

**И. А. Савватеева
А. В. Алексеева
В. П. Друзьнова**

**ГЕНЕРАТОРНОЕ ТОПЛИВО
С АЛЬТЕРНАТИВНОГО ИСТОЧНИКА**

Монография

Научное электронное издание

Чебоксары
Издательский дом «Среда»
2025

УДК 631.3.004.(075.08)

ББК 40.7

C12

Рецензенты:

д-р техн. наук, профессор кафедры
«Технологические системы АПК» ФГБОУ ВО АГАТУ

Дринча Василий Михайлович;

канд. техн. наук, заведующий кафедрой
«Технологические системы АПК» ФГБОУ ВО АГАТУ

Дондоков Юрий Жигмитович

Савватеева И. А.

C12

Генераторное топливо с альтернативного источника:
монография / И. А. Савватеева, А. В. Алексеева,
В. П. Друзянова. – Чебоксары: Среда, 2025. – 140 с. –
1 CD-ROM. – Загл. с титул. экрана. – Текст : электронный.

ISBN 978-5-907965-60-7

Исследованы взаимодействующие факторы процесса когенерации газа с использованием региональных особенностей и предложены математические зависимости, описывающие работу системы в психрофильном режиме работы накопительной биоэнергетической установки, произведён подбор оптимального оборудования, способствующего эффективной работе предлагаемой технической системы. Разработана автономная когенерационная линия для использования в процессе доения и приготовления кормов в децентрализованных К(Ф)Х.

Предложены рекомендации по комплектованию оборудования и устройств разработанной системы автономной когенерационной линии для децентрализованных К(Ф)Х при использовании в процессе доения и приготовления кормов.

УДК 631.3.004.(075.08)

ББК 40.7

ISBN 978-5-907965-60-7

DOI 10.31483/a-10744

© Савватеева И. А., Алексеева А. В.,
Друзянова В. П., 2025

© ИД «Среда», оформление, 2025

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	5
Глава 1. СОСТОЯНИЕ МЕХАНИЗАЦИИ ЖИВОТНОВОДСТВА..	12
1.1. Особенности животноводства в Республике Саха (Якутия)	12
1.2. Факторы, влияющие на процесс производства животноводства	15
1.3. Биоэнергетические установки (БЭУ).....	21
1.4. Основные факторы, влияющие на процесс производства биогаза из навоза крупнорогатого скота	40
1.5. Способы использования биогаза	45
1.6. Когенерационные установки	46
1.7. Анализ математических моделей, описывающих процесс когенерации	56
1.8. Альтернативная энергетика на летних фермах в условиях Республики Саха (Якутия)	63
Выводы по главе 1	68
Глава 2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ	69
2.1. Описание предлагаемой пилотной автономной когенерационной линии для проведения экспериментов	69
2.2. Факторы, влияющие на эффективность процесса когенерационной технологии	70
2.3. Предлагаемая математическая зависимость автономной когенерационной линии	74
2.4. Объем выхода биогаза, в зависимости от температурного режима работы биоэнергетической установки	80
2.5. Необходимое давление биогаза при входе в генератор	86
2.6. Биогаз как источник энергии	87
Выводы по главе 2	90
Глава 3. МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ	91
3.1. Общая методика экспериментальных исследований	91
3.2. Описание пилотной когенерационной линии	92
3.3. Проведение натурных экспериментов на накопительной психрофильной установке для уточнения значений управляющих факторов, обеспечивающих оптимальный режим работы БЭУ (этап 1)	100

3.4. Выявление и обоснование оптимальных факторов, обеспечивающих стабильную работу газового генератора при преобразовании биогаза (этап 2)	101
3.5. Методика определения состава метана	104
3.6. Планирование и обработка результатов эксперимента	105
Глава 4. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ	109
4.1. Результаты экспериментов по производству биогаза в накопительном психрофильном режиме	109
4.2. Результаты эксперимента по исследованию когенерации биогаза при накопительном психрофильном режиме работы БЭУ	112
4.3. Результаты моделирования когенерации биогаза	113
Выводы по главе 4	116
Глава 5. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАЗРАБОТАННОЙ ТЕХНОЛОГИИ И СРЕДСТВ МЕХАНИЗАЦИИ ДЛЯ КОГЕНЕРАЦИИ БИОГАЗА В УСЛОВИЯХ РЕСПУБЛИКИ САХА (ЯКУТИЯ)	117
5.1. Расчет энергетического эффекта от внедрения автономной когенерационной линии	118
5.2. Расчет экономического эффекта от повышения удоев молока ..	118
5.3. Текущие энергетические затраты в крестьянско-фермерских хозяйствах Таттинского района	121
5.4. Экономический эффект от внедрения разработанной автономной когенерационной линии	123
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	125
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	126
ПРИЛОЖЕНИЕ.	139

