный продукт – биогаз. Недостаточно изучен вопрос полной

утилизации свиного навоза с получением таких товарных продуктов, как органоминеральное гуминовое удобрение и структурирующая добавка для изготовления асфальтобетона.

2.2 Предлагаемый способ утилизации свиного навоза

Нами предлагается технологическая линия на основе известной накопительной психрофильной биогазовой технологии, позволяющая полностью утилизировать свиной навоз – один из наиболее агрессивных видов навоза животных [54-55].

Новое решение заключается в том, что жидкий эффлюент разделяется шнековым сепаратором на жидкую и твердую фракции. Жидкая фракция эффлюента – рециркулят, содержащий активную колонию метаногенных микроорганизмов, обратно подается в навозную яму для разжижения свежего отхода. При этом, процесс анаэробного разложения насыщается следующими положительными позициями:

- субстрат, загружаемый в метантенк на переработку, уже содержит активную метаногенную колонию. При попадании в емкость сбраживания они сразу начинают утилизацию органических веществ отхода, также ускоряется процесс размножения метаногенов с увеличением их концентрации в субстрате;

- ввиду использования рециркулята при подготовке субстрата, значительно уменьшаются объемы жидкого эффлюента, что снижает финансовую нагрузку предприятия на приобретение емкостей и сосудов, отведение и содержание дополнительных теплых помещений на складирование и хранение жидкого удобрения;

- использование рециркулята для разжижения отхода в навозной яме уменьшает расходы технической чистой воды;

- исключается применение ассенизаторов, поскольку отход полностью перерабатывается в созданной замкнутой системе – навоз утилизируется, не покидая помещения свиного комплекса;

– получаемый биогаз преобразуется через газогенератор в электроэнергию, потребляемую шнековым сепаратором при разделении жидких субстратов на фракции, тем самым экономится электроэнергия от сети;

– твердая фракция перерабатывается в новые виды товарной продукции – в гуминовое удобрение и стабилизирующую добавку для изготовления асфальтобетона.

Таким образом, организуется безотходное замкнутое и энергосберегающее производство, позволяющее производить 4 продукта – эфлюент, биогаз, органо-минеральное гуминовое удобрение (ОМГУ) и структурирующую добавку для изготовления асфальтобетона (СДА) (рисунок 2.5) [59-61,63].



Рисунок 2.5 – Блок-схема предлагаемого способа утилизации

В начале процесса, при запуске линии в работу, в навозной яме производится подготовка сбраживаемого субстрата – отход разбавляется водой. Готовый субстрат с влажностью 92-93% загружается насосом в метантенк, создаются анаэробные условия. Режим работы – накопительный, то есть сбраживаемый субстрат заполняет рабочий объем полностью, что составляет 2/3 части от общего объема метантенка. Далее происходит анаэробное сбраживание в накопительном метантенке с производством сопутствующего продукта – биогаза, который по газовому патрубку собирается в газгольдере, откуда компрессором накапливается в газовых баллонах.

Процесс начала, активной переработки и завершения анаэробного разложения прослеживается выходом биогаза. Когда метаногены только начинают появляться, образуется биогаз, не поддерживающий процесс горения – в составе биогаза преобладает углекислый газ CO_2 .

Эффективность процесса оценивается горючим биогазом – в его составе превалирует метан, CH_4 . В этом периоде переработка переходит в интенсивную фазу с увеличением объема горючего биогаза, который является продуктом деятельности метаногенных бактерий. Окончание процесса переработки показывает резкое уменьшение объема горючего биогаза, и метантенк опорожняется.

Переработанный, обеззараженный и обезвреженный субстрат - жидкий эффлюент сливается в емкость. Далее, жидкий эффлюент разделяется на жидкую и твердую фракции шнековым навозным сепаратором. Шнековый сепаратор запускается в работу на альтернативной электроэнергии, получаемой преобразованием биогаза через газовый генератор.

Жидкая фракция эффлюента (рециркуляционная жидкость, рециркулят), содержащая активную колонию метаногенов направляется в навозную яму для разжижения свежего свиного навоза.

Твёрдая фракция эффлюента поступает в емкость для щелочной экстракции гуминовых веществ, где осуществляется обработка 0,5-1,0%-ным раствором гидроксида калия. После щелочной обработки, экстракт поступает в шнековый навозный сепаратор для разделения на фракции: жидкая фракция – органоминеральное гуминовое удобрение (ОМГУ), а твёрдая фракция – сырье для приготовления стабилизирующей добавки для изготовления асфальтобетона (СДА) [53,57,59,60-61,63].

2.3 Математическое моделирование предлагаемой технологии утилизации свиного навоза

Сопутствующим продуктом технологической линии является биогаз - дополнительный источник энергии. В целях снижения энергозатрат, необходимых для работы сепаратора, биогаз генерируется в электрическую энергию. Поэтому

эффективность новой технологической линии оценим, приняв за основу производственно-технологические или энергетические затраты (ЭЗ).

Эффективность использования альтернативной электроэнергии будет достигнута только при снижении энергетических затрат на ее производство:

$$\mathcal{E}_3 = \sum(\mathcal{E}Q_{A\mathcal{E}} + H \cdot K_i) \rightarrow \min \quad (2.1)$$

где, $Q_{A\mathcal{E}}$ – себестоимость альтернативной электроэнергии, получаемой из биогаза, руб.;

H – нормативный коэффициент эффективности капиталовложений;

K_i – общие расходы на производство альтернативной электроэнергии, руб.

Савватеевой И.А. исследована и обоснована технология производства электроэнергии из биогаза, производимого в накопительном психрофильном режиме. Она отмечает, что в психрофильном режиме биогаз получается высокого качества – в составе метана более 80% и биогаз не требует дополнительной очистки. Обосновано, что устойчивую работу газового генератора на таком биогазе можно добиться путём подбора и установки жиклера газового генератора $d_{\text{ж}}$ определенного диаметра, обеспечивающего беспрепятственный проход биотоплива в камеру сгорания газогенератора [132]. Известны работы ученых, в которых обосновано - чем ниже температура сбраживания в биогазовой установке, тем качественнее получается биотопливо [54-55,132]. Поэтому, одним из значимых факторов является применяемый режим сбраживания, $P_{\text{СБР}}$. Он может быть психрофильным, мезофильным или термофильным:

$$d_{\text{ж}} = f(B_{\text{СГ}}, P_{\text{СБР}}) \geq [d_{\text{ж}}], \quad (2.2)$$

где, $B_{\text{СГ}}$ – качество биогаза;

$P_{\text{СБР}}$ – режим работы биогазовой установки.

Качество биогаза $B_{\text{СГ}}$, определяется соотношением в нем метана и углекислого газа. В качестве моторного топлива используется биогаз с содержанием метана более 80%. Это обеспечивает корректную и бесперебойную работу газового генератора. Данное и более высокое содержание метана в биогазе достигается при утилизации предварительно качественно подготовленного по составу

сбраживаемого сырья (ССС) и обеспечении наиболее оптимальных условий переработки в биогазовой установке путём управления значимыми факторами (УПФ)

$$B_{CT} = f(ССС, УПФ) \geq [B_{CT}], \quad (2.3)$$

где СССР – состав сбраживаемого сырья. Для эффективного разложения сбраживаемого сырья в метантенке, оно должно быть максимально измельчено и разбавлено водой до влажности 92-93%, представлять из себя гомогенизированную смесь. Процесс утилизации можно значительно интенсифицировать, если свежий навоз разбавлять жидкостью, содержащей колонию метаногенных бактерий;

- УПФ – наиболее значимые, управляющие процессом анаэробной утилизации факторы: вид и влажность сырья, скорость образования метаногенных бактерий и их концентрация в сбраживаемом субстрате;

- требуемый запас биогаза, W_a , который преобразуется в электрическую энергию

$$W_a = f(t_{OB}, W_{HAB}) \geq [W_a], \quad (2.4)$$

где, $[W_a]$ – допустимый запас биогаза в баллонах;

t_{OB} – время работы оборудования на альтернативной электроэнергии;

W_{HAB} – объем утилизируемого свиного навоза.

Требуемое количество альтернативной электроэнергии (биогазовой электроэнергии) для обеспечения работы газового генератора в общем зависит от следующих величин

$$\left. \begin{aligned} G &= f(d_{ж}; N_e) \rightarrow \max \\ W_a &= f(t_{OB}; W_{HAB}) \rightarrow \max \\ B_{CT} &= f(ССС; УПФ) \rightarrow \max \end{aligned} \right\} \quad (2.5)$$

где, G – мощность газового генератора, кВт;

$d_{ж}$ – диаметр жиклера для подачи биогаза в камеру сгорания генератора, мм;

N_e – полная мощность газогенератора, кВА.

Адекватное обоснование эффекта применения электроэнергии, сгенерированной от биогаза, возможно осуществить через следующие показатели, как энергетический эквивалент и энергосодержание, заключенные в получаемом гуминовом удобрении (ОМГУ). В первую очередь на величину энергетического эффекта

от полученного ОМГУ влияют: продолжительность времени работы технологической линии, имеющийся запас возобновляемого топлива (биогаза), конструктивная и эксплуатационная адекватность подбора диаметра жиклёра и мощность генератора, заложенная производителем. Эти перечисленные показатели формируют себестоимость получаемого ОМГУ, которая выступает как решающий параметр при оценке эффективности производства и применения биогазовой электроэнергии

$$C = \frac{\Xi_3}{Z} \rightarrow \min \quad (2.6)$$

где, Z – масса ОМГУ, т.

Эффективность производства биогазовой электроэнергии обеспечивается только в том случае, когда себестоимость её производства будет ниже, чем энергозатраты, затраченные на ОМГУ. Максимальная утилизация свиного навоза по новому предлагаемому способу с получением 4-х продуктов – эффлюента, биогаза, ОМГУ и СДА достигается только при соблюдении условия, когда:

$$\Delta\Xi = \Xi_k - \Xi_3 \rightarrow \max, \quad (2.7)$$

следовательно, при этом коэффициент эффективности (k) от использования биогазовой электроэнергии должен стремиться к единице

$$k_{\Xi} = \frac{\Xi_k}{\Xi_3} > 1, \quad (2.8)$$

где, Ξ_3 – стоимостные удельные энергозатраты на производство 1 м^3 возобновляемого топлива (биогаза), руб./ кВт·ч;

Ξ_k – энергетический эквивалент и энергосодержание в произведенном ОМГУ, руб./кВт·ч при сгорании 1 м^3 биогаза.

На величину стоимостного энергетического эквивалента оказывает влияние производительность газового генератора, G , кВт

$$\Xi_k = \Xi_n \cdot Z = \Xi_n \cdot G \cdot T_{\text{СЕП}} \quad (2.9)$$

где, Ξ_n – стоимостные затраты на обеззараживание и обезвреживание 1 т свиного навоза для получения эффлюента, руб.

$T_{\text{СЕП}}$ – время, затраченное сепаратором для разделения тонны эффлюента, ч;

$$\Xi_n = \Xi_T \cdot C_3 \quad (2.10)$$

где, Ξ_T – энергозатраты на обеззараживание на обеззараживание и обезвреживание 1 т свиного навоза для получения эффлюента, кВт·ч;

C_3 – стоимость 1 кВт·ч электроэнергии, выраженная в российских рублях, руб./кВт·ч.

Мощность газового генератора G , кВт, соответствующая текущему значению КПД (η_G), определяется по формуле:

$$G = \eta_{\text{ген}} \cdot N_e \quad (2.11)$$

где, η_G – значение КПД генератора; N_e – значение полной мощности двигателя газового генератора, кВА.

Процесс разделения свиного эффлюента сепаратором на жидкую и твёрдую фракции (A), на который направляется альтернативная электроэнергия, можно описать через производительность газового генератора

$$A = T_{\text{сеп}} \cdot G = G \cdot \frac{W_{\text{ББ}}}{W_{\text{ч}}}, \quad (2.12)$$

где, $W_{\text{ББ}}$ – запас биогаза, хранящегося в баллонах, м³;

$W_{\text{ч}}$ – часовой расход биогаза, м³/ч.

Достаточный запас биогаза, необходимый для бесперебойной работы сепаратора, зависит от устойчивой работы метантенка, обеспечивающейся наличием:

- постоянной положительной температуры помещения, $T_{\text{пом}}$, где расположено оборудование;

- исходного объема перерабатываемого навоза, V_H (санитарно-эпидемиологически положительного), который разбавляется рециркуляционной жидкостью эффлюента с содержанием жизнеспособных метаногенных микроорганизмов V_P , ускоряющих процесс анаэробного разложения утилизируемого отхода

$$W_{\text{ББ}} = f(V_H, T_{\text{пом}}, V_P), \quad (2.13)$$

Эффективность предлагаемого нового способа утилизации свиного навоза с получением 4-х продуктов – эффлюента, биогаза, ОМГУ и СДА, можно оценить

следующей экономико-математической моделью, в основе которой находится процесс производства и применения альтернативной электроэнергии из биогаза.

Тогда, в общем виде экономико-математическая модель оценки эффективности использования альтернативного топлива может быть представлена в следующем виде:

$$C = \frac{\Theta_z}{A} = \frac{\sum \Theta_{zi}}{A} \rightarrow \min, \quad (2.14)$$

Таким образом, себестоимость нового дополнительного продукта – ОМГУ из свиного навоза, будет зависеть от наличия оптимального запаса биогаза в баллонах $W_{ББ}, \text{м}^3$; его качества $B_{СГ}$; часового расхода биогаза сепаратором $W_{\text{ч}}, \text{м}^3/\text{ч}$; времени работы сепаратора, $\tau, \text{ч}$, объема рециркуляционной жидкости эффлюента с содержанием жизнеспособной колонии метаногенных психрофильных бактерий, $V_P, \text{м}^3$ и постоянной положительной температуры помещения, $T_{\text{Пом}}, ^\circ\text{C}$ где расположен метантенк:

$$C = f(W_{ББ}, M_B, W_{\text{ч}}, \tau, V_P, T_{\text{Пом}}) \quad (2.15)$$

Савватеевой И.А. обосновано, что устойчивая работа газогенератора обеспечивается при следующих значениях основных факторов: температуре среды $T_{\text{окр}} = 14-27 ^\circ\text{C}$; давления в газгольдер-компрессоре 3-4 кПа; диаметре жиклера при входе в генератор $d_{\text{ж}} = 40 \text{ мм}$ [132].

Известно, что из метантенка объемом 1 м^3 выгружается 530 кг эффлюента и с 1 м^3 биогаза получается около 2 кВт·ч электроэнергии [132].

2.4 Динамическая модель процесса анаэробной утилизации субстрата, разжиженного рециркуляционной жидкостью от эффлюента

Эффективность работы биогазовой установки в психрофильном режиме зависит от скорости роста и развития метаногенных бактерий.

В работе [55] рассматривается кинетическая кривая роста популяции метаногенных бактерий, представленная на рисунке 2.6. Говорится о том, что кинетическая кривая роста метаногенных микроорганизмов имеет сложный характер.

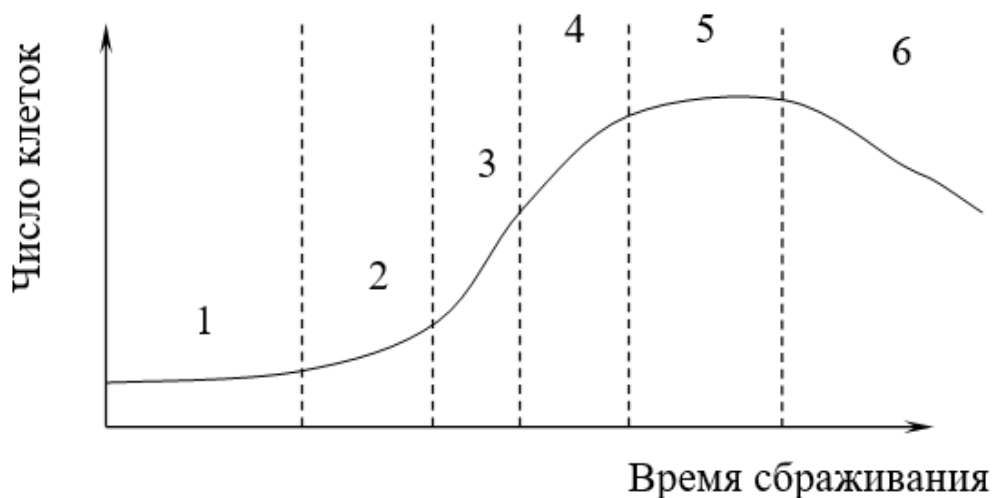


Рисунок 2.6 – Кинетическая кривая роста популяции метаногенных микроорганизмов: 1 – индукционный период (лаг-фаза); 2 – фаза экспоненциального роста; 3 – фаза линейного роста; 4 – фаза замедления роста; 5 – стационарная фаза; 6 – фаза отмирания культуры.

Автор работы [54] пишет, что в психрофильном накопительном режиме можно добиться оптимального разложения органического вещества при соблюдении следующих условий:

- при увеличении времени выдержки субстрата в метантенке;
- при интенсификации процесса анаэробного сбраживания, когда в момент запуска процесса переработки отхода в метантенке уже имеется работоспособная концентрация метаногенных бактерий.

Основываясь на последнее заключение, нами предлагается интенсифицировать процесс анаэробного сбраживания путем ввода рециркуляционной жидкости эффлюента в сбраживаемый субстрат, а именно – разбавлением свежего отхода в навозной яме не водой, а жидкой фракцией, содержащей колонию метаногенных бактерий.

Таким образом, достигается увеличение скорости лаг-фазы 1, что прямо пропорционально будет способствовать качественному улучшению фаз

экспоненциального и линейного роста метаногенов (рисунок 2.7). Соответственно, укоротятся фазы 4, 5 и 6. В итоге, общая продолжительность сбраживания также сократится.

Для математического описания данного процесса, разработана динамическая модель, отражающая ввод рециркуляционной жидкости эффлюента в сбраживаемый свежий навоз. За основу взята система дифференциальных уравнений, составленная Друзьяновой В.П., для психрофильного накопительного режима сбраживания [54]:

$$\frac{dT}{d\tau} = (\mu - \tilde{\mu})T \quad (2.16)$$

$$\frac{dS}{d\tau} = \tau j_s T - V - \tilde{V} \quad (2.17)$$

$$\frac{dP}{d\tau} = \tau j_p T - M + \tilde{M} \quad (2.18)$$

где, T - концентрация биомассы, $\text{кг}/\text{м}^3$; S - концентрация субстрата, $\text{кг}/\text{м}^3$; P - концентрация продукта (биогаза), $\text{м}^3/\text{м}^3$; μ - удельная скорость роста биомассы, сут^{-1} ; $\tilde{\mu}$ - удельная скорость метаболизма, сут^{-1} ; j_s, j_p - удельные скорости разложения субстрата и образования продукта, сут^{-1} ; $V, \tilde{V}, M, \tilde{M}$ - скорости различных стадий процесса.

Следует отметить, что уравнения (2.16 – 2.18) описывают процесс анаэробного сбраживания в стационарном жидком субстрате, находящемся в рабочем объеме метантенка. Они не учитывают ввод колонии работоспособных метаногенов в сбраживаемый субстрат – то есть, влияния рециркуляционной жидкости эффлюента. Для учета этого эффекта в уравнения баланса (2.16 – 2.18) необходимо ввести дополнительные составляющие.

Первое уравнение (2.16) описывает скорость образования метаногенов в субстрате, разведенном на воде, и не учитывает привнесения извне метаногенных бактерий. Поэтому вводим динамические составляющие, учитывающие вынос метаногенов с потоком $-\frac{Q}{V}T$ и их поступление с рециркуляционной жидкостью эффлюента, $\frac{Q_R}{V}T_R$. Получим:

$$\frac{T_{уд}}{\tau_{уд}} = (\mu - \tilde{\mu})T_0 - bT_0 - \frac{Q}{V}T_0 + \frac{Q_R}{V}T_R, \text{ м}^3/(\text{м}^3 \cdot \text{сут}), \quad (2.19)$$

Второе уравнение (2.17) дано для описания состояния сбрасываемого субстрата и не учитывает динамику расхода питательных веществ, поэтому добавляем коэффициенты – потребления субстрата $-kST$, выноса субстрата $-\frac{Q}{V}S$ и поступления субстрата $\frac{Q_R}{V}S_R$. Получим

$$\frac{S_{уд}}{\tau_{уд}} = -kST - \frac{Q}{V}S + \frac{Q_R}{V}S_R, \text{ м}^3/(\text{м}^3 \cdot \text{сут}), \quad (2.20)$$

Третье известное уравнение (2.18) - уравнение баланса биогаза, также не раскрывает динамику появления, накопления биогаза, поэтому требует раскрытия путем включения коэффициента образования биогаза $Y\mu T$ и его отведения из рабочей емкости метантенка $-\frac{Q}{V}P$. Получим

$$\frac{P_{уд}}{\tau_{уд}} = Y\mu T - \frac{Q}{V}P, \text{ м}^3/(\text{м}^3 \cdot \text{сут}), \quad (2.21)$$

где,

$\mu = \mu_{\max} \frac{S}{K + S}$ - скорость роста метаногенов [8];

$\mu_{\max} = 0,12 \text{ сут}^{-1}$ – максимальная скорость роста метаногенов ($0,12 \text{ сут}^{-1}$);

$K = 0,4 \text{ кг/м}^3$ - константа полунасыщения для свиного навоза;

k – скорость потребления субстрата метаногенами ($0,12 \text{ м}^3/\text{кг} \cdot \text{сут}$);

Y – выход биогаза с 1000 кг субстрата ($30 \text{ м}^3/\text{кг}$);

Q – подача свежего субстрата ($0,032 \text{ м}^3/\text{сут}$);

Q_R – расход рециркуляционной жидкости от эффлюента ($0,016 \text{ м}^3/\text{сут}$);

V – объем метантенка ($1,5 \text{ м}^3$);

$T_R = 0,6 \text{ кг/м}^3$ - концентрация метаногенов в рециркуляционной жидкости эффлюента;

$S_R = 20 \text{ кг/м}^3$ - концентрация субстрата в 1000 кг рециркуляционной жидкости эффлюента;

b – скорость отмирания метаногенных бактерий ($0,025 \text{ сут}^{-1}$)

Для решения полученной системы дифференциальных уравнений (2.23), (2.24) и (2.25) используем метод Эйлера (2.22). Данный метод является численным методом первого порядка точности для решения обыкновенных дифференциальных уравнений с заданными начальными условиями:

$$y_{n+1} = y_n + h \frac{y_{y\partial}}{\tau_{y\partial}} \quad (2.22)$$

где, y_{n+1} - новое значение переменной; y_n - текущее значение переменной; h - шаг интегрирования (1,0 сут); $\frac{dy}{d\tau_n}$ - производная в точке n .