ВВЕДЕНИЕ

В Республике Саха (Якутия) по состоянию на 01.01.2021 г. числится 297 труднодоступных населенных пунктов, с населенностью 542500 тыс. чел. В эти районы возможно доехать сухопутным путем исключительно в зимнее время года [92; 93]. Все жизнеобеспечивающие составляющие транспортируются лишь в зимние месяцы, пока есть дорога. Но даже в этот сезон транспортировка осуществляется в недостаточном количестве. Из-за всех этих обстоятельств в остальные месяцы проблема горючего для всего жизнеобеспечивающего оборудования и техники характеризуется большим недостатком. Для решения этой проблемы можно прибегнуть к способу внедрения биогазовой технологии. Множественные исследования в России и за рубежом пришли к результатам, что продуктами биогазовой технологии как утилизации органических отходов являются удобрение и сам биогаз. Биогаз можно использовать в качестве горючего вещества и моторного топлива.

Результатами производства сельскохозяйственных ферм являются не только животноводческие продукты, но и органические отходы, как бесподстилочный навоз. В нынешнее время, последствия отсутствия систем утилизации навоза наносят колоссальный экологический вред. Отрицательные значения температур окружающего воздуха способствуют консервации вредоносной, злокачественной микрофлоры и семян сорных растений в содержании навоза. С потеплением вся эта отрицательная составляющая распространяется вместе с талыми водами, что впоследствии попадает во все источники воды. В результате возникает некий побочный эффект вечной мерзлоты, который наносит губительное влияние окружающую среду Якутии.

Можно добиться повышения удоя коров выводом их в теплое время года в летние фермы (сайылыки). Удельный вес сельскохозяйственных угодий, находящихся в обороте, в общей земельной площади существенно мал. Для территории Республики Саха (Якутия) месяцы июнь–сентябрь являются максимально эффективными по объемам удоя. На это влияют не только луговая растительность, но и существующие в данное время некоторое количество летних ферм [107].

Месяцы июнь–сентябрь для региона Республики Саха (Якутия) характерны высокими показателями молочного животноводства [107]. Так как в этот период времени фермерские хозяйства выезжают на летники. Летнее пастбищное содержание животных крупнорогатого скота позволяет повысить объемы удоя молока, из-за выгульного содержания и неограниченного доступа к зеленому корму у животных наблюдается улучшение состояние организма, о чем свидетельствует накопление в теле питательных веществ. Благоприятное влияние оказывает и солнечное тепло, открытый воздух и активные движения [106]. В настоящее время, из-за транспортной труднодоступности территорий с высокой растительностью, под организацию летников попадают одни и те же естественные пастбища каждый год. Это приводит к истощению пастбищ, растительность не успевает возродиться по содержанию питательных веществ. Животные утаптывают и оказывают разрушающее воздействие на почву. А сеяные пастбища требуют дополнительных финансовых, физических затрат [106]. Исходя из вышеизложенного, необходимо разработать пути решения по освоению дальних и заброшенных децентрализованных земель для вовлечения их под содержание летних ферм. Под основу предлагаемой технологии когенерации биогаза предлагается использовать накопительную психрофильную технологию, разработанную якутскими учеными [43; 44; 50; 95; 112].

Актуальность исследования и степень её разработанности. Средний показатель по удою молока от 1 коровы в сельскохозяйственных предприятиях Якутии по результатам 2019 года составил 2481 кг. [92; 93]. Одним из путей повышения удоев молока является вывод коров с конца мая месяца по сентябрь в летние фермы. В настоящее время только 1/3 часть крестьянских (фермерских) хозяйств имеют летние фермы, большая часть ферм расположены в поселениях и зависимы от подключения к центральному электроснабжению, но кормовая база недостаточного качества [107].

По данным Министерства сельского хозяйства Республики Саха (Якутия) земли сельскохозяйственного назначения от общего земельного фонда республики составляют 6,31%. И при этом эффективность использования земель сельскохозяйственного назначения имеет регрессирующий характер [106]. Это в первую очередь свя-

зано с климатическими особенностями Якутии, а во вторую - с отсутствием подключений к сети на территориях с высокой травянистой растительностью [107]. На это влияют не только луговая растительность, но и некоторое количество запущенных летних ферм. Летнее пастбищное содержание позволяет получать весьма питательное молоко, благотворно оказывает воздействие на физиологическое состояние животного, формирует оптимальные запасы жизненно значимых питательных веществ в организме животных. На выпасе крупный рогатый скот испытывает благотворное воздействие солнечных лучей, чистого воздуха, активного движения. По причине транспортной труднодоступности территорий с высокой растительностью, ежегодно, под летние фермы используются одни и те же естественные пастбища. Это приводит к истощению земель, оказывает разрушающее воздействие на почву. А сеяные пастбища требуют дополнительных финансовых и физических затрат [106].

Существенными преимуществами производства биогаза является использование собственной возобновляемой сырьевой базы и отказ от ископаемых энергоносителей или импорта, децентрализация энергоснабжения. Навоз и помет – побочные отходы животноводства, которые могут наносить вред окружающей среде и здоровью людей. С другой стороны, навоз и помет – это биомасса, которую можно использовать для производства возобновляемой энергии. Использование отходов животноводства для производства биогаза возможно на многих территориях. Благодаря постоянно доступному сырью – навозу и помету, биогаз, а, следовательно, электроэнергия и тепло, могут производиться в течение всего года, независимо от погодных условий. Навоз и помет идеально подходят как субстрат, легко смешиваются с другим сырьем. Например, часто используются отходы сельскохозяйственного производства, биогенные отходы пищевой промышленности. Биогаз способствует реализации возможности для децентрализованного энергообеспечения. После образования биогаз может быть использован для производства электроэнергии и тепла, а также в бойлере для производства тепла. Биогаз может также очищаться и обогащаться до метана и подаваться в рабочую газотранспортную сеть. Кроме того, обогащенный биогаз (биометан) может использоваться как топливо в автомобилях на природном газе, на крупных центральных когенерационных установках или для производства тепла в

высокоэффективных газовых конденсационных котлах. Применение биогаза в децентрализованном энергоснабжении способствует повышению надежности энергопоставок, в частности в сельской местности. Фермерские хозяйства в Европе строят биогазовые установки для собственных нужд и обеспечения окружающих сел электроэнергией и теплом. В процессе сбраживания образуется тепло, которое можно использовать для подогрева технической воды на ферме [106].

Производство и использование биогаза может стать существенным вкладом в деле организации большого количества мелких летних ферм, позволит увеличить объемы удоев молока, а также дает возможность создать новые рабочие места в сельских местностях (логистика, инженерные услуги и строительство зданий и сооружений) [106].

Проведённые теоретические исследования позволили наметить пути решения изложенной отраслевой задачи путем внедрения новых технологических решений, так как исключается возможность применения существующих технологий в природно-климатических и сложившихся условиях ведения производства в аграрном секторе Якутии, так как они рассчитаны для крупных животноводческих хозяйствах, дороги по стоимости и работают в мезофильном режиме – соответственно, требуют подключения к центральной сети.

Научная гипотеза. Использование автономных технических систем, обладающих низкой себестоимостью и высокой эффективностью позволит повысить независимость малых хозяйств от центрального объекта энергообеспечения.

Цель исследования – обоснование технологии и разработка технической системы для когенерации биогаза в условиях летних ферм Республики Саха (Якутия).

Задачи исследования:

1. Обосновать необходимость применения и определить основные факторы, воздействующие на процесс эффективной работы технологии когенерации биогаза в условиях Республики Саха (Якутия).
2. Теоретически обосновать и экспериментально проверить процесс когенерации биогаза в психрофильном режиме работы накопительной биоэнергетической установки.

3. Разработать и внедрить автономную когенерационную линию для нужд малых К(Ф)Х.

4. Провести экономическую оценку предлагаемой автономной когенерационной линии.

5. Дать рекомендации по комплектованию оборудования и устройств разработанной системы автономной когенерационной линии для децентрализованных К(Ф)Х при использовании в процессе доения и приготовления кормов.

Объект исследования – автономная когенерационная линия для механизации процессов доения и приготовления кормов.

Предмет исследований – процесс работы автономной когенерационной линии для механизации процессов доения и приготовления кормов.

Научная новизна работы. Получена математическая зависимость когенерации биогаза в психрофильном режиме работы накопительной биоэнергетической установки при использовании в условиях КФХ. Определены и обоснованы режимные параметры работы автономной когенерационной линии на основе психрофильной накопительной биогазовой технологии для использования в условиях децентрализованных К(Ф)Х.