Для биомассы метаногенов:

$$T_1 = T_0 + h \frac{T_{y\partial}}{\tau_{y\partial}}, \text{ кг/м}^3 \quad (2.23)$$

Для сбраживаемого субстрата:

$$S_1 = S_0 + h \frac{S_{y\partial}}{\tau_{y\partial}}, \text{ кг/м}^3 \quad (2.24)$$

Для кинетики биогаза:

$$P_1 = P_0 + h \frac{P_{y\partial}}{\tau_{y\partial}}, \text{ м}^3/\text{м}^3 \quad (2.25)$$

Начальные условия ($\tau = 0$): $T_0 = 0,2 \text{ кг/м}^3$ – концентрация метаногенов в свежем навозе; $S_0 = 67,0 \text{ кг/м}^3$ – концентрация органических веществ в субстрате; $P_0 = 0 \text{ м}^3/\text{м}^3$ – биогаз отсутствует в начале процесса.

Суточный выход биогаза определяется по известной формуле 2.26 – произведение концентрации биогаза в метантенке на объемный расход:

$$V_{\text{биогаз}} = P_i \cdot Q, \text{ м}^3/\text{сут} \quad (2.26)$$

На основании справочных данных и экспериментальных результатов произведены расчеты по ожидаемым параметрам процесса, осуществляемого предлагаемым способом.

Расчеты проведены для 21 сутки выдержки субстрата в метантенке и результаты сведены в таблицу 2.1.

Таблица 2.1 – Теоретический общий выход биогаза из 1,00 м³ субстрата свиного навоза приготовленной на рециркуляционной жидкости эффлюента

Шаг	τ , сут	T , кг/м ³	S , кг/м ³	P , м ³ /м ³	T_R , кг/м ³	S_R , кг/м ³	μ , сут ⁻¹
0	0,0	0,20	67,0000	0	0,6	20	0,12
1	1,0	0,2191	63,4738	0,7268	0,6	20	0,11927
2	2,0	0,2395	60,0003	1,4993	0,6	20	0,11923
3	3,0	0,2611	56,5839	2,3202	0,6	20	0,11918
4	4,0	0,2841	53,2296	3,1926	0,6	20	0,11913
5	5,0	0,3085	49,9422	4,1195	0,6	20	0,11908
6	6,0	0,3344	46,7272	5,1043	0,6	20	0,11901
7	7,0	0,3619	43,5901	6,1504	0,6	20	0,11895
8	8,0	0,3912	40,5368	7,2614	0,6	20	0,11887
9	9,0	0,4222	37,5730	8,4412	0,6	20	0,11878
10	10,0	0,4552	34,7046	9,6938	0,6	20	0,11869
11	11,0	0,4901	31,9377	11,0234	0,6	20	0,11858
12	12,0	0,5272	29,2778	12,4342	0,6	20	0,11845
13	13,0	0,5666	26,7305	13,9307	0,6	20	0,11831
14	14,0	0,6082	24,3010	15,5177	0,6	20	0,11815
15	15,0	0,6524	21,9939	17,1997	0,6	20	0,11796
16	16,0	0,6992	19,8134	18,9816	0,6	20	0,11775
17	17,0	0,7487	17,7630	20,8682	0,6	20	0,11750
18	18,0	0,8010	15,8454	22,8641	0,6	20	0,11721
19	19	0,8562	14,0623	24,9739	0,6	20	0,11687
20	20,0	0,9144	12,4145	27,2018	0,6	20	0,11648
21	21,0	0,9758	10,9017	29,5514	0,6	20	0,11601

Как видно из таблицы 2.1, разведение свежего навоза рециркуляционной жидкостью эффлюента позволяет увеличить концентрацию метаногенов в начале процесса с 0,2 до 0,98 кг/м³. Среднесуточный выход биогаза при этом составит ~ 1,40 м³. Процесс стабилизируется на 5-6 сутки. Метод Эйлера обеспечивает устойчивое численное решение системы дифференциальных уравнений [58].

Общий выход биогаза теперь рассчитываем для 0,8 м³ эффлюента, который планируем загрузить в метантенк. В таблице 2.2 представлены результаты расчетного общего выхода биогаза из 0,8 м³ эффлюента, по формуле 2.26.

Таблица 2.2 – Общий выход биогаза из 0,8 м³ эффлюента

τ, сут	P, м ³ /м ³	τ, сут	P, м ³ /м ³	τ, сут	P, м ³ /м ³
1,0	0,58	8,0	5,81	15,0	13,75
2,0	1,2	9,0	6,75	16,0	15,17
3,0	1,86	10,0	7,75	17,0	16,68
4,0	2,55	11,0	8,81	18,0	18,27
5,0	3,29	12,0	9,94	19,0	19,95
6,0	4,08	13,0	11,14	20,0	21,73
7,0	4,92	14,0	12,4	21,0	23,61

Из таблицы 2.2 видно, что расчетный общий выход биогаза составляет 23,61 м³. Среднесуточный расчетный выход биогаза равен 1,12 м³ [58].

2.5 Общие сведения о гуминовых удобрениях

Гумус – совокупность органических соединений темного цвета, непосредственно определяющих почвенное плодородие. Основными источниками для получения гумусовых веществ являются торф и бурый уголь, отличающиеся высоким их содержанием, вследствие чего они являются главным источником для получения гуматов. По составу гумусовые вещества являются гетерогенными, то есть содержатся компоненты различной степени гумификации [1,15,19,89, 98,123,138].

Гумус в почве образован из гуминовых органических соединений. Данные органические соединения стоит рассматривать как структурные элементы макромолекул, составляющие гумус. Гуминовые вещества относятся в особый класс природных азотсодержащих органических соединений с высокой молекулярной массой. Гуминовые вещества извлекаются из органогенных пород путём щелочной экстракции [98].

Гумусовые вещества состоят из следующих компонентов – фульвовых и гуминовых кислот.

Гуминовая кислота – это органическое вещество, являющее продуктом разложения органических веществ, которая имеет длинную молекулярную цепь и большую молекулярную массу [123]. Гуминовые кислоты растворяются в щелочной среде, но не растворяются в сильных кислотах, которые имеют рН ниже 2 [123]. Гуминовые кислоты имеют средний молекулярный размер с молекулярной массой находится в пределах 5000-10000 Да (дальтон). Содержание кислорода составляет 33-36% и азота 4%. [123]. Гуминовые кислоты в водном растворе характеризуются насыщенным темно-коричневым цветом, а в обезвоженном виде – черным. Несмотря на некоторые различия, молекулярная структура фульво- и гуминовых кислот имеет общие черты. Обе группы этих соединений относятся к высокомолекулярным азотсодержащим органическим кислотам [98].

Фульвовые кислоты имеют светлый оттенок, повышенный степень окисления и малую долю углерода по сравнению с гуминовыми кислотами, а также большая растворимость в воде. Цветовая гамма фульвовых кислот варьируется от светло-желтого до насыщенного оранжевого или темно-красного цвета. К фульвовым кислотам относят кислоторастворимые органические соединения, которые остаются в водной среде после осаждения гуминовых кислот. Процессе трансформации гуминовых веществ фульвовые кислоты можно рассматривать, как исходные компоненты образования гуминовых кислот или результатов их распада [98,123].

Гумусовые кислоты при активном взаимодействии с минералами имеют способность высвобождать из их структуры такие элементы как алюминий, железо, марганец, медь и др. Высвобожденные элементы вступая в реакцию с гумусовыми кислотами, образуют мобильные хелатные комплексы, также эффективно растворяют фосфат-ионы [98,123].

Для экстракции из природных объектов используются водные растворы гидроксида натрия (NaOH) и гидроксида калия (KOH). Гуминовые вещества широко применяются в сельском хозяйстве в качестве агрохимических препаратов. Получаемый при экстракции гидроксидом натрия продукт называется гуматом натрия, а при экстракции гидроксидом калия – гумат калия. В растениеводстве лучше

всего применять гуматы, извлеченные из торфа, так как они богаты растворимыми легкоусвояемыми компонентами. Гуматы полученные из леонардита, имеют меньшую растворимость и подвижность, его используют для топливной отрасли с целью устранения нефтяных загрязнений. В таблице 2.3 представлены сведения о гуматах из торфа и леонардита [1,15,123].

Таблица 2.3 – Гуматы из торфа и леонардита

№	Получение гуматов из торфа	Получение гуматов из леонардита
1	Для получения гумата, используют водный раствор гидроксида калия	Для получения гуматов используется раствор гидроксида натрия.
2	Они легче минерализуются в почве, более доступны для растений	Тяжелее минерализуются в почве, они менее доступны для растений
3	Содержат больше фульвовых кислот, которые растворяются в воде и доступны для растений	Большее содержание гуминовых кислот и меньше содержание фульвовых кислот, менее доступны для растений
4	Не содержат токсичных примесей, которые могут накапливаться в почве	Могут содержать токсичные примеси, накапливаемые в почве

Гуматы применяются для повышения плодородия почв, улучшения их структуры и насыщения легкодоступными органическими соединениями. Эффективность гуматов обусловлена наличием в их составе гуминовых кислот, аминокислот и микроэлементов.

Гуминовые соединения стимулируют активность микроорганизмов, способствуя оздоровлению почвы, сохраняют влагу в засушливые периоды и увеличивают буферную способность почвы. Содержащиеся в гуматах гумусовые кислоты обладают высокой обменной активностью благодаря разнообразию органических соединений, участвующих в ионообменных реакциях с анионами и катионами. Функциональные группы гумусовых кислот распределены по всей длине молекул, при этом кислородсодержащие группы играют важнейшую роль. Гуминовые соединения содержат устойчивые свободные радикалы, оказывающие значительное влияние на взаимодействие с другими молекулами и биологическое воздействие. Гуминовым кислотам присущи свойства поверхностно-активных веществ, выраженные сильнее, чем у фульвокислот [1,15,19].

Участвуя в различных окислительно-восстановительных процессах, гуминовые соединения благоприятно воздействуют на дыхательную функцию растений.

Гуминовые соединения, вовлеченные в разнообразные окислительно-восстановительные реакции, благоприятно влияют на дыхательную функцию растений. Улучшение интенсивности дыхания способствует более эффективному синтезу органических веществ. После поглощения растениями, клетки используют гуминовые вещества для стимуляции окислительно-восстановительных ферментных систем, влияя на кислородный обмен и увеличивая энергетический потенциал для роста. Гуминовые вещества активируют ферменты, которые участвуют в фотосинтезе. Ускорение процесса фотосинтеза связана с ускорением транспортировки и перераспределения питательных элементов внутри растения.

Биореакционная активность гуминовых веществ проявляется в обеспечении поступления биофильных элементов в живые организмы в виде металлоорганических комплексов, включая хелаты. Эти вещества способствуют обогащению растений минеральными элементами, в том числе катионами железа, калия, меди, кальция, магния и другими макро- и микроэлементами. Гуминовые вещества способны участвовать в детоксикации ксенобиотиков, повышать устойчивость растений к воздействию ионизирующего излучения, нейтрализовать вредное воздействие нефтяных загрязнений и пестицидов, ослаблять ингибирующее последствие гербицидов и уменьшать их накопление в растениеводческой продукции. Проникая в растения, гуминовые вещества облегчают транспортировку питательных веществ, снижают поверхностное натяжение и вязкость растворов, а также проявляют антикоагулянтные свойства [1,19].

Фульвокислоты в свою очередь работают на снижение вязкости плазмы, замедление плазмолиза клеток растений и поддержку необходимой степени гидратации плазматических коллоидов, и уровень обводненности. Гуминовые вещества активизируют метаболические процессы в растениях и стимулируют рост тканей [1,21,123]. У растений, благодаря изменению селективности клеточных мембран, усиливается поглощение воды и питательных элементов. Растения способны

поглощать и усваивать гуминовые вещества, что позволяет им экономить энергию, при этом улучшается общее состояние и снижается восприимчивость к заболеваниям [1].

В работе Тетерина В.С. рассматривается способ производства органоминеральных и комплексных удобрений на основе торфа, сапропели, биогумуса и бурого угля, который позволяет повысить эффективность технологического процесса и качественные показатели получаемых удобрений [137]. Сырье проходит предварительную подготовку, затем подвергается щелочной экстракции и кавитационному диспергированию до момента прекращения активного образования солей гуминовых и фульвовых кислот. Затем в суспензию органоминеральных удобрений проходит очистку. Для получения комплексных удобрений в очищенное органоминеральное удобрение вводят питательные микроэлементы.

2.6 Битумы и асфальтобетоны

2.6.1 Битумы для приготовления асфальтобетонных смесей

Битумы в составе асфальтобетонных смесей выполняют функцию связующего элемента, который между собой соединяет минеральные зерна щебня. Кинетическая кривая роста метаногенных микроорганизмов имеет сложный характер (гравия), песка и минерального порошка, подобранных в определенных соотношениях, при охлаждении смеси они формируют прочный каркас.

Битум по химической структуре, состоит из сложной дисперсной системы, состоящей из высокомолекулярных углеводородов, полученных из нефти. Он обычно содержит от 80% до 87% циклических углеводородов, от 10% до 12% алифатических, от 5% до 10% кислорода, от 2% до 5% серы и до 3% азота [85,128-131]. Однако ключевое значение битума определяется не только его элементным составом, но и групповыми компонентами, которые определяют его физические и механические характеристики:

- масла, содержащиеся в битуме, обеспечивают текучесть и подвижность битума;

- смолы улучшают адгезию к минеральным и органическим поверхностям, улучшают внешний вид и повышают водостойкость;
- карбены приводят к нестабильности вязкости и хрупкости материала;
- асфальтеновые кислоты обеспечивают хорошее сцепление с минеральными заполнителями;
- парафины снижают пластичность и увеличивают хрупкость.

С учетом этих компонентов битум следует рассматривать как коллоидную дисперсную систему на основе нефти, где асфальтены выступают в качестве дисперсной фазы, а масла и смолы – в качестве дисперсионной среды. Соотношение этих компонентов оказывает непосредственное влияние на эксплуатационные характеристики: увеличение доли асфальтенов приводит к повышению твердости, снижению температуры размягчения и увеличению хрупкости, а увеличение доли масел делает битум более мягким и удобным при использовании. Увеличение содержания смол положительно сказывается на растяжимости и эластичности материала [139].

Традиционные органические нефтяные битумы не отвечают требованиям по долговечности и надежности дорожных покрытий. В результате воздействия высоких температур в летний период и низких температур в зимний период битумы в асфальтобетонах подвержены к старению, растрескиванию и деформациям. Для решения вышеперечисленных проблем в настоящее время на основе вязких нефтяных битумов разрабатываются полимербитумные вяжущие, которые расширяют диапазон пластичности, улучшают сцепление битумных вяжущих с минеральными заполнителями, эксплуатационные характеристики, замедляют процессы старения и усталости битумного вяжущего [65,71-72,95].

В связи с вышеперечисленной ситуацией в настоящее время необходимо найти технические и научные решения по решению задач расширению методов модификации дорожных битумов, включая использование вторичных ресурсов, таких как переработанные животноводческие навозы, что открывает новые возможности для модификации асфальтобетонных смесей, эксплуатируемых в условиях I дорожно-климатической зоны [59-60].

2.6.2 Классификация асфальтобетонных смесей в Российской Федерации

В настоящее время в России существуют 4 основных вида асфальтобетонных смесей:

- асфальтобетонные смеси и асфальтобетон плотного типа, предназначенные для автомобильных дорог общего пользования [36,38] и [33] предназначенный для автомобильных дорог необщего пользования, аэродромов, площадей, дворовых территорий и промышленных предприятий;
- щебеночно-мастичные асфальтобетонные смеси для автомобильных дорог общего пользования [37];
- холодные асфальтобетонный смеси [33,39].

Представленные выше типы асфальтобетонных смесей в основном предназначены для автомобильных дорог общего пользования и улиц для населенных пунктов. На протяжении многих лет на территории стран бывшего Советского Союза применялся асфальтобетон по ГОСТ 9128, который применялся для автомобильных дорог, площадей, аэродромов и территорий промышленных предприятий.

Классификация смесей и асфальтобетонов по маркам, указанным в таблице 2.4, производится на основе их физико-механических характеристик и используемых материалов для смесей приготовленных по [33].

Таблица 2.4 – Виды и типы асфальтобетонных смесей и асфальтобетонов по [33]

№	Вид и тип асфальтобетонов	
	Горячей укладки	Холодной укладки
1	Высокоплотная марка I	Бх, Вх марки I, II
2	Плотные	Гх марки I, II
3		Дх марки II
4		
5	Пористые марки I, II	Высокопористые щебеночные марки I
6	Высокопористые щебеночные марки I	
7	Высокопористые песчаные марки II	

Для проектирования асфальтобетонной смеси и дальнейшего определения физико-механических характеристик выбрана горячая мелкозернистая асфальтобетонная смесь марки II тип Б по [33]. На рисунке 2.7 представлен гранулометрический состав минеральной части выбранной асфальтобетонной смеси.

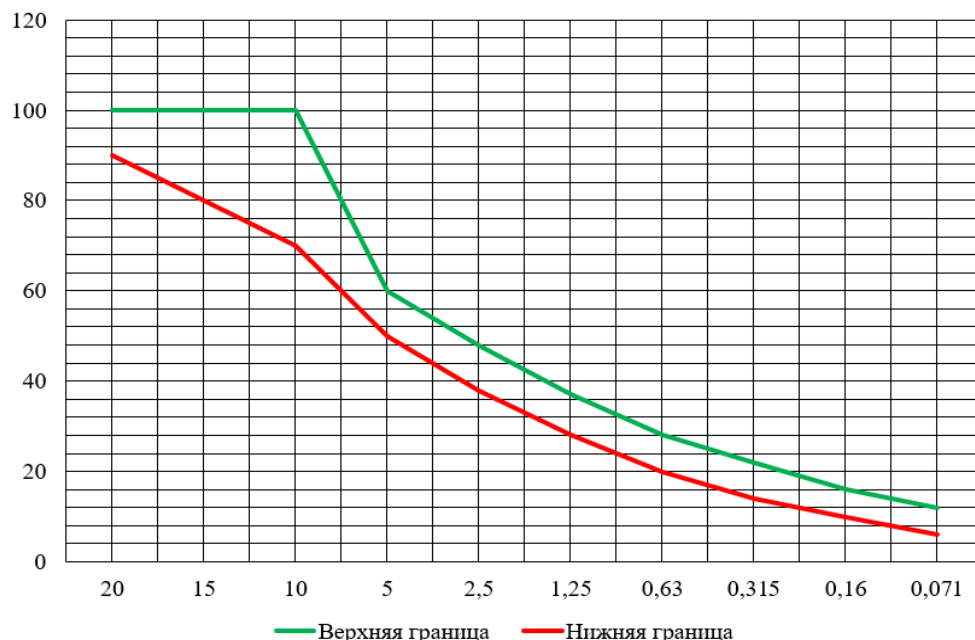


Рисунок 2.7 – Верхняя и нижняя граница гранулометрического состава горячей мелкозернистой асфальтобетонной смеси марки II тип Б по [33].

В таблице 2.5 представлены сведения требуемых физико-механических характеристиках для выбранного типа асфальтобетонной смеси по [33] эксплуатируемой в условиях Крайнего Севера.

Таблица 2.5 – Требования к физико-механическим характеристикам горячей мелкозернистой асфальтобетонной смеси марки II тип Б по [33]

№	Физико-механические характеристики	Ед. изм.	Требуемые значения
1	Предел прочности на сжатие при 50 °С	МПа	$\geq 0,9$ МПа
2	Предел прочности на сжатие при 20 °С	МПа	$\geq 2,2$ МПа
3	Предел прочности на сжатие при 0 °С	МПа	$\leq 10,0$ МПа
4	Коэффициент водостойкости не менее	-	$\geq 0,9$
5	Сдвигоустойчивость по коэффициенту внутреннего трения	-	$\geq 0,8$
6	Сцепление на сдвиг при температуре 50 °С	-	$\geq 0,31$
7	Трещиностойкость по пределу прочности на растяжение при расколе при 0°С	МПа	2,5-6,0
8	Водонасыщение лабораторных образцов асфальтобетона	% по об.	1,5-4,0

Для выбранного типа асфальтобетонной смеси пористость минеральной части находится в пределах 14-19%. Температура отгружаемой асфальтобетонной смеси на вязком нефтяном дорожном битуме марки БНД 100/130 должна находиться в пределах $145 \pm 5^\circ\text{C}$.

В таблице 2.6 представлены требования к применяемым дорожно-строительным материалам, предназначенных для приготовления асфальтобетонной смеси.

Таблица 2.6 – Требования к применяемым материалам [33]

№	Наименование компонента	Наименование физико-механической характеристики	Значение
1	Щебень из осадочных пород	Содержание зерен лещадной и игловатой формы	$\leq 25 \%$
		Дробимость из осадочных пород, не ниже	$\geq M800$
		Устойчивость на истирание, не ниже	$\geq И2$
		Морозостойкость, не ниже	$\geq F50$
2	Природный песок и песок из отсевов дробления щебня	Дробимость, не ниже	$\geq M600$
		Содержание глинистых частиц определенная методом набухания, не более	0,5 %
3	Минеральный порошок	по ГОСТ Р 52129-2003	
4	Битумы нефтяные дорожные вязкие	по ГОСТ 22245-90, ГОСТ 33133-2014	

Для уменьшения факторов разрушения асфальтобетонного покрытия проводятся работы по улучшению структуры и свойств битумных вяжущих вводом модифицирующих добавок.

Модифицирующие добавки для органических битумных вяжущих и композиций на основе нефтяных битумов имеют следующую классификацию [6,50,68,82,115,128-131,135]:

1. По назначению модифицирующие добавки делятся на два вида – функциональные и технологические. Функциональные добавки модифицируют свойство или несколько свойств битумных вяжущих, которая отражается на физико-механических и эксплуатационных характеристиках асфальтобетона. К ним можно отнести добавки на основе полимеров, структурирующие добавки и

наномодифицирующие добавки. Технологические добавки используют для изменения технологических свойств битума и асфальтобетонной смеси, которые оптимизируют технологические процессы производства асфальтобетонных смесей и достигаются стандартные показатели асфальтобетонных смесей. К данным типам добавок можно отнести адгезионные добавки на основе ПАВ, добавки для понижения температуры приготовления асфальтобетонной смеси и добавки для снижения старения битумов.

2. По способу ввода модифицирующие добавки делятся на вводимые в вяжущее и вводимые в асфальтобетонную смесь. Первый тип модифицирующих добавок вводится в битум до подачи смеситель асфальтобетонной смеси, готовится в отдельном технологическом производстве с получением модифицированного битумного вяжущего. Второй тип модифицирующих добавок вводится непосредственно в смеситель асфальтобетонной смеси до подачи битума. К ним можно отнести гранулированную резину, резиномтермоэластопласты (РТЭП), водные растворы латекса, стабилизирующие добавки с дополнительными модификаторами [50].

Разрабатываемая модифицирующая добавка относится к модификаторам, вводимым в состав асфальтобетонной смеси для структурирования асфальтобетонной смеси.

Выводы по главе 2

Традиционные биогазовые технологии не позволяют полностью утилизировать свиной навоз, так как они образуют большой объём жидкого эффлюента, для которого пока нет эффективных способов хранения и высушивания.

Перед анаэробным сбраживанием свиной навоз разбавляют технической водой для создания оптимальных условий работы метаногенных бактерий. Сейчас нет технологий, позволяющих использовать жидкую фракцию эффлюента (рециркулят) для приготовления свежего субстрата. Рециркуляционная жидкость эффлюента с активной колонией метаногенных бактерий способен заметно ускорить и повысить эффективность процесса в метантенке.

Разработана экономико-математическая модель, основанная на себестоимости получаемого органоминерального гуминового удобрения, позволяет оценить эффективность предлагаемого способа утилизации свиного навоза с использованием альтернативного электричества.

Разработана динамическая модель, которая, опираясь на справочные данные, позволяет рассчитать ожидаемый выход биогаза от субстрата, подготовленного на рециркуляционной жидкости эффлюента. Биогаз, как основной индикатор эффективности анаэробного разложения, выступает ключевым параметром оценки технологии.

В ходе проведения патентного поиска было установлено, что отсутствуют способы по получению жидких органоминеральных гуминовых удобрений с одновременным получением сырья для производства модифицирующих добавок для битума – новых продуктов, обеспечивающих повышения рентабельности предлагаемого способа утилизации навоза на основе накопительной психрофильной биогазовой технологии.

Таким образом, предлагаемый способ утилизации позволит не только расширить перечень товарной продукции, но и поможет организовать безотходное, замкнутое и энергосберегающее производство.

ГЛАВА 3. ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

3.1 Общая методика экспериментальных исследований

Программа проводимых исследований состоит из следующих этапов:

Первый этап. Для лабораторных исследований отобраны образцы свиного навоза от свиней-хряков Хатасского свиного комплекса, и запущена лабораторная биогазовая установка (БГУ), представленная на рисунке 3.1. БГУ работает в накопительном психрофильном режиме при температуре помещения 16...18 °С.



Рисунок 3.1 – Лабораторная биогазовая установка, работающая в психрофильном режиме:

1 – метантенк; 2 – заливная горловина;
3 – сливная горловина с шаровым краном; 4 – газгольдер для хранения биогаза

Свежий свиной навоз разжижается водой до влажности 92-93 %, затем загружается в рабочий объем метантенка (1), что составляет $\frac{2}{3}$ от его общего объема. Создаются анаэробные условия для развития метаногенных бактерий. Процесс анаэробного разложения отслеживается накоплением биогаза в газгольдере (4). Выход горючего биогаза – показатель установившегося процесса анаэробной утилизации навоза [64].

Второй этап. Запуск пилотной линии предлагаемого способа на субстрате, разведенном на воде. Общий вид пилотной линии представлен на рисунке 3.2.



Рисунок 3.2 – Общий вид пилотной линии:

1–ёмкость для подготовки субстрата; 2–шаровый кран; 3–погружной насос со шлангом; 4– метантенк объемом 1,5 м³; 5–патрубок для загрузки субстрата; 6–патрубок для выхода биогаза; 7– газгольдер; 8–патрубок выгрузки эффлюента; 9–ёмкость для сбора эффлюента с тканевым фильтром; 10–компрессор; 11–гибридная газовая электростанция; 12–центрифуга для разделения на фракции; 13–ёмкость для сбора жидкой фракции эффлюента; 14–щелочной реактор для экстракции гуминовых веществ.

Третий этап. Биогаз преобразуется через газогенератор в электрическую энергию. На альтернативном электричестве запускается в работу сепаратор для разделения эффлюента на жидкую и твердую фракции:

Четвертый этап. Твердая масса эффлюента подвергается щелочному воздействию 0,5-1,0 % раствором гидроксида калия в реакторе для получения органоминерального гуминового удобрения (ОМГУ).

Пятый этап. Запуск пилотной линии на субстрате, приготовленном на рециркуляционной жидкой фракции эффлюента. Технологическая схема линии показана на рисунке 3.3.



Рисунок 3.4 – Органоминеральное гуминовое удобрение (ОМГУ)



Рисунок 3.5 – Структурирующая добавка
для асфальтобетона (СДА)

СДА – новый продукт, требующий дополнительных исследований для обоснования ее применения в качестве модификатора для производства асфальтобетонных смесей. Для исключения накопления влаги в процессе хранения в состав СДА добавляется всесезонное гидравлическое масло марки ВМГЗ-45.

3.2 Применяемые приборы, аппаратура и оборудование для проведения эксперимента

Для проведения исследований были применены следующие виды приборов, аппаратуры и оборудования, представленные в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Перечень приборов, аппаратуры и оборудования для проведения эксперимента

№	Наименование оборудования	Внешний вид	Технические характеристики
1	Лабораторная биогазовая установка		Устройство: 1 – метантенк; 2 – заливная горловина; 3 – сливная горловина с шаровым краном; 4 – газгольдер для хранения биогаза.
2	Накопительный метантенк		Устройство: 1 – стальной цилиндрический бак; 2 – патрубок загрузки субстрата свиного навоза; 3 – патрубок выгрузки эффлюента; 4 – патрубок отвода биогаза.
3	Сепараторная установка марки Bauer 3.2-520		Устройство: Масса аппарата 540 кг. Электромотор мощностью 5,5 кВт. Производительность: 5-15 м ³ /ч. Размеры сит с ячейками 0,25 мм. Содержание твердых частиц до 38%.

4	Насос Fancy 100WQ50-7-2.2/2		Устройство: Масса насоса: 51 кг Мощность: 2,2 кВт·ч Производительность: 65 м³/ч. Напряжение питания: 380 В. Частота тока: 50 Гц. Тип электродвигателя: трехфазный. Вид насоса: центробежный. Тип насоса: погружной. Максимальное рабочее давление: 6 бар. Максимальный напор: 16 м. Трубное соединение: фланцевое.
5	Компрессор для закачки биогаза в баллон Coltri MCH-6/ET		Электродвигатель: трехфазный Мощность двигателя: 2,2 кВт·ч Напряжение: 380 В Частота: 50 Гц Частота оборотов насосной установки: 2800 об/мин. Производительность, л/мин (м³/ч): 100/6 Масса: 39 кг Рабочее давление, бар: 200/225/300/330
4	Газовый генератор REG GG14-380-S в кожухе		<u>Газовый генератор:</u> Тип генератора: синхронный Класс защиты: IP 23 Класс изоляции: H Основная мощность: 13 кВт/ 16,3 кВА Резервная мощность: 14кВт/17,5 кВА Номинальная мощность на пропане: 13 кВт/ 16 кВА Номинальная мощность на метане: 13 кВт/ 16 кВА Максимальная мощность на пропане: 14 кВт/ 17,5 кВА Максимальная мощность на метане: 14 кВт/ 17,5 кВА Напряжение: 400 В Номинальный ток: 23А Коэффициент мощности: 0,8 (cos φ) Количество фаз: 3 Частота: 50 Гц Запуск производится электростартером Вид используемого топлива: газ

			Расход пропана на 1 кВт мощности 0,3 кг Расход метана на 1 кВт мощности 0,4 м³ Уровень шума: 65 Дб Габариты (ДхШхВ) 1030х650х926 Масса: 200 кг Частота вращения: 3000 об/мин Объем масла в ДВС: 2,5 л Рекомендуемое масло: SAE 15W40/10W30
5	Погружной фекальный насос Джилекс 115/5		Механизм насоса: центробежный. Диаметр насоса: 223 мм. Материал корпуса: пластик. Глубина погружения: 8 м. Максимальный напор: 5 м. Мощность: 350 Вт. Максимальное давление, атм: 0,5. Напряжение: 220 В. Максимальный ток потребления: 1,6 А.
6	Весы лабораторные ViBRA AJH-4200CE		Габариты 192х265х90 мм. Класс точности (II) точный. Масса 3,7 кг. Дискретность 0,01 г. Минимальная масса взвешивания 0,5 г. Максимальная масса взвешивания 4200 г.
7	Сушильный шкаф SNOL 58/350		Габаритные размеры, (ширина* высота* глубина), мм - 675х585х630. Размеры рабочей камеры (ширина* высота* глубина), мм - 390*360*380. Объем камеры 58 дм³ Номинальная мощность 2,0 кВт. Напряжение 380 В. Температура нагрева до 350 °С. Масса 40 кг.
8	Аппарат для определения температуры размягчения битумов КиШ-20		Масса 15 кг. Габариты, мм 400х280х275. Потребляемая мощность до 1,2 кВт. Дискретность измерений 0,2 °С. Диапазон измерения от 20 до 200 °С. Максимальное количество одновременно испытываемых проб 2 шт. Температура эксплуатации аппарата 10-35 °С. Скорость нагрева 5 °С/мин.

9	Дуктилометр ДБ-2М		Габариты, мм -1420x200x300 мм; Масса дуктилометра с пустой ванной 20 кг. Количество одновременно растягиваемых образцов 3 шт. Максимальная длина растяжения 1000 мм. Индикация температуры воды в ванне с дискретностью 0,1 °С. Индикация длины растяжения битума с дискретностью 0,1 см. Напряжение сети питания от 187 до 253 В. Потребляемая мощность не более 70 Вт.
10	Пенетрометр ПН-10Б		Масса, не более 12 кг. Размеры пенетрометра, мм: 245x505x280. Диапазон измерений пенетрации, 1 единица пенетрации = 1 мм, 0-630 ед. пенетрации. Время пенетрации от 1 до 3599 с. Время задержки перед выполнением пенетрации от 0 до 3599 с. Скорость движения стола от мм/с от 0,02 до 5. Напряжение от 187 до 253 В. Температура эксплуатации от 10 до 35 °С. Потребляемая мощность до 50 Вт. Суммарная масса движущихся частей 100,00±0,15 и 200,00±0,20 г. Масса иглы 2,50±0,05 г. Масса плунжера 47,50±0,05 г. Масса грузов 50,00±0,05 г и 150,00±0,05 г.
11	АТХ-20 Аппарат определения температуры хрупкости битумов		Диапазон измерений температуры хрупкости от - 45 до + 20 °С. Система охлаждения водяная на базе модулей Пельтье: время процесса сгибания от 10 до 12 с. Время процесса сгибания и распрямления от 20 до 24 с. Размеры рабочей пластинки из стальной ленты 65Г. Длина 41,0±0,05 мм. Ширина 20,0±0,2 мм. Толщина 0,15±0,02 мм.

12	Комплект сит КП-109 и сито 0,071 мм		Размеры ячеек, мм: 0,071; 0,16; 0,315; 0,5; 0,63; 1; 1,25; 2,5; 3; 5; 7,5; 10; 12,5; 15; 17,5; 20; 22,5; 25; 30; 40; 50; 60; 70. Тип просеивающего элемента: 0,071-1,25 сетка; 2,5-70 перфорация. Материал просеивающего элемента: нержавеющая сталь. Диаметр обечайки, мм: 300. Высота обечайки, мм: 75. Масса, кг: не более 8,8.
13	Комплект мерных цилиндров		Сосуд объемом 1 л: внутренний диаметр 108 мм; высота 108,5 мм. Сосуд объемом 2 л: внутренний диаметр 137 мм; высота 136,6мм. Сосуд объемом 5 л: внутренний диаметр 185 мм; высота 186,5 мм. Сосуд объемом 10 л: внутренний диаметр 234 мм; высота 233,8 мм.
14	Вакуумная установка ВУ-976А		Тип установки: электрическая, автоматического действия. Материал рабочей камеры - нержавеющая сталь. Объем камеры 26±0,5 л. Остаточное давление в камере: не более 2кПа. Питание вакуумного насоса: 220 В, 50 Гц. Габариты: вакуумный насос, мм: 350 x 265 x 145; вакуумный сосуд, мм: 390 x 525; масса вакуумного сосуда 15,0 кг; масса вакуумного насоса с вакуумным маслом и электрооборудованием 11,5 кг. Потребляемая мощность - не более 350 Вт.

15	Комплект из прессов ИП-1000М-авто и ИП-100М-авто		Применяется для изготовления лабораторных образцов асфальтобетона и испытания лабораторных образцов асфальтобетона. Максимальная (предельная) нагрузка, ИП-1000М-авто – 1000 кН, ИП-100М-авто 100 кН. Потребляемая мощность, не более, 3,5 кВт. Параметры питания 380 В, 50 Гц. Масса нетто 1800 кг. Цена единицы наименьшего разряда силоизмерителя, 0,1 кН. Размер опорных плит 210х210 мм. Габаритные размеры, 2300х720х1860 мм.
16	Термометр ТС-4М		Применяется для термостатирования лабораторных образцов битумного вяжущего и асфальтобетона Диапазон температур: 0-100 °С Дискретность: $\pm 1^\circ\text{C}$ Длина: 175-185 мм Размер сечения корпуса: от 7,2 до 8,2 мм (глубина), от 10,2 до 12 мм (ширина) Наполнитель: подкрашенный спирт (метилкарбитол) Вес с упаковкой: 40 г
17	рН-метр KL-98103		Применяется для измерения рН среды рабочего раствора и органоминерального гуминового удобрения Диапазон измерения, рН: от 0 до 14. Разрешающая способность, рН: 0,01. Точность $\pm 0,1$ рН (при 13-26°C). $\pm 0,2$ рН (при др. диапазонах температуры). Калибровка по двум точкам. Автоматическая температурная компенсация, °С от 0-50. Габариты (Д х Ш х В): 175х51х25 Масса: 77 г.

3.3 Методы исследования свойств получаемых продуктов

3.3.1 Методы исследования состава биогаза

Содержание компонентов в пробе биогаза определяется газохроматографическим методом, основанным на разделении компонентов в газоадсорбционном или газожидкостном варианте хроматографии. Содержание химических соединений осуществляется с использованием газового хроматографа Хроматэк-Кристалл 5000.

3.3.2 Методы исследования состава эффлюента

Определение состава органического удобрения произведено в ГБУ РС (Я) «Служба земледелия РС (Я)» по ГОСТ 33830-2016 [32]. В таблице 3.2 представлены перечень определяемых характеристик и нормативные значения для органического удобрения из твёрдой фракции эффлюента.

Таблица 3.2 – Характеристики высушенного эффлюента

№	Показатели	Ед. изм.	ГОСТ 33830
1	Отношение углерода к азоту C: N	-	-
2	Влажность	% по массе	Не более 75
3	Массовая доля сухого вещества	% по массе	Не менее 25
4	Общий азот	а.с.в, %	Не менее 0,3
5	Общий фосфор, в пересчете P_2O_5	а.с.в %	Не менее 0,2
6	Общий калий, в пересчете K_2O	а.с.в %	Не менее 0,2
7	Медь	мг/кг	-
8	Цинк		-
9	Кадмий		Не более 2,0
10	Свинец		Не более 130,00
11	Марганец		-

3.3.3 Методика исследования характеристик органоминерального гуминового удобрения

В таблице 3.3 представлены определяемые характеристики для органоминерального гуминового удобрения.

Таблица 3.3 – Методика исследования органоминерального гуминового удобрения

№	Наименование определяемых показателей	Методы испытаний
1	Внешний вид, цвет	ГОСТ Р 54249
2	Запах	ГОСТ Р 54249
3	Массовая доля гуминовых кислот	ГОСТ 9517
4	Индикация кислотности	-

3.3.4 Методика исследования физико-механических характеристик СДА

В таблице 3.4 представлены определяемые показатели сырья для СДА, полученной из твердой фракции щелочного экстракта.

Таблица 3.4 – Определяемые характеристики сырья для СДА

№	Наименование показателя	Методы испытаний
1	Внешний вид	Визуально
2	Гранулометрический состав сырья для СДА	ГОСТ 12536
3	Насыпная плотность при 20 °С, г/см ³	ГОСТ 32721
4	Истинная плотность, г/см ³	ГОСТ 5180
5	Влажность, % по массе	ГОСТ 31015
6	Термостойкость при температуре 220 °С по изменению массы при прогреве, % по массе	ГОСТ 31015

Для обработки полученных данных гранулометрического состава применяется программный продукт по [134].

3.3.5 Методика исследования физико-химических характеристик битумного вяжущего

Применяемые методы испытаний для битумов и битумного вяжущего с вводом структурирующей добавки для асфальтобетона изложены в таблице 3.5. Для исследования в качестве исходного битума был применен вязкий нефтяной дорожный битум марки БНД 100/130 по ГОСТ 33133-2014 [31].

Таблица 3.5 – Физико-химические характеристики для битума и битумных вяжущих с добавлением структурирующих добавок

№	Наименование показателя	Единица измерения	БНД 100/130 [31]	БНД 100/130 +СДА
1	Температура размягчения	°С	Не ниже 45	-
2	Температура хрупкости методом Фрааса	°С	Не выше -20	
3	Определение глубины проникновения пенетрационной иглы при 25 °С	0,1 мм = 1 ед.	101-130	
4	Глубина проникновения иглы при температуре 0° С	0,1 мм = 1 ед.	Не менее 30	
5	Растяжимость при температуре 0 °С	см	Не менее 4,0	
6	Изменение массы после старения	% по массе	Не более 0,7	
7	Изменение температуры размягчения после старения	°С	Не более 7	

3.3.6 Методика исследования физико-механических характеристик асфальтобетона со структурирующей добавкой

В таблице 3.6 представлены определяемые физико-механические характеристики для стандартного асфальтобетона марки II типа Б по ГОСТ 9128-2013 [33] и асфальтобетонной смеси марки II типа Б со структурирующей добавкой.

Таблица 3.6 – Методы определения физико-механических характеристик асфальтобетона

№	Наименование показателя	Для стандартного образца асфальтобетона марки II тип Б по ГОСТ 9128-2013	Для асфальтобетона марки II тип Б со структурирующей добавкой (СДА)
1	Предел прочности на сжатие при температуре, в МПа 50 ° С 20 ° С 0 ° С	Не менее 0,9 Не менее 2,2 Не более 10,0	-
2	Водонасыщение лабораторных образцов, % по объему	От 1,5 до 4,0	-
3	Коэффициент водостойкости	Не менее 0,90	-
4	Определение средней плотности, г/см ³	Не нормируется	-
5	Определение температурной чувствительности R ₅₀ / R ₀	Не нормируется	-
6	Определение коэффициента теплостойкости R ₅₀ / R ₂₀	Не нормируется	-

3.4 Планирование и обработка результата удельного выхода биогаза с рециркуляционной жидкостью эффлюента

Для планирования и обработки полученных данных нами выбраны данные экспериментального удельного выхода биогаза, которые свидетельствуют о достижении поставленной цели эксперимента, способствующие к решению поставленных задач.

Обработка полученных результатов эксперимента произведена с применением метода наименьших квадратов (МНК) [51-52,54,116,132]. Применение МНК минимизирует сумму квадратов отрезков, которые характеризуют расхождение между экспериментальными значениями и полученным уравнением, а также гарантирует что остаточная сумма квадратов будет минимальным.

Для того чтобы найти коэффициенты линейной регрессии были применены формулы 3.1, 3.2:

$$b = \frac{\frac{\sum_1^n xy}{n} - \frac{\sum_1^n x}{n} \cdot \frac{\sum_1^n y}{n}}{S_x^2} \quad (3.1)$$

$$a = \frac{\sum_1^n y}{n} - b \cdot \frac{\sum_1^n x}{n} \quad (3.2)$$

Для проверки гипотезы о пригодности модели или значимости коэффициентов, применяется метод регрессионного анализа.

Для выполнения регрессионного анализа находим дисперсию в каждом опыте. Дисперсия обозначается $S_{\{Y\}}^2$ и выражается формулой:

$$S_{\{Y\}}^2 = \frac{\sum_1^n (Y - \bar{Y})^2}{n-1}, \quad (3.3)$$

Далее вычисляется среднеквадратичная ошибка:

$$S_{\{Y\}} = \sqrt{\frac{\sum_1^n (Y - \bar{Y})^2}{n-1}}, \quad (3.4)$$

В таблице 3.7 представлены значения суммы, среднего значения, дисперсии и среднеквадратичного отклонения

Таблица 3.7 – Результаты вычисления суммы, среднего значения, дисперсии и среднеквадратичного отклонения

№	X	Y	XY	X ²	Y ²
Сумма значений	$\sum_1^n X$	$\sum_1^n Y$	$\sum_1^n XY$	$\sum_1^n X^2$	$\sum_1^n Y^2$
Среднее значение	$\bar{X} = \frac{\sum_1^n X}{n}$	$\bar{Y} = \frac{\sum_1^n Y}{n}$	$\frac{\sum_1^n XY}{n}$	$\frac{\sum_1^n X^2}{n}$	$\frac{\sum_1^n Y^2}{n}$
Дисперсия, S ²	$S_{\{X\}}^2 = \frac{\sum_1^n (X - \bar{X})^2}{n - 1}$	$S_{\{Y\}}^2 = \frac{\sum_1^n (Y - \bar{Y})^2}{n - 1}$	-	-	-
Средне квадратичное отклонение, S	$S_X = \sqrt{\frac{\sum_1^n (X - \bar{X})^2}{n - 1}}$	$S_Y = \sqrt{\frac{\sum_1^n (Y - \bar{Y})^2}{n - 1}}$	-	-	-

После вычисления коэффициентов, получаем линейное уравнение вида:

$$y = ax + b \quad (3.5)$$

Затем вычисляем линейный коэффициент корреляции R_{XY} :

$$R_{XY} = b \cdot \frac{S_X}{S_Y} \quad (3.6)$$

Качество уравнения в целом оцениваем с помощью F- критерия Фишера, которым мы найдем эмпирическое значение критерия $F_{\text{эмп}}$ по формуле 3.7:

$$F_{\text{эмп}} = \frac{R_{XY}}{1-R_{XY}} \cdot (n - 2) \quad (3.7)$$

При условии $F_{\text{эмп}} > F_{\text{крит}}$ на уровне значимости 0,05 признается статистическая значимость уравнения.

Для оценки статистической значимости коэффициентов регрессии и корреляции рассчитывается t-критерий Стьюдента и доверительные интервалы для каждого из показателей. Далее производится расчет случайных ошибок параметров линейной регрессии и коэффициента корреляции, представленные в формулах 3.8-3.11:

$$S_{\text{ост}} = \sqrt{\frac{\sum (Y - Y_x)^2}{n-2}} \quad (3.8)$$

$$S_a = \frac{S_{\text{ост}} \cdot \sqrt{\sum X^2}}{S_X \cdot n} \quad (3.9)$$

$$S_b = \frac{S_{\text{ост}}}{S_x \cdot \sqrt{n}} \quad (3.10)$$

$$S_r = \sqrt{\frac{1-R_{XY}}{n-2}} \quad (3.11)$$

Эмпирические значения t-критерия Стьюдента вычисляются по формулам 3.12-3.14:

$$t_b = \frac{b}{S_b} \quad (3.12)$$

$$t_a = \frac{a}{S_a} \quad (3.13)$$

$$t_r = \frac{R_{XY}}{S_r} \quad (3.14)$$

Если $t_a > t_{\text{крит}}$, $t_b > t_{\text{крит}}$, $t_r > t_{\text{крит}}$, на уровне значимости 0,05, то подтверждается, что параметры линейного уравнения и тесноты связи имеют статистическую значимость.

По построенному линейному уравнению производится анализ и прогнозирование. Сначала находим признак-фактор X_p , который приводится в формуле 3.15:

$$X_p = C \cdot \bar{X} \quad (3.15)$$

где, C – переменная для нахождения признака-фактора.

Далее нами находится прогнозное значение результативного фактора Y_p

$$Y_p = a \cdot X_p + b \quad (3.16)$$

Затем по формуле 3.17 нами находится ошибка прогноза.

$$m_{Y_p} = S_{\text{ост}} \cdot \sqrt{1 + \frac{1}{n} + \frac{(X_p - \bar{X})^2}{n \cdot S_x^2}} \quad (3.17)$$

Далее вычисляется средняя ошибка прогнозируемого значения в формуле 3.18:

$$\Delta_{Y_p} = (m_{Y_p} \cdot t_{\text{табл}}) \quad (3.18)$$

где, $t_{\text{табл}}$ табличное значение t-критерия Стьюдента для данной задачи.

И в завершении производим выражение доверительного интервала для прогнозного значения:

$$Y_p - \Delta_{Y_p} \leq Y_p \leq Y_p + \Delta_{Y_p} \quad (3.19)$$

Выводы по главе 3

Согласно принятой программы экспериментальных исследований собрана и запущена в работу лабораторная биогазовая установка и пилотная технологическая линия. На данной линии уточнены параметры предлагаемого способа утилизации навоза. Эксперименты проведены при переработке субстрата, подготовленного на воде, а также при утилизации субстрата, подготовленного на жидкой фракции от выжимки эффлюента – на рециркуляте.

Подобрано и применено оборудование для исследования биогаза, эффлюента, гуминового удобрения и структурирующих добавок для асфальтобетона. Исследован состав улучшенного продукта – гуминового удобрения.

Выполнено рецептурно-технологическое планирование для структурирующей добавки для асфальтобетона. В качестве компонентов выбраны твердая фракция экстракции гуминовых веществ из эффлюента (СДА) и всесезонное минеральное загущенное масло (ВМГЗ).

Определена методика исследования физико-механических, химических характеристик для биогаза, эффлюента, гуминового удобрения и структурирующих добавок для асфальтобетона.

Определена методика статистического анализа подтверждения адекватности разработанной математической модели и экспериментальных значений.

ГЛАВА 4. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

4.1 Запуск лабораторной биогазовой установки

Результаты первого этапа. В метантенк было загружено 30 кг субстрата свиного навоза, который сбраживался при температуре 16-18 °С, биогаз появился на 6 сутки, горение начал поддерживать на 11 сутки. Всего накоплено 0,91 м³ или 0,030 м³/кг.

В результате проведенных исследований обоснован выход биогаза в зависимости от периода сбраживания, представленный на рисунке 4.1 и его состав, приведенный в таблице 4.1.



Рисунок 4.1 – График выхода биогаза с лабораторной БГУ на субстрате приготовленной на воде

Таблица 4.1 – Состав биогаза

№	Компонент	Концентрация	Ед. изм.
1	O ₂ (кислород)	11,85	мол. %
2	CO ₂ (углекислый газ)	0,61	мол. %
3	CH ₄ (метан)	87,54	мол. %

Как видно из таблицы 4.1, в составе биогаза преобладает метан CH₄ – выше 80-ти %, что свидетельствует о высоком качестве, гарантирующего устойчивую работу газогенератора для преобразования биогаза в электроэнергию. Таким

образом, с 1 кг субстрата свиного навоза влажностью 92-93% можно получить в среднем 0,030 м³ биогаза. Также исследован химический состав эффлюента, представленная в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Химический состав эффлюента

№	Показатели	Ед. изм.	ГОСТ 33830	Результат
1	Отношение углерода к азоту C: N		-	25,7
2	Влажность	% по массе	Не более 75	14,8
3	Массовая доля сухого вещества, %	% по массе	Не менее 25	85,2
4	Общий азот	а.с.в, %	Не менее 0,3	1,32
5	Общий фосфор, в пересчете P ₂ O ₅	а.с.в %	Не менее 0,2	1,34
6	Общий калий, в пересчете K ₂ O	а.с.в %	Не менее 0,2	0,28
Тяжелые металлы				
1	Медь	мг/кг	-	0,27
2	Цинк		-	145,75
3	Кадмий		Не более 2,0	0,009
4	Свинец		Не более 130,00	0,427
5	Марганец		-	81,56

Из таблицы 4.2 видно, что основные полезные элементы удобрения – фосфор и калий, содержатся в более чем достаточных количествах, а тяжелые металлы находятся в допустимых значениях.

Технологический цикл работы предлагаемого способа утилизации рассчитан на примере переработки навоза от хряков ООО «Хатасский свинокомплекс». Выход навоза равен 800 кг/сут. Для его утилизации необходимо предусмотреть 21 метантенк с объемами 1,5 м³. Разделение на фракции осуществляется шнековым сепаратором Bauer 3.2-520 с производительностью до 120-360 м³/сут при разделении на шпальтовом сите размером ячеек 0,25 мм и мощностью электродвигателя 5,5 кВт. Известно, что при разложении 1 кг сухого свиного навоза выделяется

0,340-0,580 м³ биогаза. Соответственно, от утилизации 800 кг навоза образуется в среднем 22-37 м³ биогаза, эквивалентного 48-81 кВт электроэнергии. Таким образом, ожидаемого количества альтернативной электроэнергии будет более чем достаточно для обеспечения бесперебойной работы сепаратора.

4.2 Запуск пилотной линии на водном субстрате

При сбраживании субстрата, подготовленного на воде, биогаз появился на 7-ой день после загрузки. На 12-тый день он качественно поддерживал процесс горения, что свидетельствует об установлении внутри метантенка устойчивого режима анаэробного разложения. На 26 день работы процесс метанообразования резко снизился, что послужило сигналом приостановки процесса переработки, проведено опорожнение эффлюента из метантенка (рисунок 4.2).



Рисунок 4.2 – Выход биогаза в пилотной линии на водном субстрате

Общий объем произведенного биогаза составил 19,86 м³ или в среднем 0,76 м³/сут.

4.3 Хранение биогаза и запуск сепаратора

Полученное биотопливо загружается в 50-литровый газовый баллон, в который вмещается 12 м³ биогаза. Такой объем биогаза получается от переработки 483 кг субстрата на воде или 409 кг субстрата на рециркуляте. Биогаз, производимый от 800 кг навоза, заполнит объем в 1,65 баллона (от субстрата на воде) и 1,96 баллона (от субстрата на рециркуляте).

За 1 цикл полной работы метантенков, то есть 21 метантенка объемами 1,5 м³ накопится 35 баллонов биогаза от субстрата на воде и 41 баллон биогаза от субстрата на рециркуляте. Далее, биогаз из баллонов подается в газогенератор марки «REG GG14-380-S» и преобразуется в альтернативное электричество, на котором запускается шнековый сепаратор Bauer 3.2-520 и фекальный насос Fancy 100WQ50-7-2.2/2. Шнековый сепаратор разделяет эффлюент на жидкую и твердую фракции. При этом, за час работы газовый генератор потребляет 4,18-4,62 м³ биогаза при совместной работе сепаратора с фекальным насосом.

В таблице 4.3 представлены параметры работы шнекового сепаратора и фекального насоса на альтернативной электроэнергии.

Таблица 4.3 – Параметры работы сепаратора и насоса для разделения эффлюента

№	Параметры	Значение
1	Масса разделяемого эффлюента влажностью 94-95%, кг	800,00
2	Плотность разделяемого эффлюента, влажностью 94-95%, г/см ³	1,02-1,04
3	Номинальная мощность электродвигателя шнекового сепаратора, кВт	5,5
4	Номинальная мощность фекального насоса, кВт	2,2
5	Часовой расход биогаза газового электрогенератора, мощностью 13 кВт, м ³	4,18-4,62
6	Производительность сепаратора мощностью 5,5 кВт со шпальтовым ситом размером 0,25 мм, м ³ /ч	5-15
7	Время разделения эффлюента массой 800 кг с влажностью 94-95%, мин	3,2-9,6
8	Количество электроэнергии, затрачиваемое сепаратором и насосом на разделение эффлюента, кВт·ч	0,46-1,48
9	Объем потребления сепаратором эквивалентного биогаза для разделения жидкого эффлюента, м ³	0,23-0,74
10	Количество получаемого рециркулята после сепарации, кг	693-697
11	Количество получаемой твердой фракции эффлюента после разделения, кг	103-107

За 1 цикл работы сепаратора на разделение 800 кг эффлюента затрачивается в среднем 0,49 м³ биогаза.

4.4 Щелочная экстракция органоминерального гуминового удобрения

Твердая фракция эффлюента подается в емкость для щелочной экстракции. Масса поступающей твердой фракции эффлюента составляет 103-107 кг с влажностью 65-70%. Затем в ёмкость подаётся 350-500 кг 0,5-1,0% раствора гидроксида калия. Экстракция происходит в течение 4 ч при температуре 65-75 °С с обеспечением для максимального выхода гуминовых и фульвовых кислот. Вода для приготовления раствора подается из системы горячего водоснабжения.

В таблице 4.4 представлены сведения о составе рабочего раствора для щелочной экстракции.

Таблица 4.4 – Рабочий раствор для экстракции гуминовых веществ

№	Показатель	Единица измерения	Значение
1	Температура щелочного раствора	°С	70,0±1,0
2	Водородное число, (рН)	рН	12,0±0,2
3	Количество введенного гидроксида калия	% по массе	1,0±0,1

4.5 Запуск пилотной установки на рециркуляционной жидкости

При разжижении свежего свиного навоза рециркулятом эффлюента, биогаз появился на третьи сутки. Уже на 6 сутки он устойчиво поддерживал процесс горения. За 21 сутки работы метантенка общий объем произведенного биогаза составил 23,46 м³ или в среднем 1,12 м³/сут, что в 1,47 раз больше от объема биогаза, полученного при запуске линии на субстрате на воде. Рециркулят значительно увеличивает скорость разложения свиного субстрата, что подтверждается появлением горючего биотоплива за 6 суток.

Далее в рисунке 4.3 представлены графики сравнения:

- 1 – график при начальном запуске линии на субстрате на воде,
- 2 – график процесса сбраживания субстрата на рециркуляте.

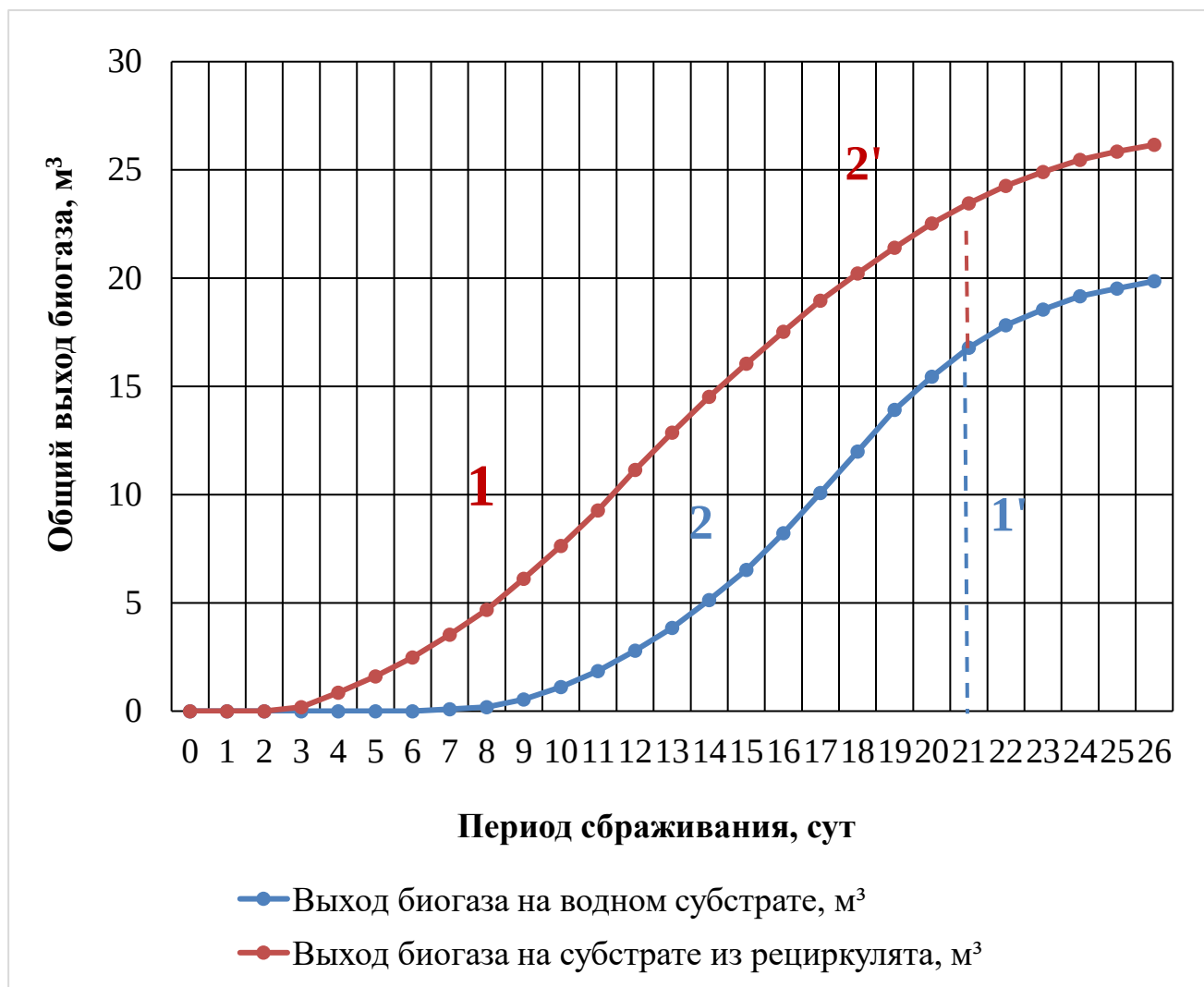


Рисунок 4.3 – Выход биогаза при добавлении рециркулята жидкой фракции эффлюента, содержащего психрофильную метаногенную микрофлору: 1 – субстрат свиного навоза, приготовленный на воде; 2 – субстрат свиного навоза, приготовленный на рециркуляте; 1' – точка опорожнения эффлюента на воде; 2' – точка опорожнения эффлюента на рециркуляте.

Как показали результаты, скорость образования биогаза, по которой оценивается глубина переработки отхода, в 2,3 раза выше на субстрате с рециркулятом по сравнению с разложением субстрата на воде. Во втором варианте также лучше результаты по объему образовавшегося биогаза – 1,12 м³ против 0,76 м³, или больше в 1,47 раза.

В таблице 4.5 представлены параметры процесса анаэробного сбраживания по традиционной технологии и предлагаемому способу.

Таблица 4.5 – Параметры процесса анаэробного сбраживания

№	Показатели	Субстрат на воде	Субстрат на рециркуляте
1	Продолжительность сбраживания, сут	26	21
2	Температура сбраживания, °С	16-18	16-18
3	Влажность свежего навоза, %	88-89	88-89
4	Влажность субстрата, %	92-93	92-93
5	Влажность эффлюента, %	94-95	94-95
6	Период начала разложения субстрата, сут	7	3
7	Появление горючего биогаза, сут	12	6
8	Общий объем биогаза, м ³	19,86	23,46
9	Суточный выход биогаза, м ³ /сут	0,76	1,12
10	Период биометаногенеза, сут	20	19

Таким образом, введение рециркулята не только экономит технически чистую воду, но и ускоряет процесс разложения субстрата свиного навоза на 130% (в 2,3 раза).

4.6 Результаты эксперимента выхода биогаза на рециркуляционной жидкости эффлюента

В таблице 4.6 представлены значения экспериментального выхода биогаза. Таблица 4.6 – Экспериментальный накопленный выход биогаза с 0,8 м³ субстрата свиного навоза с рециркулятом.

τ, сут	Рэксп., м ³	τ, сут	Рэксп., м ³	τ, сут	Рэксп., м ³
1	0	8	4,68	15	16,05
2	0	9	6,12	16	17,53
3	0,19	10	7,63	17	18,96
4	0,85	11	9,27	18	20,22
5	1,61	12	11,14	19	21,41
6	2,48	13	12,87	20	22,53
7	3,53	14	14,52	21	23,46

Сутки кодированы как X , а общий выход биогаза для экспериментального значения кодирован как Y . Далее производится расчет связи выхода биогаза в зависимости от времени сбраживания.

Таблица 4.7 – Данные статистического анализа линейного уравнения

№	X	Y	XY	X ²	Y ²	Y _x	(Y-Y _x)	(Y-Y _x) ²
1	1,00	0,00	0,00	1,00	0,00	-2,36	2,36	5,57
2	2,00	0,00	0,00	4,00	0,00	-1,10	1,10	1,21
3	3,00	0,19	0,57	9,00	0,04	0,16	0,03	0,00
4	4,00	0,85	3,40	16,00	0,72	1,42	-0,57	0,33
5	5,00	1,61	8,05	25,00	2,59	2,68	-1,07	1,15
6	6,00	2,48	14,88	36,00	6,15	3,94	-1,46	2,13
7	7,00	3,53	24,71	49,00	12,46	5,20	-1,67	2,79
8	8,00	4,68	37,44	64,00	21,90	6,46	-1,78	3,17
9	9,00	6,12	55,08	81,00	37,45	7,72	-1,60	2,56
10	10,00	7,63	76,30	100,00	58,22	8,98	-1,35	1,82
11	11,00	9,27	101,97	121,00	85,93	10,24	-0,97	0,94
12	12,00	11,14	133,68	144,00	124,10	11,50	-0,36	0,13
13	13,00	12,87	167,31	169,00	165,64	12,76	0,11	0,01
14	14,00	14,52	203,28	196,00	210,83	14,02	0,50	0,25
15	15,00	16,05	240,75	225,00	257,60	15,28	0,77	0,59
16	16,00	17,53	280,48	256,00	307,30	16,54	0,99	0,98
17	17,00	18,96	322,32	289,00	359,48	17,80	1,16	1,35
18	18,00	20,22	363,96	324,00	408,85	19,06	1,16	1,35
19	19,00	21,41	406,79	361,00	458,39	20,32	1,09	1,19
20	20,00	22,53	450,60	400,00	507,60	21,58	0,95	0,90
21	21,00	23,46	492,66	441,00	550,37	22,84	0,62	0,38
Сумма	231,00	215,05	3384,23	3311,00	3575,63	-	-	-
Среднее значение	11,00	10,24	161,15	157,67	170,27	-	-	-
Дисперсия, S ²	38,50	68,67	-	-	-	-	-	-
Средне квадратичное отклонение, σ	6,20	8,29	-	-	-	-	-	-

Производим расчет параметров линейного уравнения парной регрессии при помощи формул (3.1-3.2):

$$b = \frac{161,15 - 11,00 \cdot 10,24}{38,50} = 1,26 \quad (4.1)$$

$$a = 10,24 - 1,26 \cdot 11,00 = -3,62 \quad (4.2)$$

Нами вычислено линейное уравнение регрессии:

$$Y = 1,26 \cdot X - 3,62 \quad (4.3)$$

Далее по формуле 3.7 рассчитывается линейный коэффициент корреляции R_{XY}^2

$$R_{XY} = 1,26 \cdot \frac{6,20}{8,29} = 0,943 \quad (4.4)$$

Близость коэффициента корреляции к 1 указывает на тесную линейную связь выхода биогаза от продолжительности сбраживания.

Качество линейного уравнения в целом будем оценивать с помощью F-критерия Фишера, при котором найдем эмпирическое значение критерия $F_{\text{эмп}}$ по формуле 3.8.

$$F_{\text{эмп}} = \frac{0,943}{1-0,943} \cdot (21 - 2) = 316,77 \quad (4.5)$$

Критическое значение F-критерия Фишера для $k_1=1$, $k_2=n-2=21-2=19$, $\alpha=0,05$ равна $F_{\text{крит}}=4,38$. $F_{\text{эмп}} > F_{\text{крит}}$, так как $316,77 > 4,38$, и на уровне значимости 0,05 признается статистическая значимость уравнения.

Далее рассчитываем случайные ошибки параметров линейной регрессии и коэффициента корреляции по формулам 3.9-3.12.

$$S_{\text{ост}} = \sqrt{\frac{28,80}{21-2}} = 1,23 \quad (4.6)$$

$$S_a = \frac{1,23 \cdot \sqrt{3311}}{6,20 \cdot 21} = 0,54 \quad (4.7)$$

$$S_b = \frac{1,23}{6,20 \cdot \sqrt{21}} = 0,04 \quad (4.8)$$

$$S_r = \sqrt{\frac{1-0,943}{21-2}} = 0,05 \quad (4.9)$$

Эмпирические значения t-критерия Стьюдента вычисляются по формулам 3.13-3.15:

$$t_b = \frac{3,62}{0,04} = 90,5 \quad (4.10)$$

$$t_a = \frac{1,26}{0,54} = 2,33 \quad (4.11)$$

$$t_r = \frac{0,943}{0,05} = 18,86 \quad (4.12)$$

Критическое значение t-критерия Стьюдента при $\alpha=0,05$ и числе степеней свободы $n-2=19$ равно $t_{\text{крит}} = 2,093$.

Таким образом, $t_b > t_{\text{крит}}$, $t_a > t_{\text{крит}}$, $t_r > t_{\text{крит}}$, и на уровне значимости 0,05 признает статистическую значимость параметров регрессии и показателя тесноты связи.

Далее по построенной модели можем осуществлять анализ и прогнозирование. Найдем прогнозное значение фактора Y_p при значении суток равной 110% от среднего значения суток:

$$X_p = 1,1 \cdot \overline{11} = 12,1 \quad (4.13)$$

$$Y_p = 1,26 \cdot 12,1 - 3,62 = 11,63 \quad (4.14)$$

На 12,1 сутки удельный выход биогаза по линейному уравнению спрогнозировано равна 11,63 м³

Находим доверительный интервал и ошибку прогноза удельного выхода биогаза, м³. Ошибка прогноза составляет:

$$m_{Y_p} = 1,23 \cdot \sqrt{1 + \frac{1}{21} + \frac{(12,1 - \overline{11})^2}{21 \cdot 38,60}} = 1,29 \quad (4.15)$$

Далее вычисляется средняя ошибка прогнозируемого значения по формуле (3.19):

$$\Delta_{Y_p} = 1,29 \cdot 2,093 = 2,70 \quad (4.16)$$

И в завершении определяем выражение доверительного интервала для прогнозного значения:

$$8,93 \leq 11,63 \leq 14,33$$

(4.17)

На рисунке 4.4 представлен теоретический и экспериментальный выход биогаза из субстрата, приготовленного на рециркуляционной жидкости эффлюента.

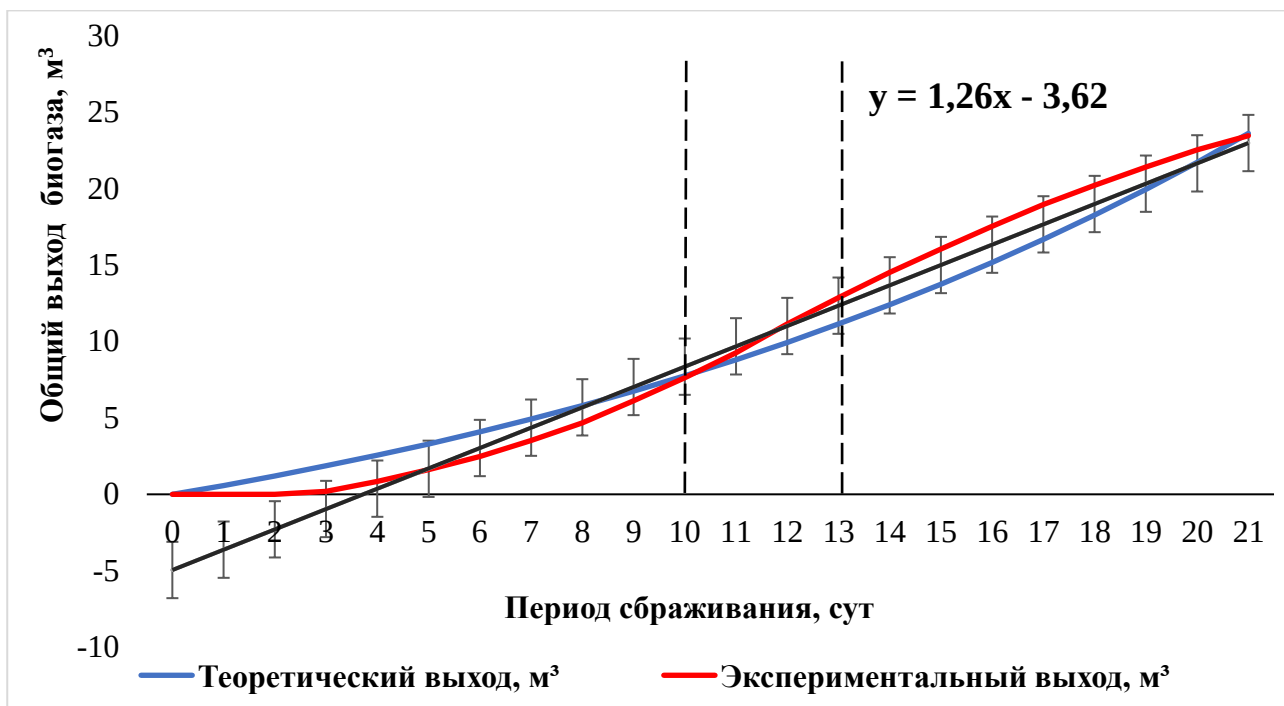


Рисунок 4.4 – Теоретический и экспериментальный общий выход биогаза из субстрата, приготовленного на рециркуляционной жидкости эффлюента

Как видно из рисунка 4.4 и согласно расчетным значениям установлено, что экспериментальные значения удельного выхода биогаза согласуются с теоретическим расчетом, что подтверждает адекватность разработанной математической модели с точностью 5%.

Динамика накопления биогаза показала, что первые 6 суток выделяется 11% от общего выхода биогаза. Начиная с 7 по 12 сутки наблюдается рост выхода биогаза. С 12 по 20 сутки идет постепенное снижение биогаза. На 21 сутки метантенк опорожняется. Дальнейшее разложение субстрата не имеет смысла, и твердая фракция эффлюента направляется в емкость для воздействия щелочным раствором.

4.7 Расчет технологической линии на примере ООО «Хатасский свинокомплекс»

В таблице 4.8 представлены сведения по группе, массе выделяемой мочи и навоза свиней и поросят в сутки, рассчитанные по методическим рекомендациям [124].

Таблица 4.8 – Суточный выход навоза и мочи в ООО «Хатасский свинокомплекс»

№ п/п	Половозрастные группы свиней	Кол-во голов	Показатели	Состав экскрементов			Итого		
				всего	кал	моча	Всего	Кал	Моча
1	Хряки	71	Масса, кг	11,1	3,84	7,24	788,1	272,64	514,04
			Влажность, %	89,4	75	97	-	-	-
2	Свиноматки	839	Масса, кг	15,3	4,3	11	12836,7	3607,7	9229
			Влажность, %	90,1	73,1	96,8	-	-	-
3	Поросята в возрасте от 61 до 106 дней	2865	Масса, кг	1,8	0,7	1,1	5157	2005,5	3151,5
			Влажность, %	86,1	71,4	96,3	-	-	-
4	Свиньи на откорме более 70 кг	2986	Масса, кг	6,5	2,7	3,8	19409	8062,2	11346,8
			Влажность, %	87,5	74,7	96,9	-	-	-
	Итого	6761					38190,8	13948,04	24241,34

Согласно данным таблицы 4.8 от 70-75 свиней-хряков образуется в среднем 800 кг навоза в сутки, который помещается в метантенк объёмом 1,5 м³. Как установлено выше, продолжительность эффективного разложения навоза в психрофильном накопительном режиме составляет 26 суток на водном субстрате. Начиная со второго цикла, где субстрат приготовлен на рециркуляционной жидкости эффлюента продолжительность разложения составил 21 сутки. Поэтому, для непрерывной переработки суточного объёма навоза, требуется технологическая линия, состоящая из 21 метантенка объемами 1,5 м³ каждая.

В настоящее время и в растениеводческой отрасли Республики Саха (Якутия) имеется существенная проблема – дефицит минеральных и органических удобрений. Этот дефицит обусловлен слабой транспортной доступностью

растениеводческих предприятий, большой дальностью перевозки удобрений. Одним из путей решения проблемы дефицита удобрений является переработка и утилизация навоза животных в качественное органическое удобрение на близлежащих фермах [53,60-61].

В предлагаемом способе утилизации свиного навоза предусмотрена щелочная обработка твёрдой фракции эффлюента (ТФЭ). При этом происходит экстракция гуминовых и фульвокислот, выступающих полезными питательными элементами для растений. Поскольку свиной навоз имеет влажность 92-93%, то от 1000 кг эффлюента в среднем можно получить 550 кг органоминерального гуминового удобрения (ОМГУ) и 109 кг сырья для структурирующей добавки асфальтобетона [53,60-61].

4.8 Получение органоминерального гуминового удобрения и структурирующей добавки для асфальтобетона

Щелочной экстракт разделяется на жидкую фракцию – ОМГУ и твёрдую фракцию – сырьё для СДА. В таблице 4.9 представлены параметры разделения щелочного экстракта.

Таблица 4.9 – Параметры сепаратора при разделении щелочного экстракта

№	Показатели	Параметры
1	Масса разделяемого щелочного экстракта влажностью 94-95%, кг	453-607
2	Плотность разделяемого щелочного экстракта влажностью 94-95%, кг/м ³	1030-1050
3	Время разделения щелочного экстракта органоминерального гуминового удобрения массой 453-607 кг, мин	1,82-7,3
4	Количество затрат электроэнергии сепаратора на разделение щелочного экстракта, кВт·ч	0,26-1,12
5	Количество потраченного биогаза за время работы сепаратора на разделение щелочного экстракта, м ³	0,13-0,56
6	Количество 1,0±0,1% раствора гидроксида калия для экстракции гуминовых веществ, кг	350-500
7	Выход органоминерального гуминового удобрения после разделения с влажностью 97-98%, кг	378-507
8	Выход сырья для структурирующей добавки для асфальтобетона с влажностью 70-75%, кг	75-100

На сепарацию 1 т щелочного экстракта расходуется в среднем 0,66 м³ биогаза. В результате разделения щелочного экстракта получается два продукта – ОМГУ и СДА. В свою очередь, СДА – новый продукт, который предлагается применять в качестве модификатора асфальтобетонных смесей для сооружения площадок под хранение навоза.

4.9 Характеристика органоминерального гуминового удобрения (ОМГУ)

Результаты определения характеристик гуминового удобрения, извлеченного щелочным методом, отражены в таблице 4.10.

Таблица 4.10 – Характеристики гуминового удобрения

№	Показатели	Значения
1	Внешний вид, цвет	жидкость тёмно-коричневого цвета
2	Запах	со слабым запахом эффлюента
3	Кислотность, pH	10,50±0,2
4	Содержание сухого вещества (СВ) после высушивания ОМГУ, г/л	75,00±5,00

Из таблицы 4.9 видно, что органоминеральное гуминовое удобрение имеет характерный тёмно-коричневый цвет, со слабым запахом эффлюента, водородный показатель находится в пределах значений, при котором не происходит удаление азота из гуминового удобрения. Содержание сухого вещества после высушивания ОМГУ составляет 70-80 г/л.

4.10 Характеристики СДА, битумного вяжущего и асфальтобетона с СДА

4.10.1 Определение характеристик СДА

В таблице 4.11 отображены параметры сырьевого материала для производства СДА, выделенного из твердой фазы после щелочной экстракции [56,105].

Таблица 4.11 – Характеристики СДА

№	Наименование показателя	Фактические значения	
1	Внешний вид	Волокна коричневого цвета	
2	Гранулометрический состав сырья для СДА	Частные остатки, % по массе	Полные остатки, % по массе
		10 мм – 0,00; 5 мм – 0,00; 2 мм – 7,22; 1 мм – 11,38; 0,5 мм – 15,64; 0,25 мм – 17,04; 0,1 мм – 34,14; менее 0,1 мм – 14,59.	10 мм – 0,00; 5 мм – 0,00; 2 мм – 7,22; 1 мм – 18,60; 0,5 мм – 34,23; 0,25 мм – 51,28; 0,1 мм – 85,41; менее 0,1 мм – 100,0.
3	Насыпная плотность при 20 °С г/см ³	0,61±0,2	
4	Истинная плотность, г/см ³	1,44±0,2	
5	Влажность, % по массе	6,10±0,2	
6	Термостойкость при температуре 220 °С по изменению массы при прогреве	5,60±0,2	

4.10.2 Разработка состава СДА

В таблице 4.12 отображена структура планирование состава СДА с учётом введения гидравлического масла марки ВМГЗ-45.

Таблица 4.12 – Планирование состава СДА

№ состава	Сырье для СДА, % по массе	Дозировка ВМГЗ, % по массе
1	70,00	30,00
2	77,50	22,50
3	85,00	15,00

По разработанным составам СДА подобран состав горячей мелкозернистой асфальтобетонной смеси марки II тип Б, в которую вводится СДА в количестве 5% от массы битума. Из разработанных асфальтобетонных смесей были отформованы образцы асфальтобетонов. В таблице 4.13 представлены сведения о полученных физико-механических характеристиках.

Таблица 4.13 – Результаты испытаний образцов горячей мелкозернистой асфальтобетонной смеси со структурирующей добавкой

№ состава	Средняя плотность, г/см ³	Водонасыщение, % по объему	Прочность при 50°С, МПа
1	2,44	1,63	1,47
2	2,43	1,62	1,44
3	2,44	1,55	1,51

Установлено, что высокими прочностными характеристиками и низким водонасыщением является образец асфальтобетона следующего состава: 85% структурирующей добавки асфальтобетона и 15% всесезонного гидравлического масла марки ВМГЗ-45. Экспериментально установлено, что при данном соотношении компонентов показатели, следующие: водонасыщение – 1,55% по объему, средняя плотность 2,44 г/см³ и предел прочности на сжатие при температуре 50° С – 1,51 МПа.

4.10.3 Физико-химические характеристики битумного вяжущего со СДА

Проведены испытания по определению физико-химических характеристик битума со структурирующей добавкой. В таблице 4.14 представлены результаты определения физико-химических характеристик битумного вяжущего со структурирующей добавкой [62].

Таблица 4.14 – Физико-химические характеристики битумного вяжущего со структурирующей добавкой

Наименование характеристики	БНД 100/130	0%	5%	10%	15%
Температура размягчения, °С	Не ниже 45,0	46,10	47,10	48,60	50,10
Температура хрупкости, °С	Не выше - 20,0	- 23,00	-26,00	-29,00	-30,00
Пенетрация при 25 °С, 0,1 мм	101-130	106,0 0	87,00	79,00	72,00
Пенетрация при 0 °С, 0,1 мм	Не менее 30,0	34,00	42,00	37,00	35,00
Растяжимость при 0°С, см, не менее	Не менее 3,0	5,00	5,60	5,30	4,80
Изменение массы после нагрева (старения), % по массе	-	0,81	0,67	0,61	0,60

Наивысшие значения по показателю пенетрации и растяжимости при 0 °С наблюдаются у битума с 5%-ным содержанием СДА. Далее будут рассмотрены асфальтобетонные смеси с СДА [62,133].

4.10.4 Проектирование состава асфальтобетонной смеси

Для разработки состава горячей мелкозернистой асфальтобетонной смеси марки II тип Б, были применены следующие дорожно-строительные материалы:

- известняковый щебень из Сасабытского месторождения РС (Я) размером зерен 10-20 мм.
- известняковый щебень из Сасабытского месторождения РС (Я) размером зерен 5-10 мм.
- песок из отсевов дробления известнякового щебня из Сасабытского месторождения РС (Я).
- речной песок природный из бассейна р. Лена, г. Якутск.
- минеральный порошок из известняковой муки из Сасабытского месторождения РС (Я).
- вязкий нефтяной дорожный битум марки БНД 100/130.

На рисунке 4.6 представлены составы горячей мелкозернистой асфальтобетонной смеси марки II тип Б по ГОСТ 9128-2013 со СДА и без нее.

ГОРЯЧАЯ МЕЛКОЗЕРНИСТАЯ АСФАЛЬТОБЕТОННАЯ СМЕСЬ МАРКИ II ТИП Б			
Контрольный состав асфальтобетонной смеси	Состав смеси с 0,28% СДА	Состав смеси с 0,56% СДА	Состав смеси с 0,84% СДА
Щебень 10-20 мм – 23,56 % Щебень 5-10 мм – 22,62 % Песок из отсеков дробления - 29,22 % Песок природный – 9,43 % Минеральный порошок - 9,43 % Битум БНД 100/130 - 5,74%	Щебень 10-20 мм – 23,50 % Щебень 5-10 мм – 22,56 % Песок из отсеков дробления - 29,14 % Песок природный – 9,40 % Минеральный порошок - 9,40 % Битум БНД 100/130 - 5,72% Структурирующая добавка – 0,28%	Щебень 10-20 мм – 23,43 % Щебень 5-10 мм – 22,49 % Песок из отсеков дробления - 29,05 % Песок природный – 9,37 % Минеральный порошок - 9,38 % Битум БНД 100/130 - 5,72% Структурирующая добавка – 0,56%	Щебень 10-20 мм – 23,36 % Щебень 5-10 мм – 22,43 % Песок из отсеков дробления - 28,97 % Песок природный – 9,34 % Минеральный порошок - 9,34 % Битум БНД 100/130 - 5,72 % Структурирующая добавка – 0,84 %

Рисунок 4.6 – Составы горячей мелкозернистой асфальтобетонной смеси марки II тип Б со СДА

Асфальтобетонная смесь приготовлена с использованием лабораторного перемешивающего устройства (рисунок 4.7).



Рисунок 4.7 – Процесс приготовления асфальтобетонной смеси

Изготовлены лабораторные образцы асфальтобетонных смесей, которые при формировании выдержаны под давлением 40 МПа в течение 3 мин (рисунок 4.8).



Рисунок 4.8 – Формование лабораторных образцов асфальтобетона

Определены физико-механические характеристики лабораторных образцов асфальтобетона, данные определения представлены в таблице 4.15.

Таблица 4.15 – Физико-механические характеристики образцов асфальтобетона

Наименование характеристики	По требованиям ГОСТ 9128 для мелкозернистого асфальтобетона марки II тип Б	0%	0,28% СДА	0,56% СДА	0,84% СДА
Предел прочности на сжатие при температуре 0°C, МПа	Не более 10,0	10,5	8,46	6,61	6,47
Предел прочности на сжатие при температуре 20°C, МПа	Не менее 2,2	3,92	4,31	4,12	3,86
Предел прочности на сжатие при температуре 0°C, МПа	Не менее 0,9	1,21	1,41	1,44	1,35
Коэффициент теплостойкости R_{50}/R_{20}	Не нормируется	0,31	0,33	0,35	0,35
Коэффициент температурной чувствительности R_{50}/R_0	Не нормируется	0,11	0,17	0,22	0,23
Водонасыщение, % по объему	От 1,5 до 4,0	2,46	1,98	2,06	2,19
Коэффициент водостойкости	Не менее 0,9	0,85	0,95	0,94	0,94

По результатам лабораторных испытаний можно сделать вывод о том, что применение СДА обуславливает положительные изменения физико-механических характеристик асфальтобетона. Особенно важно отметить изменения коэффициентов теплостойкости, температурной чувствительности и коэффициента водостойкости. Наилучшие физико-механические характеристики асфальтобетона достигаются при вводе 0,28% структурирующей добавки от асфальтобетонной смеси [62].

Выводы по главе 4

Выход биогаза на водном субстрате составил 19,86 м³ или в среднем 0,76 м³/сут.

При вводе рециркулята эффлюента для приготовления субстрата достигается не только экономия чистой воды, но и ускоряется процесс разложения отхода на 130% (в 2,3 раза). Скорость образования биогаза, глубина переработки отхода лучше при анаэробном сбраживании субстрата на рециркуляте по сравнению с разложением субстрата на воде. Объема образуемого биогаза также в 1,47 раза больше от переработки субстрата на рециркуляте – 1,12 м³ против 0,76 м³.

Установлено, что на разделение сепаратором 800 кг эффлюента затрачивается в среднем 0,49 м³ биогаза, то есть на сепарацию 1 т жидкого эффлюента потребуется 0,61 м³ биогаза. При сепарации 800 кг эффлюента получаем в среднем 695 кг рециркуляционной жидкости и 105 кг твердой фракции. Соответственно, из 1 т эффлюента получаем в среднем 869 кг рециркулята и 131 кг твердой фракции. Определено водородное число рабочего раствора для экстракции, которая составляет 12 при температуре 70,1 °С. Количество гидроксида калия составило 1,0±0,1% по массе.

На разделение 800 кг эффлюента и 530 кг щелочного экстракта расходуется 0,80-0,85 м³ биогаза, что значительно меньше получаемого количества биогаза. При сепарации щелочного экстракта получено в среднем 443 кг ОМГУ с влажностью 97-98% и 87 кг СДА с влажностью 70-75%. В ОМГУ содержание сухого вещества составляет в среднем 75 г/л.

Установлен оптимальный состав для СДА - 85% сырья и 15% ВМГЗ. Наивысшие значения пенетрации и растяжимости при 0 °С установлены у битума с 5% содержанием СДА. Наивысшее значение коэффициента водостойкости асфальтобетона достигаются при вводе 0,28% структурирующей добавки от асфальтобетонной смеси.

ГЛАВА 5. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ЛИНИИ ПО УТИЛИЗАЦИИ СВИНОГО НАВОЗА

5.1 Технико-экономическое обоснование разработанной технологической линии и методика расчета экономической эффективности

Разработанная технологическая линия по утилизации свиного навоза представляет собой техническое решение для сельскохозяйственных предприятий Российской Федерации. Основными особенностями данной разработки являются получение повышенного выхода биогаза, органоминерального гуминового удобрения и структурирующей добавки для асфальтобетона.

Для определения экономической эффективности применения технологии безотходной утилизации свиного навоза в биогаз, органоминеральное гуминовое удобрение и структурирующей добавки для асфальтобетона разработана технологическая линия. Оценка эффективности проведена для условий группы хряков в свиноферме с содержанием 71 головы в Республике Саха (Якутия), что позволяет провести сопоставимый анализ с имеющимися исследованиями.

Экономическая эффективность оценивается по нескольким ключевым параметрам:

- капитальные затраты на создание технологической линии;
- эксплуатационные расходы;
- снижение приведенных затрат на переработку единицы навоза по сравнению с существующим вариантом, а также годовой экономический эффект, включающий и экологические факторы. При расчетах учитывались региональные особенности, включая стоимость электроэнергии, доступность материалов и количество работников. Методика расчета основана на рекомендациях [30] и [35].

Критерием оценки экономической эффективности является сравнительный годовой экономический эффект $\mathcal{E}_Г$, который определяется по формуле 5.1.

$$\mathcal{E}_Г = (Z_C - Z_P) \cdot P_Г + \sum \mathcal{E}_{ТЗ} + Q_{\text{прод}} \quad (5.1)$$

Где, Z_C и Z_P – приведенные затраты по существующему и разработанному способу на единицу перерабатываемого и утилизируемого навоза;

$P_Г$ (т) – годовой объем перерабатываемого навоза;

$\Sigma \mathcal{E}_{\text{тз}}$ (руб.) – сумма эффектов от ликвидации ущербов, причиненных техногенными загрязнениями (экологический эффект);

$Q_{\text{прод}}$ (руб.) – стоимость товарной энергии (доход) от получения биогаза, органоминерального удобрения и структурирующей добавки для асфальтобетона.

5.2 Расчет капитальных и эксплуатационных затрат

Для проведения сравнительного анализа в качестве существующих вариантов приняты традиционная система утилизации навоза, включающее вывоз с хранением в лагунах и традиционная анаэробная биогазовая технология. Новой является разработанная безотходная технология утилизации свиного навоза. Годовой объем утилизации свиного навоза ($P_{\text{год}}$) для свинофермы на 71 голову свиней-хряков, на основе нормы выхода 11,1 кг/сут по [124] равен:

$$P_{\text{год}} = \frac{71 \text{ гол} \cdot 11,1 \text{ кг/гол} \cdot \text{сут} \cdot 365}{1000} = 287,66 \text{ т/год} \quad (5.2)$$

5.2.1 Капитальные затраты вариантов утилизации свиного навоза

Капитальные затраты для варианта устройства лагун составляют:

- стоимость строительства навозохранилища объемом 300 м³ – 400 000 руб.;
- включает земляные работы, укрепление стенок, организацию подъездных путей;
- удельные капиталовложения составляют:

$$K_{\text{уд}} = \frac{400000,00}{287,66} = 1390,53 \text{ руб./т.} \quad (5.3)$$

5.2.2 Капитальные затраты для предлагаемого варианта утилизации свиного навоза

Капитальные затраты предлагаемой безотходной технологии утилизации представлены в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Капитальные затраты по предлагаемой безотходной технологии утилизации производительностью 287,66 т/год

№	Наименование оборудования	Количество, шт	Стоимость единицы, руб.	Сумма, руб.
1	Метантенк объемом 1,5 м ³	21,0	100000,00	2100000,00
2	Трубопроводы для загрузки субстрата и выгрузки эффлюента	2,0	15000,00	30000,00
3	Насос для загрузки субстрата навоза Fancu 100WQ50-7-2.2/2	1,0	50000,00	50000,00
5	Трубопровод для перекачки эффлюента и экстракта	1,0	40000,00	40000,00
6	Шнековый сепаратор Bauer 3.2-520	1,0	3855600,00	3855600,00
7	Газгольдер	1,0	100000,00	100000,00
8	Компрессор для закачки биогаза в баллон Coltri MCH-6/ET	1,0	225000,00	225000,00
9	Метановый баллон объемом 100 л	5,0	41000,00	205000,00
10	Газовый генератор REG GG14-380-S мощностью 13 кВт	1,0	550000,00	500000,00
11	Щелочной реактор объемом 1,5 м ³ с фекальным насосом	1,0	200000,00	200000,00
12	Емкость для приема органического удобрения объемом 5 м ³	1,0	30000,00	30000,00
13	Емкость для приема структурирующей добавки асфальтобетона объемом 0,5 м ³	1,0	5000,00	5000,00
14	Устройство для перемешивания СДА	1,0	30000,00	30000,00
Итого				7393600,00

Удельные капиталовложения на единицу продукции для предлагаемой технологии определяется по формуле 5.4:

$$K_{уд} = \frac{7393600,00}{287,66} = 25702,57 \text{ руб./т.} \quad (5.4)$$

5.2.3 Расчет эксплуатационных расходов

Далее представлен эксплуатационный расход традиционной биогазовой технологии, который включает в себя затраты на электроэнергию, амортизацию, техническое обслуживание и ремонты:

В таблице 5.2 представлены сведения по затратам электроэнергии:

Таблица 5.2 – Затраты электроэнергии по традиционной биогазовой технологии

№	Оборудование	Мощность, кВт	Время работы, ч/год	Потребление кВт·ч/год	Затраты, руб./год
1	Насос щелочного реактора	0,35	1500	511,00	4936,26
2	Компрессор для загрузки баллона	2,2	1427	3139,40	30326,60
3	Шнековый сепаратор	5,5	75	412,50	3984,75
4	Насос фекальный	2,2	113	248,6	2402,06
	Итого			4311,5	41649,67

В таблице 5.3 представлены затраты на приготовление щелочного раствора для приготовления органоминерального гуминового удобрения

Таблица 5.3 – Затраты на приготовление щелочного раствора

№	Наименование продукции	Единица измерения	Цена за единицу, руб	Количество, единиц	Всего, руб./год
1	Гидроксид калия	кг	250,00	1520,00	380000,00
2	Горячая вода	м ³	241,05	152,00	36639,60
	Итого				416639,60

Затраты на амортизацию оборудования на единицу перерабатываемого навоза рассчитывается по формуле:

$$A_M = \frac{(\sum E_i \cdot a_i)}{P_{\text{год}}} \quad (5.4)$$

Где, a_i – коэффициент отчислений на амортизацию (при сроке службы 10 лет, $a_i = 0,1$)

$$A_m = \frac{7393600,00 \cdot 0,1}{287,66} = 2570,26 \text{ руб./т.} \quad (5.5)$$

Затраты на капитальный, текущий ремонты и техническое обслуживание (P_m) на единицу перерабатываемого навоза рассчитываются по формуле 5.6

$$P_m = \frac{\sum(E_i (R_{ki} + R_{ti}))}{P_{\text{год}}} \quad (5.6)$$

где, R_{ki} , R_{ti} – коэффициенты отчислений на капитальный и текущий ремонт (приняты суммарно 0,05)

$$P_m = \frac{7393600,00 \cdot 0,05}{287,66} = 1285,13 \text{ руб./т.} \quad (5.7)$$

Таким образом, прямые годовые эксплуатационные затраты на единицу утилизируемого навоза $C_{уд}$ для нового варианта составляют:

$$C_{уд} = A_m + P_m + \frac{\text{Э}}{P_{\text{год}}} + \frac{\text{Щ}}{P_{\text{год}}}, \text{ руб./т} \quad (5.8)$$

$$C_{уд} = 2570,26 + 1285,13 + 144,79 + 1448,38 = 5448,56 \text{ руб.} \quad (5.9)$$

Для базового варианта (транспортировка и хранение) эксплуатационные затраты в условиях Республики Саха (Якутия) оцениваются в 3000 руб./т (включая стоимость транспортировки, аренду техники и зарплату водителей).

Приведенные затраты по вариантам определяются в следующем виде:

$$З = C_{уд} + E_n \cdot K_{уд}, \text{ руб./т.} \quad (5.10)$$

где, E_n – нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений ($E_n = 0,15$):

$$\text{– существующий вариант: } З_6 = 3000 + 0,15 \cdot 1390,53 = 3208,58 \text{ руб./т.} \quad (5.11)$$

$$\text{– предлагаемый вариант: } З_n = 5448,56 + 0,15 \cdot 25702,57 = 9303,95 \text{ руб./т.} \quad (5.12)$$

5.3 Расчет годового экономического эффекта

Годовой экономический эффект ($\text{Э}_г$), рассчитывается по формуле 5.1 и включает в себя эффект от снижения (повышения) затрат.

Эффект от снижения (повышения) приведенных затрат на утилизацию навоза составляет:

$$(Z_6 - Z_n) \cdot P_{\text{год}}, \text{руб./год} \quad (5.13)$$

$$(3208,58 - 9303,95) \cdot 287,66 = -1\,753\,394,14 \text{ руб./год} \quad (5.14)$$

Стоимость товарной электроэнергии от переработки биогаза (Q_6):

– годовой выход биогаза: 7,47 тыс. м³/год;

– стоимость эквивалентной произведенной электроэнергии:

$$7470,00 \cdot 2,00 \cdot 9,66 = 144320,4 \text{ руб./год.}$$

Эффект (доход) от получения органоминерального гуминового удобрения:

– объем произведенных удобрений:

$$287,66 \cdot 0,70 = 201,36 \text{ т/год}$$

– стоимость органоминеральных гуминовых удобрений:

$$201362 \cdot 40 = 8054480,00 \text{ руб./год}$$

Эффект (доход) от структурирующей добавки для асфальтобетона:

– объем произведенной добавки: 6,34 т/год;

– стоимость структурирующей добавки для асфальтобетона:

$$6340 \cdot 25 = 158500,00 \text{ руб./год}$$

Общий годовой экономический эффект:

$$Э_r = -1753394,14 + (144320,4 + 8054480,00 + 158500,00) = 6\,603\,906,26 \text{ руб./год}$$

Срок окупаемости:

$$T_{\text{ок}} = \frac{7\,393\,600,00}{6\,603\,906,26} = 1,12 \text{ года} \approx 13,44 \text{ месяца}$$

В таблице 5.4 представлены сравнительная экономическая эффективность вариантов утилизации.

Таблица 5.4 – Сравнительная экономическая эффективность

№	Показатель	Единица измерения	Базовый вариант	Предлагаемый вариант
1	Годовой объем утилизируемого отхода	т	287,66	287,66
2	Капиталовложения	руб./т	300000,00	7 393 600,00
3	Удельные капиталовложения	руб./т	1390,53	24 833,49
4	Эксплуатационные затраты	руб./т	3000,00	5448,56
5	Приведенные затраты	руб./т	3208,58	9303,95
6	Эффект от повышения приведенных затрат	руб./год	-	-1753394,14
7	Доход от эквивалентного произведенного электричества	руб./год	-	144 320,40
8	Доход от органоминеральных гуминовых удобрений	руб./год	-	8 054 480,00
9	Доход от структурирующей добавки для асфальтобетона	руб./год	-	158 500,00
10	Годовой экономический эффект	руб./год	-	6 603 906,26
11	Срок окупаемости капиталовложений	год/мес.	-	1,12/13,44

Годовой экономический эффект от внедрения технологической линии составляет 6 603 906,26 руб. и формируется за счет нескольких факторов:

- доход от произведенного эквивалентного электричества 144320,4 руб./год;
- доход от органоминеральных гуминовых удобрений 8054480,00 руб./год;
- доход от структурирующей добавки для асфальтобетона 158500,00 руб./год.

Рассчитанный срок окупаемости капитальных вложений составляет 1,12 год (около 13,44 месяца), что свидетельствует о высокой экономической целесообразности и эффективности предлагаемого технического решения.

Выводы по главе 5

Капитальные затраты на изготовление технологической линии по безотходной утилизации свиного навоза составляют 7393600,00 руб.

Ожидаемые приведенные затраты составят 9303,95 руб./т., при этом годовой доход от реализации всех товарных продуктов составит 8357300,4 руб./год.

Годовой экономический эффект от внедрения новой технологической линии по безотходному способу утилизации свиного навоза достигает 6603906,26 руб./год при сроках окупаемости менее двух лет.

Расчеты подтверждают экономическую целесообразность внедрения разработанной технологической линии в малых свиноводческих предприятиях, ведущих хозяйственную деятельность в условиях Крайнего Севера.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Уточнены параметры накопительной психрофильной биогазовой технологии анаэробной переработки - с 1 кг субстрата свиного навоза, разбавленного водой до влажности 92-93%, образуется порядка 0,030 м³ биогаза с содержанием метана более 80%; период полного разложения составляет в среднем 26 дней.

2. Обоснован новый способ утилизации, позволяющий создать замкнутую, безотходную и ресурсосберегающую переработку бесподстилочного свиного навоза с получением 4 видов товарных продуктов – жидкого эффлюента, биогаза, органоминерального гуминового удобрения (ОМГУ) и структурирующей добавки для асфальтобетона (СДА). ОМГУ и СДА – новые продукты. На СДА получены Евразийский патент на изобретение №053350 и патент РФ на изобретение №2839275.

Усовершенствован процесс приготовления сбраживаемого субстрата путем разведения свежего навоза рециркуляционной жидкостью эффлюента, содержащего колонию активных метаногенных бактерий. При этом, скорость образования биогаза повышается в 2,3 раза; суточный выход биогаза увеличивается в среднем в 1,47 раз; период наиболее полного разложения субстрата сокращается с 26 дней до 21 дня, т.е. в 1,23 раза по сравнению с традиционной биогазовой технологии. Агрессивный отход не покидает пределов комплекса и утилизируется непосредственно в свиноводческом помещении.

При сепарации 1 т эффлюента получается 129 – 134 кг твердой фракции с влажностью 65-70% и 866-871 кг жидкой фракции эффлюента, обсемененной метаногенными бактериями (рециркулята). При этом сепаратор затрачивает ~ 1,22 кВт·ч электроэнергии эквивалентной 0,61 м³ биогаза.

Из 1 т жидкого эффлюента при щелочной экстракции получается более 550 кг органоминерального гуминового удобрения и более 109 кг сырья для структурирующей добавки для асфальтобетона.

Установлено, что для щелочной экстракции в 100 кг твердожидкого эффлюента следует вводить ~ 405 кг раствора 1,0%-го гидроксида калия и далее гомогенизировать экстракт в течении 4 ч.

Экономико-математическая модель раскрывает эффективность нового способа путем оценки себестоимости основного продукта - органоминерального гуминового удобрения.

3. Динамическая модель, раскрывает кинетику анаэробного разложения в психрофильном накопительном режиме сбраживания, с учетом этапов появления, продуцирования и метаболизма колонии психрофильных метаногенных бактерий, вводимых в свежий навоз с рециркуляционной жидкостью эффлюента. Доказано, что ее введение увеличивает среднесуточный выход биогаза с $0,95 \text{ м}^3/\text{т}$ до $1,4 \text{ м}^3/\text{т}$ со стабилизацией выхода на 8-9 сутки.

4. Рассчитана технико-экономическая эффективность разработанного нового способа утилизации: при капиталовложениях 7393600,00 руб. для утилизации около 300 т свиного навоза срок окупаемости составит 1,12 года (13,44 месяца), что свидетельствует о высокой экономической целесообразности и эффективности предлагаемого технического решения.

Рекомендации производству

Разработанный новый способ может использоваться для организации безотходной, ресурсосберегающей и замкнутой утилизации бесподстильного свиного навоза на фермерских хозяйствах, ведущих деятельность в условиях Крайнего Севера.

Перспективы дальнейшей разработки темы

Дальнейшие разработки темы будут направлены на повышение эффективности обеспечения экологической безопасности прифермских наземных навозохранилищ из монолитного асфальтобетона изготовленных с применением СДА.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Александрова И. В. О физиологической активности гумусовых веществ и продуктов метаболизма микроорганизмов // Органическое вещество целинных и освоённых почв. – М., 1972 – 103 с.
2. Алёшкин В.Р., Роцин П.М. Механизация животноводства. 2-е издание переработанное и дополненное. - М.: Колос, 1993 – 319 с.
3. Апажев А.К., Фиापшев Б.А., Хажметов Л.М., Егожев А.М., Фиапшев А.Г. Моделирование тепловых процессов в биогазовой установке // Техника и технологии в животноводстве– 2025–Т. 15–№ 1–С. 77-82.
4. Апажев А.К., Шекихачев Ю.А., Дзуганов В.Б., Хажметов Л.М., Фиапшев А.Г., Фиапшев Б.А. Оптимизация параметров и режимов работы биогазовой установки. // Аграрный научный журнал– 2023–№ 6–С. 115-121.
5. Апажев А.К., Фиапшев Б.А., Фиапшев А.Г., Кильчукова О.Х., Пазова Т.Х., Дзуганов В.Б. Переработка помета и навоза в биогазовых установках. // Электротехнологии и электрооборудование в АПК–2023–Т. 70–№ 2 (51)–С. 100-105
6. Ахмадова, Х. Х. Основные способы модификации битумов различными добавками / Х.Х. Ахмадова / Ж.Т. Хадисова, Л.Ш. Махмудова, З.А. Абдулмежидова [и др.]. //Вестник ГГНТУ. Технические науки. – 2019. – Т. 15. – №. 3. – С. 42–56.
7. Баадер В., Доне Е., Брайндерфер М. Биогаз: теория и практика. (Пер. с нем. и предисловие М.И.Серебрякого). М. Колос, 1982. – 148 с.
8. Бадмаев, Ю. Ц. Совершенствование технологии анаэробной переработки навозных стоков свиноводства в условиях Республики Бурятия : специальность 05.20.01 «Технологии и средства механизации сельского хозяйства» : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Бадмаев Юрий Цырендоржиевич, 2021. – 152 с.
9. Барагунов А.Б., Фиапшев Б.А., Шекихачев Ю.А., Балкаров Р.А., Дзуганов В.Б., Фиапшев А.Г. Исследования процесса газообразования в биогазовой установке // Техника и технологии в животноводстве. 2026. Т. 16. № 1. С. 103-108.

10. Барышников А.В., Параметры процесса разделения жидкого навоза свиноводческих ферм мобильной установкой: специальность 05.20.01 «Технологии и средства механизации сельского хозяйства»: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук /Барышников Алексей Владимирович. – Зерноград, 2022. – 31 с.

11. Барышников, А. В. Результаты экспериментальных исследований мобильной установки для разделения жидкого навоза на фракции / А. В. Барышников // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2021. – № 11(205). – с. 98-103. – DOI 10.53083/1996-4277-2021-205-11-98-103.

12. Бацанов И.Н., Лукьяненко И.И. Уборка и утилизация навоза на свиноводческих комплексах. – М.: Россельхозиздат, 1977.

13. Белюченко, И. С. Дисперсные и коллоидные системы отходов и их коагуляционные свойства / И. С. Белюченко // Экологический Вестник Северного Кавказа. – 2013. – Т. 9, № 1. – с. 13-38.

14. Биоиндикация и биомониторинг / под ред. Д. А. Криволуцкого. - М.: Наука, 1993. - 120 с.

15. Бондаренко А.М., Качанова Л. С., Челбин С. М., Головки А. Н. Исследование процесса производства гуминовых органоминеральных удобрений в системе экономической безопасности страны // Дальневосточный аграрный вестник. – 2022. – Т. 16, № 1. – С. 95-103.

16. Бондаренко А. М., Качанова Л.С., Барышников А.В. Определение технологических и конструктивных параметров щеточного шнека для переработки жидкого навоза в составе мобильной установки// International Agricultural Journal. – 2022. – Т. 65, № 3.

17. Бондаренко А.М., Качанова Л.С., Барышников А.В. Регенерация органических отходов свиноводческих предприятий мобильной установкой как способ вовлечения потенциальных отходов в экономику замкнутого цикла // Дальневосточный аграрный вестник. – 2022. – Т. 16, № 2. – с. 124-131.

18. Бондаренко А.М., Качанова Л.С., Головки А.Н., Челбин С.М. Техно-
технологическое обоснование обеззараживания жидкого навоза

животноводческих предприятий на основе ресурсосбережения // Вестник аграрной науки Дона. 2024. Т. 17. № 4 (68). С. 48-58.

19. Бондаренко А.М., Качанова Л.С., Челбин С.М. Технологические основы процесса производства гуминовых органоминеральных удобрений / А. М. Бондаренко, Л. С. Качанова, С. М. Челбин // Дальневосточный аграрный вестник. – 2022. – Т. 16, № 4. – С. 93-99.

20. Бышов Н.В. Концептуальная модель энергетической эффективности получения экологически безопасного утилизационного свиного бесподстилочного навоза / Н. В. Бышов, И. А. Успенский, И. А. Юхин [и др.] // Инженерные технологии и системы. – 2020. – Т. 30, № 3. – С. 394-412. – DOI 10.15507/2658-4123.030.202003.394-412.

21. Васильев, А. А. Эффективность фолиарного применения хелатных микроэлементов на культуре картофеля / А. А. Васильев // Вестник КрасГАУ. – 2013. – № 12(87). – С. 83-87.

22. Васильев, В.А. Справочник по органическим удобрениям [Текст]: 2-е изд., перераб. и доп. / В.А. Васильев, Н.В. Филиппова. - М.: Росагропромиздат, 1988. - 225 с.

23. Васильев, Ф. А. Технология анаэробной переработки навоза крупного рогатого скота в накопительном режиме: специальность 05.20.01 «Технологии и средства механизации сельского хозяйства»: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Васильев Филипп Александрович. – Иркутск, 2011. – 184 с.

24. Васильева, А. С. Повышение эффективности анаэробной переработки навозных стоков свиноводческих предприятий: специальность 05.20.01 «Технологии и средства механизации сельского хозяйства»: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Васильева Аяна Сергеевна, 2017. – 136 с.

25. Веденев А.Г., Веденева Т.А., ОФ «Флюид» Биогазовые технологии в Кыргызской Республике. - Б.: Типография «Евро», 2006. - 90 с.

26. Головки А.Н., Бондаренко А.М., Гвоздев А.В. Имитационная модель процесса глубокой очистки жидких стоков животноводческих предприятий // Вестник аграрной науки Дона. – 2025. – Т. 18, № 3(71). – С. 45-59.

27. Головки А.Н., Бондаренко А.М. Технологические аспекты очистки навозных стоков // Дальневосточный аграрный вестник. – 2024. – Т. 18, № 1. – С. 65-73.

28. ГОСТ 12801-98. Межгосударственный стандарт. Материалы на основе органических вяжущих для дорожного и аэродромного строительства. Методы испытаний введ. 01-01-1999 МНТКС. – 1999. – 53 с.

29. ГОСТ 22245-90. Битумы нефтяные дорожные вязкие. Технические условия. – введ. 01.01.1991. – М.: Издательство стандартов, 1990 – 9 с.

30. ГОСТ 23730-88 «Техника сельскохозяйственная. Методы экономической оценки универсальных машин и технологических комплексов»

31. ГОСТ 33133-2014. Дороги автомобильные общего пользования. Битумы нефтяные дорожные вязкие. Технические требования. – введ. 01.10.2015. – М.: Стандартиформ, 2015 – 7 с.

32. ГОСТ 33830-2016. Удобрения органические на основе отходов животноводства. Технические условия – М.: Стандартиформ – 2020 – 11 с.

33. ГОСТ 9128-2013. Межгосударственный стандарт. Смеси асфальтобетонные, полимерасфальтобетонные, асфальтобетон, полимерасфальтобетон для автомобильных дорог и аэродромов. Технические условия. – введ. 01-11-2014. – М.: Стандартиформ, 2014. – 50 с.

34. ГОСТ Р 52129-2003. Порошок минеральный для асфальтобетонных и органоминеральных смесей. Технические условия. – введ. 01.10.2003. – М.: Госстрой России, 2004 – 33 с.

35. ГОСТ Р 113.15.01-2019 «Наилучшие доступные технологии. Рекомендации по обработке, утилизации и обезвреживанию органических отходов сельскохозяйственного производства».

36. ГОСТ Р 58401.1-2019. Дороги автомобильные общего пользования. Смеси асфальтобетонные дорожные и асфальтобетон. Система объемно-

функционального проектирования. Технические требования – введ. 01.06.2020. – М.: Стандартиформ, 2020. – 27 с.

37. ГОСТ Р 58406.1-2020. Дороги автомобильные общего пользования. Смеси щебеночно-мастичные асфальтобетонные и асфальтобетон. Технические условия. – введ. 01.06.2020. – М.: Стандартиформ, 2020. – 19 с.

38. ГОСТ Р 58406.2-2020. Дороги автомобильные общего пользования. Смеси горячие асфальтобетонные и асфальтобетон. Технические условия. – введ. 01.06.2020. – М.: Стандартиформ, 2020. – 27 с.

39. ГОСТ Р 70648-2023. Дороги автомобильные общего пользования. Смеси холодные асфальтобетонные и асфальтобетон. Общие технические условия. – введ. 01.03.2023. – М.: Российский институт стандартизации, 2023 – 26 с.

40. Гайфуллин И. Х., Зиганшин Б.Г., Халиуллин Д.Т., Шогенов Ю.Х. Применение биогазовой установки для получения биоудобрения из навоза КРС // Техника и технологии в животноводстве. – 2026. – Т. 16, № 1. – С. 109-116.

41. Гайфуллин И. Х., Зиганшин Б.Г., Халиуллин Д.Т. Совершенствование режимов работы биогазовой установки / // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2025. – Т. 20, № 2(78). – С. 72-78.

42. Гайфуллин И. Х., Зиганшин Б.Г., Зиннатуллина А.Н., Шогенов Ю.Х. Математическое моделирование влияния температуры на анаэробное сбраживание органических отходов в малообъемной биогазовой установке // Техника и технологии в животноводстве. – 2025. – Т. 15, № 1. – С. 69-76.

43. Гайфуллин И. Х., Зиганшин Б.Г., Шогенов Ю.Х. Гидродинамическая оптимизация реактора с иммерсионной мешалкой для гомогенизации биомассы // Техника и технологии в животноводстве. – 2025. – Т. 15, № 3. – С. 65-72.

44. Гайфуллин И. Х., Халиуллина З.М., Зиганшин Б.Г. Утилизация органических отходов сельского хозяйства с получением биоудобрений и биогаза // Агробиотехнологии и цифровое земледелие. – 2025. – Т. 4, № 1(13). – С. 16-23.

45. Гайфуллин И. Х., Зиганшин Б.Г., Шорников А.В., Иванов Б.Л., Зиннатуллина А.Н. Теоретические аспекты процесса получения биогаза при анаэробной

ферментации органических отходов// Техника и технологии в животноводстве. – 2024. – Т. 14, № 1. – С. 90-95

46. Гузенко, К. В. Компостирование органических отходов / К. В. Гузенко // Научные аспекты современных исследований: Международная научно-практическая конференция, Уфа, 18 августа 2015 года / Ответственный редактор: Сукиасян Асатур Альбертович. – Уфа: Общество с ограниченной ответственностью "Омега Сайнс", 2015. – с. 37-39.

47. Гюнтер Л.И., Гольдфрах Л.Л. Метантенки. - М.: Стройиздат, 1991. – 128 с.

48. Гюнтер Л.И., Гольдфрах Л.Л. Основные технологические параметры анаэробного сбраживания осадков сточных вод / Тезисы докладов совещания по технической биоэнергетике «Биогаз-87». - Рига, 1987. - с.36.

49. Данилович Д.А., Монгайт Л.И. Выбор технологии и аппаратного оформления для анаэробной очистки больших расходов высококонцентрированных сточных вод / Тезисы докладов республиканской конференции. – Кишинев, 1988. - с.10-16.

50. Денисов В.П., Полимерно-битумное вяжущее с комплексной добавкой и асфальтобетон на его основе / Денисов В.П. // Диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук. – Белгород, Белгородский государственный технический университет имени В.Г. Шухова. – 2022. – 195 с.

51. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта с основами статистической обработки результатов исследований. – М.: Агропромиздат, 1983. – 351 с.

52. Дрейпер Н., Смит Г. Прикладной регрессионный анализ: В 2-х кн. Кн. 2/ Пер. с англ. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Финансы и статистика, 1987. – 351 с., ил.

53. Друзьянова, В. П. Обоснование экономико-математической модели эффективности предлагаемой технологической линии на основе биогазовой технологии / В. П. Друзьянова, О. С. Едисеев // Вестник ВСГУТУ. – 2025. – № 2(97). – с. 78-84.

54. Друзьянова, В. П. Энергосберегающая технология переработки навоза крупного рогатого скота: специальность 05.20.01 «Технологии и средства механизации сельского хозяйства»: диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Друзьянова Варвара Петровна, 2016. – 277 с.

55. Друзьянова, Варвара Петровна Ресурсосберегающая технология утилизации бесподстилочного навоза крупного рогатого скота в условиях Республики Саха (Якутия): диссертация кандидата технических наук: 05.20.01 Иркутск 2004.

56. Евразийский патент на изобретение №053350, Способ получения модификатора для дорожного битума из отходов животноводства: №202592858: заявл: 30.10.2025: опубл: 07.05.2026 / Анисимов Е.В., Данилова С.Н., Друзьянова В.П., Едисеев О.С., Едисеева Е.В., Филиппов Д.В.; заявитель Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова».

57. Едисеев, О.С. Возможности биогазовой технологии на основе отходов свиноводства / О.С. Едисеев, В. П. Друзьянова // Актуальные вопросы инженерно-технического и технологического обеспечения АПК : Материалы X Национальной научно-практической конференции с международным участием, посвящённой 90-летию со дня рождения Заслуженного деятеля науки и техники РФ, доктора технических наук, профессора Терских Ивана Петровича, Молодёжный, 06–08 октября 2022 года / Редколлегия: Н.Н. Дмитриев [и др.]. – Молодёжный: Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского, 2022. – С. 165-169.

58. Едисеев, О. С. Динамическая модель процесса анаэробной утилизации субстрата, разжиженного рециркуляционной жидкостью эффлюента Едисеев О.С., Друзьянова В.П., Петров Н.В., Хитерхеева Н.С. // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. – 2025. – № 6.

59. Едисеев, О.С. Переработка твердых отходов свиноводства гидролизным методом для получения модификатора битумного вяжущего / О.С. Едисеев, С. Н. Данилова, В. П. Друзьянова // Актуальные вопросы строительства: взгляд в будущее – Красноярск: Инженерно-строительный институт ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет», 2023. – С. 373-375.

60. Едисеев, О.С. Получение модифицирующей добавки для битума из переработанных отходов свиного навоза / В. П. Друзьянова, О.С. Едисеев // Научно-технологическое развитие агропромышленного комплекса: приоритеты и вызовы: материалы Всероссийской (национальной) научно-практической конференции, посвященной Дню российской науки, Улан-Удэ, 03–07 февраля 2025 года. – Улан-Удэ: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Бурятская государственная сельскохозяйственная академия имени В. Р. Филиппова", 2025. – С. 363-369.

61. Едисеев, О.С. Получение структурирующей добавки для асфальтобетона из переработанных отходов свиного навоза / О.С. Едисеев, В. П. Друзьянова // Агропромышленный комплекс: проблемы и перспективы развития: материалы всероссийской научно-практической конференции, посвященной 75-летию Дальневосточного государственного аграрного университета. В 3 т., Благовещенск, 16–17 апреля 2025 года. – Благовещенск: Дальневосточный государственный аграрный университет, 2025. – С. 275-280.

62. Едисеев, О. С. Разработка состава асфальтобетона для устройства площадки хранения твёрдых отходов животноводства / О. С. Едисеев, В. П. Друзьянова // АгроЭкоИнфо. – 2025. – № 2(68).

63. Едисеев, О. С. Технология переработки свиного эффлюента с получением нового продукта в виде структурирующей добавки асфальтобетона / О. С. Едисеев, В. П. Друзьянова // Дальневосточный аграрный вестник. – 2025. – Т. 19, № 2. – с. 115-125.

64. Едисеев О.С. Технология получения исходного сырья для модификации дорожных битумов из эффлюента анаэробного сбраживания / О. С. Едисеев, В. П. Друзьянова // Стратегия и перспективы развития агротехнологий и лесного комплекса Якутии до 2050 года : Сборник научных статей по материалам Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, посвященной 100-летию образования Якутской АССР и 85-летию Первого президента РС(Я) М. Е. Николаева (Николаевские чтения), Якутск, 17 ноября 2022 года. – Якутск: Издательство "Знание-М", 2022. – С. 248-254.

65. Заболотских В.В., Гомоницкая А.С., Кутмина С.В. Технологические приёмы улучшения качества компоста, получаемого из органических отходов // Известия Самарского научного центра Российской академии наук, – 2016. – Т.18. – №5(3). – с. 437 – 445.

66. Зиганшин Б.Г., Гайфуллин И.Х., Фахреев Н.Н. Математическое моделирование и экспериментальные исследования газификации отходов птицеводства // Техника и технологии в животноводстве. – 2022. – № 3(47). – С. 78-84.

67. Зиганшин Б. Г., Фахреев Н.Н., Кочкаринов Н.С. Внедрения установок термической утилизации отходов агропромышленного комплекса (экономическая оценка) // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2025. – № 207. – С. 307-312.

68. Золотарев, В.А. Дорожные асфальтобетоны. Избранные труды. Том 3 / В.А. Золотарев – 1-е издание – Санкт–Петербург: Славутич, 2015. – 184 с.

69. Ильин, С. Н. Ресурсосберегающая технология переработки свиного навоза с получением биогаза: специальность 05.20.01 «Технологии и средства механизации сельского хозяйства»: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Ильин Сергей Николаевич. – Иркутск, 2005. – 171 с.

70. ИТС 41-2023. Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям. Интенсивное разведение свиней – М.: Росстандарт, 2023 – 340 с.

71. Калгин Ю.И. Дорожные битумоминеральные материалы на основе модифицированных битумов: монография / Ю.И. Калгин // – Воронеж: Изд-во Воронеж ун-та, 2006. – 271 с.

72. Калгин Ю.И. Научные основы получения и применения дорожных материалов с использованием модифицированных битумов: дис. ... док. техн. Наук / Ю. И. Калгин. – Саранск, 2007. – 454 с.

73. Калмыков В. П. Компостирование жидкого свиного навоза с соломой / В. П. Калмыков // Проблемы комплексной механизации животноводства : Сборник научных трудов/ВНИПТИМЭСХ / Всесоюзная ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени академия сельскохозяйственных наук им. В.И. Ленина

(ВАСХНИЛ); ВНИПТИМЭСХ; Редакционная коллегия: академик ВАСХНИЛ М.С. Рунчев (ответственный редактор), канд. техн. наук Ю.М. Сисюкин, В.П. Коваленко, Н.И. Кучмасов, Н.И. Агафонов, А.Н. Михальчук, канд-ты экон. наук В.Ф. Бирман (ответственный секретарь), А.П. Перерва, М.К. Комарова. – зерноград: Печатно-множительная группа Всероссийского научно-исследовательского и проектно-технологического института механизации и электрификации сельского хозяйства, 1983. – с. 59-65.

74. Калюжный С.В. Биогаз: проблемы и решения. Биотехнология / С.В. Калюжный, А.Е. Пузанков, С.Д. Варфоломеев. – М.: ВИНТИ, 1988. – Т. 21. – 180 с.

75. Качанова Л. С. Совершенствование технологий переработки жидкого навоза на свиноводческих фермах / Л. С. Качанова, А. В. Барышников, С. А. Новиков // Международный технико-экономический журнал. – 2020. – № 5. – с. 44-52. – DOI 10.34286/1995-4646-2020-74-5-44-52.

76. Кидин В.В. Агрохимия / В.В. Кидин, С.П. Торшин. – М.: Проспект, 2016. – 603 с.

77. Кидин В.В. Органические удобрения / В.В. Кидин. – М.: Изд-во РГАУ-МСХА, 2012. – 166 с.

78. Кляусова Ю. В. Управление осадком метанового брожения биомассы для получения биогумуса / Ю. В. Кляусова, А. А. Цыганова, Г. В. Бельская // Вестник Брестского государственного технического университета. – 2024. – № 1(133). – С. 144-148.

79. Коба В.Г. Механизация и технология производства продукции животноводства / В.Г. Коба [и др.]. – М.: Колос, 1999. – 528 с.

80. Ковалёв Н.Г., Глазков И.К. Проектирование систем утилизации навоза на комплексах. -М.: Агропромиздат, 1989. - 160 с.

81. Ковалев Д.А., Ковалев А.А. Совершенствование технологии анаэробной переработки органических отходов животноводства // Вестник ВНИИМЖ. – 2015. – № 4. – С. 125-128.

82. Ковалев Я.Н. Активационные технологии дорожных композиционных материалов (научно-практические основы) // Мн.: Беларуская Энцыклапедыя, 2002. – 334 с.

83. Коваленко В.П. Механизация обработки бесподстилочного навоза.-М.: Колос, 1984.-159 с.

84. Кокиева Г. Е. Сокращение затрат материально-энергетических ресурсов и повышение эффективности их использования // Ларионовские чтения-2024: Сборник научно-исследовательских работ по итогам научно-практической конференции, Якутск, 22 марта 2024 года. – Якутск: Арктический государственный агротехнологический университет, 2024. – с. 170-189.

85. Колбановская А.С. Структурообразование дорожных битумов // Физико-химическая механика дисперсных структур // – М.: Наука, 1966. – С. 103–133.

86. Колтыпин, Ю.А. Биологические методы утилизации навоза / Ю. А. Колтыпин, М. Н. Сухова, Т. В. Ерофеева [и др.] // Биологические проблемы современного промышленного животноводства. Том Выпуск 4. – Дубровицы: Всесоюзный научно-исследовательский институт животноводства (ВИЖ), 1976. – С. 100-113.

87. Кормановский, Л.Н., Морозов Н.М., Цой Л.М. Обоснование системы технологий и машин для животноводства. - М.: ИК «Родник», ж-л «Аграрная наука»– 1999–228 с.

88. Короткевич В.А. Комплексная механизация в свиноводстве. – М.: Урожай,1989.-136 с.

89. Костенко, М.Ю. Анализ применения различных видов гуматов и способов их использования при возделывании картофеля / М. Ю. Костенко, И. Н. Горячкина, В. С. Тетерин [и др.] // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2018. – № 3(39). – С. 88-93.

90. Лачуга Ю.Ф., Шогенов Ю.Х.,Зиганшин Б.Г., Гайфуллин И.Х., Иванов Б.Л. Мобильная биогазовая установка для переработки отходов животноводства // Вестник аграрной науки. – 2023. – № 3(102). – С. 18-26.

91. Лер Р. Переработка и использование сельскохозяйственных отходов / Перевод с англ. В. В. Новикова– М: Колос, 1979.-415 с, ил.

92. Лимаренко, Н. В. Повышение эффективности обеззараживания бесподстилочного навоза: специальность 05.20.01 «Технологии и средства механизации сельского хозяйства»: диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Лимаренко Николай Владимирович, 2022. – 397 с.

93. Мирошникова В.В., Мирошников М.А. Современные технологические процессы утилизации навоза крупного рогатого скота // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. – 2014. – № 2(14). – С. 150-165.

94. Новиков, В.М., Механизация уборки и утилизации навоза [Текст] / В.М. Новиков, В.В. Игнатова, Ф.Ф. Костанди [и др.]. - М.: Колос, 1982. - 285 с.

95. Новиковский А. Битумные вяжущие и модификаторы для увеличения срока службы дорог // Дороги. Инновации в строительстве. – 2019. – № 81. – С. 118-129.

96. Ожигов В.П. Очерки теории инженерно-биологических систем (на примере животноводства). / Новосибирский государственный аграрный университет. Институт механизации сельского хозяйства. – Новосибирск.: 1996. – 202 с.

97. Ожигов В.П. Современное оборудование для удаления и переработки навоза и пути его совершенствования в связи с защитой окружающей среды: Лекция // Новосибир. государственный аграрный университет. - Новосибирск, 1993.- 51 с.

98. Орлов Д. С. Гумусовые кислоты почв и общая теория гумификации— Москва: Изд-во МГУ, 1990. – 324 с.

99. Осмонов, О.М. Научно-технические основы создания автономных биоэнергетических установок для крестьянских хозяйств в горных районах Киргизии: специальность 05.20.01 «Технологии и средства механизации сельского хозяйства»: диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Осмонов Орозмамат Мамасалиевич. – Москва, 2012. – 251 с.

100. Панцхава Е.С. Твердофазная метаногенерация высококонцентрированных отходов сельскохозяйственного производства и городов / Тезисы докладов республиканской конференции. - Кишинев, 1988. - с.5-9.

101. Панцхава Е.С. Биоэнергетика. Мир и Россия. Биогаз: теория и практика: монография / Е.С. Панцхава. – М.: Русайнс, 2014. – 972 с.

102. Патент № 2264371 С2 Российская Федерация, МПК C05F 7/00, C05F 11/00. Сапропелевый концентрат, содержащий гуминовые кислоты, и способ его получения: № 2003131375/12: заявл. 17.10.2003: опубл. 20.11.2005 / А. А. Новицкий.

103. Патент № 2500699 С1 Российская Федерация, МПК C08L 95/00, C08F 22/06. Адгезионная добавка для битумных композиций: № 2012113496/05: заявл. 06.04.2012: опубл. 10.12.2013 / Ю. К. Гусев, Е. В. Блинов, В. П. Юдин, В. Н. Папков. – EDN SMWCLO.

104. Патент № 2632839 С1 Российская Федерация, МПК C08L 95/00, C04B 26/26, C08L 17/00. Стабилизирующая добавка для щебеночно-мастичного асфальтобетона: № 2016119691: заявл. 20.05.2016: опубл. 10.10.2017 / А. Н. Телесов, А. А. Телесов, П. А. Телесов, Д. А. Ястремский; заявитель Общество с ограниченной ответственностью «Фирма Тюмень Эковата».

105. Патент № 2839275 С1 Российская Федерация, МПК B09B 3/70, C09D 195/00. Способ утилизации отходов животноводства для получения модифицирующей добавки для дорожного битума: заявл. 23.12.2024: опубл. 29.04.2025 / О. С. Едисеев, В. П. Друзьянова, С. Н. Данилова; заявитель Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова".

106. Патент № 2678673 С1 Российская Федерация, МПК C02F 11/04, C02F 3/28. Установка для анаэробного сбраживания: № 2017132640: заявл. 18.09.2017: опубл. 30.01.2019 / М. П. Таханов, Ф. А. Васильев, С. Н. Ильин, В. К. Евтеев; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского».

107. Патент № 2700858 С2 Российская Федерация, МПК C04B 26/26, C08L 95/00, C04B 111/20. Стабилизирующая добавка для щебеночно-мастичного асфальтобетона: № 2017112652: заявл. 12.04.2017: опубл. 23.09.2019 / В. В.

Ядыкина, А. М. Гридчин, В. С. Севостьянов [и др.] ; заявитель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова».

108. Патент № 2784872 С1 Российская Федерация, МПК С08L 95/00, С04В 26/26, С08К 5/00. Модифицированный нефтяной дорожный битум: № 2021134321: заявл. 24.11.2021: опубл. 30.11.2022 / Д. Р. Шпербер, Е. Р. Шпербер, Н. А. Шостак; заявитель ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет».

109. Патент № 2801276 С1 Российская Федерация, МПК С04В 26/26, С01В 32/158, С08L 95/00. Модифицирующая добавка в асфальтобетон: № 2023103078: заявл. 13.02.2023: опубл. 07.08.2023 / А. В. Николаев, Р. Г. Житов, В. Е. Мурадян, А. И. Катунина; заявитель ООО «СИНЕРГИЯ ОЙЛ ГРУПП», ООО «Объединенные инженеры».

110. Патент № 2809614 С1 Российская Федерация, МПК С02F 3/28, С02F 11/04. Установка для анаэробной переработки животноводческих стоков: № 2022116069: заявл. 14.06.2022: опубл. 13.12.2023 / А. В. Абросимов, Ф. А. Васильев, В. К. Евтеев; заявитель ФГБОУ ВО «Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского».

111. Патент US10077356B2 Соединенные штаты Америки, МПК С08К11/005, В01D3/10 Приготовление и применение биоклеев US20170260371A1 заявл: 2017-03-27: опубл. 2018-09-18 / Элхам Х. Фини.

112. Патент на полезную модель № 174503 U1 Российская Федерация, МПК С05F 3/06, С12М 1/107. Метантенк с боковой загрузкой: № 2016113497: заявл. 08.04.2016: опубл. 18.10.2017 / Н. В. Петров, В. П. Друзьянова; заявитель Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова"

113. Петров, Н. В. Научные основы применения альтернативного моторного топлива в виде биогаза в мобильных энергетических средствах агропромышленного комплекса: диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Петров Николай Вадимович, 2024. – 346 с.

114. Письменов В.Н. Получение и использование бесподстилочного навоза. – М.: Колос, 1984-159 с.

115. Полякова С.В., Рубинская Н.Н. Подход к прогнозированию эксплуатационных характеристик асфальтобетона на основе зарубежного опыта //Дороги и мосты. – 2019. – № 1. – С. 218–233.

116. Потахова И.В. Эконометрика: учебное пособие / И. В.Потахова. – Томск: факультет дистанционного обучения ТУСУРа, 2015 – 110 с.

117. Попов, П.Д. Органические удобрения [Текст]: Справочник. / П.Д. Попов, В.Н. Хохлов, А.А. Егоров [и др.]. - М.: Агропромиздат, 1988. - 207 с.

118. Приказ Росприроднадзора от 22.05.2017 N 242 (ред. от 20.12.2024) «Об утверждении Федерального классификационного каталога отходов».

120. Проблемы экологии при эксплуатации и ремонте сельскохозяйственной техники: Сборник научных трудов. Иркутск, ИрГСХА, 1997, 133 с.

121. Просвирников Д. Б., Зиганшин Б.Г., Гизатуллина Л.И., Гайфуллин И.Х. Технология получения биогаза из сельскохозяйственных растительных отходов с высокой биодоступностью, активированных методом паровзрывной обработки // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2022. – Т. 17, № 4(68). – С. 90-97.

122. Пузанков А.Г., Мхитарян Г.А., Гримоев И.Д. Обеззараживание стоков животноводческих комплексов [Текст]– М.: Агропромиздат, 1986. - 175 с.

123. Пырсигов Д.А. Гумат калия «Биоресурс» / Д. А. Пырсигов, В. А. Малеев, Н. В. Глаз [и др.]. – Челябинск: Челябинский государственный университет, 2022. – 97 с.

124. РД-АПК 1.10.15.02-17. Методические рекомендации по технологическому проектированию систем удаления и подготовки к использованию навоза и помёта – Москва: Система нормативных документов агропромышленного комплекса Министерства сельского хозяйства Российской Федерации, 2017 – 166 с.

125. Республика Саха (Якутия) в цифрах: Краткий стат. сборник. / Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Республике Саха (Якутия). – Я., 2025 - 150 с.

126. Республика Саха (Якутия) в цифрах: Краткий стат. Сборник. /Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Республике Саха (Якутия). – Я., 2024 – 167 с.

127. Решетникова О. В., Иванова И.В. Аэробная биологическая очистка сточных вод // X юбилейные Лужские научные чтения. Современное научное знание: теория и практика: Материалы международной научной конференции, Санкт-Петербург, 23 мая 2022 года. – Санкт-Петербург: Ленинградский государственный университет имени А.С. Пушкина, 2022. – С. 342-345.

128. Руденская И.М. Изменение свойств, состава и структуры вязких дорожных битумов при технологических операциях//Труды Росдорнии. - М., 1992, вып. 5. - С. 5-9.

129. Руденская И.М., Руденский А.В. Состав, структура и физико-механические свойства нефтяных дорожных битумов // Вестник ХНАДУ. – 2017. – №79. – С. 17–21.

130. Рыбьев, И.А. Асфальтовые бетоны. / И.А. Рыбьев – М.: Высшая школа, 1969. – 400 с.

131. Рыбьев, И. А. Строительное материаловедение: учебник для вузов / И. А. Рыбьев. – 5-е изд., перераб. и доп. – Москва: Издательство Юрайт, 2026. — 724 с. — (Высшее образование).

132. Савватеева, И. А. Разработка технологии и средств механизации для когенерации биогаза в условиях Республики Саха (Якутия): специальность 05.20.01 «Технологии и средства механизации сельского хозяйства»: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Савватеева Ирина Аркадьевна, 2021. – 139 с.

133. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2025621821 Российская Федерация. Битумные вяжущие со структурирующей добавкой на основе переработанных твёрдых отходов свиноводства: заявл. 31.03.2025: опубл. 23.04.2025 / О. С. Едисеев.

134. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024661576 Российская Федерация. «Программа для вычисления

гранулометрического состава грунтов «Грансостав»»: № 2024660502: заявл. 13.05.2024: опубл. 20.05.2024 / О. С. Едисеев; заявитель ФГАОУ ВО «Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова»

135. Соломенцев А.Б., Ревякин С.Л. Полимерные добавки и материалы для дорожных битумов и асфальтобетонов: классификация и номенклатура // Образование, наука, производство, Белгород, 20–22 октября 2015 года / Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2015. – С. 808–812.

136. Спиридонова, А. В. Разработка пиролизной технологии утилизации твердых отходов животноводства: специальность 05.20.01 «Технологии и средства механизации сельского хозяйства»: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Спиридонова Анастасия Валериевна, 2021. – 127 с.

137. Тетерин В.С., Гапеева Н.Н., Митрофанов С.В., Панферов Н.С., Гайбарян М.А. Способ производства комплексных органоминеральных удобрений и технологическая линия для его осуществления // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2019. – № 4(44). – С. 114-119.

138. Тихонов В.В. Сорбция гуминовых кислот бактериями / В. В. Тихонов, Д. С. Орлов, О. В. Лисовицкая [и др.] // Микробиология. – 2013. – Т. 82, № 6. – с. 691.

139. Тошов Д.З., Шарифов А., Шарипов Ф.Б. Модифицирование асфальтобетона полимерными добавками // Вестник Таджикского национального университета. Серия естественных наук. – 2021. – № 4. – С. 275–286.

140. Успенский, И.А. Оптимизация параметров обеззараживания бесподстилочного навоза при его утилизации / Н. В. Лимаренко, И. А. Успенский, И. А. Юхин [и др.] // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. – 2024. – № 6(78). – С. 331-340.

141. Фиапшев А.Г., Барагунов А.Б., Пазова Т.Х., Дзуганов В.Б., Фиапшев Б.А., Дышоков Т.Р. Комбинированные энергетические установки в животноводстве // Сельский механизатор. – 2025. – № 2. – С. 19-21.

142. Фиапшев А.Г., Хамоков М.М., Кильчукова О.Х., Б.А. Фиапшев. Исследование температурной однородности перемешиваемой среды в биогазогумусной установке // Известия Кабардино-Балкарского государственного аграрного университета им. В.М. Кокова. – 2023. – № 2(40). – С. 104-113.

143. Фиапшев Б.А., Фиапшев А.Г., Кильчукова О.Х., Барагунов А.Б., Пазова Т.Х., Дзуганов В.Б. Передвижные энергетические установки в отгонном животноводстве // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. 2025. Т. 72. № 1 (58). С. 117-124.

144. Betu, Silverius & Limbu, Umbu & Bao, Antonia & Kaleka, Marten. (2024). Processing Horse and Cow Manure Waste in the Production of Fertilizer and Biogas at Flores Bajawa Agricultural College. International Journal of Life Science and Agriculture Research. 03. 10.55677/ijlsar/V03I12Y2024-03.

145. Dhama K., Latheef S. K., Mani S., Abdul Samad H., Karthik K., Tiwari R., Khan R.U., Alagawany M., Mayada R.F., Alam G.M., Laudadio V., Tufarelli V. Multiple beneficial applications and modes of action of herbs in poultry health and production. A review. – Int. J. Pharmacol., 2015, № 11, pp.152-176.

146. Fini E. H. et al. Chemical characterization of biobinder from swine manure: Sustainable modifier for asphalt binder //Journal of Materials in Civil Engineering. – 2011. – Т. 23. – №. 11. – p. 1506-1513.

147. Fini E. H. et al. Source dependency of rheological and surface characteristics of bio-modified asphalts //Road Materials and Pavement Design. – 2017. – Т. 18. – №. 2. – с. 408-424.

148. Fini E. H. Producing a sustainable, bio-based alternative to petroleum-based asphalt binder. – 2016. – №. NCHRP IDEA Project 171.

149. Fini, E.H., Al-Qadi, I.L., You, Z., Zada, B., Mills-Beale, J., 2012. Partial replacement of asphalt binder with bio-binder: characterisation and modification. Int. J. Pavement Eng. 13 (6), 515–522.

150. Guvalov, A. A. Effect of modifiers on the properties of bitumen and asphalt concrete / A.A. Guvalov, A.D. Mamedov, N.T. Kakhramanov // ChemChemTech. – 2021. – Vol. 64. – No. 10. – P. 98–104.

151. Hill B. et al. Evaluation of low temperature viscoelastic properties and fracture behavior of bio-asphalt mixtures //International Journal of Pavement Engineering. – 2018. – T. 19. – №. 4. – c. 362-369. (42)

152. Mills-Beale J. et al. Aging influence on rheology properties of petroleum-based asphalt modified with biobinder //Journal of Materials in Civil Engineering. – 2014. – T. 26. – №. 2. – c. 358-366. (41)

153. Ocfemia K.C.S. Hydrothermal process of swine manure to oil using a continuous reactor system. – University of Illinois at Urbana-Champaign, 2005. (37)

154. Samieadel A., Schimmel K., Fini E. H. Comparative life cycle assessment (LCA) of bio-modified binder and conventional asphalt binder //Clean Technologies and Environmental Policy. – 2018. – T. 20. – c. 191-200. (44)

155. Wang H. et al. Effects of pyrolysis temperature and reaction time on the performance of swine-manure-derived bio-binder //Transportation Research Part D: Transport and Environment. – 2020. – T. 89. – c. 102608. (45)

156. Wang H. et al. Preparation and performance evaluation of swine manure bio-oil modified rubber asphalt binder //Construction and Building Materials. – 2021. – T. 294. – c. 123584.

ПРИЛОЖЕНИЯ



ЕВРАЗИЙСКАЯ ПАТЕНТНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ЕВРАЗИЙСКОЕ ПАТЕНТНОЕ ВЕДОМСТВО

ЕВРАЗИЙСКИЙ ПАТЕНТ



ЕВРАЗИЙСКИЙ ПАТЕНТ НА ИЗОБРЕТЕНИЕ № 053350

Название изобретения:

**СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ МОДИФИКАТОРА ДЛЯ ДОРОЖНОГО
БИТУМА ИЗ ОТХОДОВ ЖИВОТНОВОДСТВА**

Патентовладельцы:

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
"СЕВЕРО-ВОСТОЧНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ М.К. АММОСОВА" (RU)**

Изобретатели:

**Анисимов Евсей Евсеевич, Данилова Сахаяна Николаевна,
Друзьянова Варвара Петровна, Едисеев Олег Сергеевич,
Едисеева Елена Владимировна, Филиппов Дмитрий Васильевич (RU)**

Заявка №: 202592858
Дата подачи заявки: 30 октября 2025 г.
Дата выдачи патента: 07 мая 2026 г.

Настоящим удостоверяется, что евразийский патент выдан на изобретение с формулой, опубликованной в Бюллетене Евразийского патентного ведомства «Изобретения (евразийские заявки и патенты)» № 5 / 2026 год.

При уплате установленных годовых пошлин патент действует на территории государств-участников Евразийской патентной конвенции – Азербайджанской Республики, Кыргызской Республики, Республики Армения, Республики Беларусь, Республики Казахстан, Республики Таджикистан, Российской Федерации, Туркменистана.

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат: 1650024017000

Владелец: Ивлиев Григорий Петрович

Действителен с 15.04.2022 по 14.04.2027

ИВЛИЕВ Григорий Петрович
Президент Евразийского патентного ведомства



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2839275

**Способ утилизации отходов животноводства для
получения модифицирующей добавки для дорожного
битума**

Патентообладатель: **Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова" (RU)**

Авторы: *Едисеев Олег Сергеевич (RU), Друзьянова Варвара Петровна (RU), Данилова Сахаяна Николаевна (RU)*

Заявка № 2024138807

Приоритет изобретения 23 декабря 2024 г.

Дата государственной регистрации

в Государственном реестре изобретений

Российской Федерации 29 апреля 2025 г.

Срок действия исключительного права

на изобретение истекает **23 декабря 2044 г.**

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Документ подписан электронной подписью
Сертификат от 04.04.2018 13:00:00, выдан 04.04.2018
Владимиру Зубову Юрию Сергеевичу
Действителен до 04.04.2020 13:00:00, выдан 04.04.2018

Ю.С. Зубов



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации базы данных

№ 2025621821

**Битумные вяжущие со структурирующей добавкой на
основе переработанных твёрдых отходов свиноводства**

Правообладатель: *Едисеев Олег Сергеевич (RU)*

Автор(ы): *Едисеев Олег Сергеевич (RU)*



Заявка № 2025621228

Дата поступления **31 марта 2025 г.**

Дата государственной регистрации

в Реестре баз данных **23 апреля 2025 г.**

*Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности*

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 0692e7010e300e15442401670bce2026
Владелец: **Зубов Юрий Сергеевич**
Действителен с 10.08.2024 по 03.10.2025

Ю.С. Зубов

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2024661576

**«Программа для вычисления гранулометрического
состава грунтов «Грансостав»»**

Правообладатель: **Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Северо-Восточный федеральный университет имени
М.К.Аммосова» (RU)**

Автор(ы): **Едисеев Олег Сергеевич (RU)**

Заявка № **2024660502**

Дата поступления **13 мая 2024 г.**

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ **20 мая 2024 г.**



Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Ю.С. Зубов

ФОНД СОДЕЙСТВИЯ
ИННОВАЦИЯМ



ДИПЛОМ

ПОБЕДИТЕЛЯ ПРОГРАММЫ
«УМНИК»

Едисеев Олег Сергеевич

Респ. Саха (Якутия)

18905ГУ/2023



Генеральный директор
С.Г. Поляков

2023

УТВЕРЖДАЮ:

Генеральный директор

ООО «Хатасский свинокомплекс»

 В.В. Романов«20» августа 2025 г.


АКТ

производственной проверки научной разработки

Автодорожного факультета

ФГАОУ ВО «Северо-Восточный федеральный университет имени М.К.
Аммосова»

в ООО «Хатасский свинокомплекс»

Данным актом подтверждается, что результаты научных исследований старшего преподавателя кафедры «Автомобильные дороги и аэродромы» Едисеева Олега Сергеевича, заведующего кафедрой «Машиноведение» Друзьяновой Варвары Петровны ФГАОУ ВО «Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова» в том, что в 2023 году в ООО «Хатасский свинокомплекс» была проведена апробация пилотной линии по утилизации свиного навоза.

Способ утилизации свиного навоза осуществляется с применением технологической линии с накопительным метантенком использующий рециркулят жидкой фракции эффлюента и получение гуминовых удобрений из твёрдой фракции. Проведенные исследования позволяют получать органоминеральное гуминовое удобрение, эффлюент, биогаз и сырье для структурирующей добавки для асфальтобетона.

Д.т.н., профессор

Старший преподаватель

 / Друзьянова В.П./ /Едисеев О.С./

«УТВЕРЖДАЮ»

Председатель
СППК «УРДЭЛ»

В.Н. Марков

2015 г.

**Акт внедрения
результатов научно-исследовательской,
опытно-конструкторской работы и передового опыта**

Мы, нижеподписавшиеся представители ФГАОУ ВО «Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова» в лице коллектива ученых в составе: Варвары Петровны Друзьяновой, д.т.н., профессора, заведующего кафедрой «Машиноведение» Автодорожного факультета; Олега Сергеевича Едисеева, старшего преподавателя кафедры «Автомобильные дороги и аэродромы» Автодорожного факультета, с одной стороны, и председателя СППК «УРДЭЛ» Вячеслава Николаевича Маркова, с другой стороны, составили настоящий акт о том, что результаты научного исследования по получению органоминерального гуминового удобрения из твердой фракции эффлюента биогазовой технологии, выполненного в ФГАОУ ВО «СВФУ имени М.К. Аммосова», приняты к внедрению.

Установлена эффективность разработанного органоминерального гуминового удобрения при корневой подкормке картофеля, что подтверждается формированием качественных клубней картофеля.

Ответственные за внедрение:

представители от

СППК «Урдэл»



/В.Н. Марков

/В.А. Олесова

представители от

ФГАОУ ВО «СВФУ имени М.К. Аммосова»

В.П. Друзьянова

О.С. Едисеев

УТВЕРЖДАЮ:

Проректор по учебно-методической
работе
ФГАОУ ВО «СВФУ им. М.К. Аммосова»

А.И. Голиков

« 05 » июня 2025 г.

АКТ

об использовании результатов научно-исследовательской работы
в учебном и научно-исследовательском процессах

Настоящий акт составлен в том, что результаты научных исследований Едисеева Олега Сергеевича в виде способа утилизации отходов животноводства для получения модифицирующей добавки для дорожного битума (патент на изобретение №2839275), базы данных на битумные вяжущие со структурирующей добавкой на основе переработанных твёрдых отходов свиноводства (свидетельство о государственной регистрации базы данных №2025621821) и программы для вычисления гранулометрического состава грунтов «Грансостав» (свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2024661576) используются в учебном и научно-исследовательских процессах Автодорожного факультета ФГАОУ ВО «Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова» на кафедре «Автомобильные дороги и аэродромы» при чтении лекций, и лабораторных занятий по дисциплинам «Инженерная геология», «Учебная-ознакомительная практика», «Механика грунтов» и «Производственные базы дорожного строительства», а также при проведении экспериментальных исследований студентами по направлениям подготовки 08.03.01 Строительство (Автомобильные дороги) и специальности 08.05.02 Строительство, эксплуатация, восстановление и техническое прикрытие автомобильных дорог, мостов и тоннелей (Строительство (реконструкция), эксплуатация и техническое прикрытие автомобильных дорог).

Заведующий кафедрой
«Автомобильные дороги и аэродромы»,
кандидат технических наук, доцент

С.В. Копылов

УТВЕРЖДАЮ:

Генеральный директор
ЗАО «Гордормостстрой»

А.Г. Бобокалонов

«01» августа 2025 г.

АКТ ВНЕДРЕНИЯ

научно-исследовательской работы

Мы, нижеподписавшиеся представители ФГАОУ ВО «СВФУ им. М.К. Аммосова» Друзьянова Варвара Петровна, Едисеев Олег Сергеевич, с одной стороны и ЗАО «Гордормостстрой» в лице генерального директора Бобокалонова Абдумаджита Гафоровича с другой стороны составили настоящий акт о том, что в период с 18 июля по 01 августа 2025 года сотрудниками ФГАОУ ВО Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова Друзьяновой В.П., Едисеевым О.С. внедрена в асфальтобетонном заводе ЗАО «Гордормостстрой» научная разработка: **«Горячая мелкозернистая асфальтобетонная смесь со структурирующей добавкой на основе гумуса»**

В процессе внедрения выполнены следующие работы:

1. Разработаны стандарты организации выпуск структурирующей добавки и асфальтобетонной смеси:

СТО 23314698-01-2025 «Структурирующая добавка для асфальтобетонных смесей на основе гумуса. Технические условия».

СТО 23314698-02-2025 «Горячая мелкозернистая асфальтобетонная смесь со структурирующей добавкой на основе гумуса. Технические условия»

2. Разработан состав горячей мелкозернистой асфальтобетонной смеси по СТО 23314698-02-2025 «Горячая мелкозернистая асфальтобетонная смесь со структурирующей добавкой на основе гумуса. Технические условия»

3. Произведен экспериментальный выпуск горячей мелкозернистой асфальтобетонной смеси со структурирующими добавками в асфальтобетонной заводе в количестве 20 тонн.

Акт составлен в 3 экземплярах

Генеральный директор
ЗАО «Гордормостстрой»


А.Г. Бобоканов



Представители университета


Друзьянова В.П.


Едисеев О.С.

ЗАО «ГОРДОРМОСТСТРОЙ»

СТАНДАРТ ОРГАНИЗАЦИИ СТО 23314698-01-2025

УТВЕРЖДАЮ:

Генеральный директор

А.Г. Бобокалонов

«01» августа 2025 г.

СТРУКТУРИРУЮЩАЯ ДОБАВКА ДЛЯ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ СМЕСЕЙ
НА ОСНОВЕ ГУМУСА

Технические условия

СТО 23314698-01-2025

Срок действия

с «01» августа 2025 г.

Без ограничения срока действия

РАЗРАБОТАНО

Научный руководитель:

Заведующий кафедрой «Машиноведение»

Автодорожного факультета

СВФУ имени М.К. Аммосова

Доктор технических наук

В.П. Друзьянова

«01» августа 2025 г.

Старший преподаватель кафедры АДиА

Автодорожного факультета

СВФУ имени М.К. Аммосова

Едисеев О.С.

Якутск 2025

ЗАО «ГОРДОРМОСТСТРОЙ»

СТАНДАРТ ОРГАНИЗАЦИИ СТО 23314698-02-2025



УТВЕРЖДАЮ:

Генеральный директор

А.Г. Бобокалонов

«01» августа 2025 г.

**ГОРЯЧАЯ МЕЛКОЗЕРНИСТАЯ АСФАЛЬТОБЕТОННАЯ СМЕСЬ
СО СТРУКТУРИРУЮЩЕЙ ДОБАВКОЙ НА ОСНОВЕ ГУМУСА.****ТЕХНИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ**

Срок действия

с «01» августа 2025 г.

Без ограничения срока действия

РАЗРАБОТАНО

Научный руководитель:

Заведующий кафедрой «Машиноведение»

Автодорожного факультета

СВФУ имени М.К. Аммосова

Доктор технических наук

В.П. Друзьянова

«01» августа 2025 г.

Старший преподаватель кафедры АДИА

Автодорожного факультета

СВФУ имени М.К. Аммосова

Едисеев О.С.

Якутск 2025