Теоретическая и практическая значимость работы. Исследованы взаимодействующие факторы процесса когенерации газа с использованием региональных особенностей и предложены математические зависимости, описывающие работу системы в психрофильном режиме работы накопительной биоэнергетической установки, произведён подбор оптимального оборудования, способствующего эффективной работе предлагаемой технической системы. Разработана автономная когенерационная линия для использования в процессе доения и приготовления кормов в децентрализованных К(Ф)Х. Предложены рекомендации по комплектованию оборудования и устройств разработанной системы автономной когенерационной линии для децентрализованных К(Ф)Х при использовании в процессе доения и приготовления кормов.

Методология и методы исследований. Теоретические исследования когенерационных технологий проведены с применением современных методов поиска, анализа и обработки информации. В исследовательской деятельности использован математический ап-

парат линейного программирования, дифференциального и интегрального исчисления. Эксперименты проводились в летнее время в условиях Республики Саха (Якутия). Полученные в ходе проведения экспериментов результаты подвергнуты обработке в соответствии с современными методами теории вероятностей, математической статистики и перспективного планирования экспериментальных исследований с применением специализированных программ.

Основные положения, выносимые на защиту:

- математическая зависимость, описывающая процесс когенерации биогаза в психрофильном режиме работы накопительной биоэнергетической установки;
- автономная когенерационная линия на основе психрофильной накопительной биогазовой технологии для децентрализованных К(Ф)Х при использовании в процессе доения и приготовления кормов.

Степень достоверности и апробация результатов. Достоверность полученных данных подтверждается сходимостью теоретических обоснований и экспериментальных показателей, находящихся в рамках доверительных интервалов.

Материалы диссертационного исследования докладывались на II Международной конференции «Агротех-II-2019; агропромышленный комплекс, экологическая инженерия и биотехнологии» 20 ноября 2019 г., г. Красноярск; V Всероссийская научно-практическая конференция «Устойчивый Север: общество, экономика, экология, политика», 24–26 сентября 2019 г., г. Якутск; II международной научно-практической конференции «Транспортные системы: безопасность, новые технологии, экология», 16–17 апреля 2020 г., г. Якутск; XIII международной научно-практической конференции, посвященной 90-летию Донского государственного технического университета (Ростовского-на-Дону института сельскохозяйственного машиностроения), в рамках XXIII Агропромышленного форума юга России и выставки «Интерагроماش» «Состояние и перспективы развития агропромышленного комплекса», 26–28 февраля 2020 г., г. Ростов-на-Дону; всероссийской научно-практической конференции «Агропромышленный комплекс: проблемы и перспективы развития», 2021 г., г. Благовещенск.

Публикации. Основные положения диссертации опубликованы 8-ми научных работах, в том числе: 1 статья в издании, индексируемом в международной цитатно-аналитической базе данных Web of Science, 1 статья в издании, индексируемом в международной цитатно-аналитической базе данных Scopus, 2 статьи в изданиях, рекомендованных ВАК Министерства образования и науки Российской Федерации.

ГЛАВА 1. СОСТОЯНИЕ МЕХАНИЗАЦИИ ЖИВОТНОВОДСТВА

1.1. Особенности животноводства в Республике Саха (Якутия)

На 1 января 2021 года поголовье крупного рогатого скота в хозяйствах всех категорий составило 181,1 тыс. голов, в том числе коров – 72,0 тыс. [92; 93].

По сравнению с соответствующим периодом предыдущего года увеличение поголовья крупного рогатого скота, в том числе коров отмечается в подсобных хозяйствах несельскохозяйственных организаций, крестьянских (фермерских) хозяйствах, хозяйствах населения [92; 93].

За 2020 год отелилось 87,2% от всего маточного поголовья скота, получено 64,3 тыс. телят, что на 2,5% больше уровня 2019 года [92; 93].

Валовый надой молока в хозяйствах всех категорий республики составил 162,4 тыс. т. с ростом на 0,6% по сравнению с 2019 годом. Увеличение объемов производства молока достигнуто сельскохозяйственными организациями (на 4,6%) и крестьянскими (фермерскими) хозяйствами (на 6,0%) [92; 93].

Средний удой молока от 1 коровы в сельскохозяйственных предприятиях по сравнению с 2019 годом увеличился на 4,2% и составил 2481 кг. Благодаря мерам господдержки Минсельхоза России К(Ф)Х «Кэскил» Амгинского, ООО «Батамайское» Ленского, «Солоонун» Мегино-Кангаласского, ИП КФХ Герасимов В.А. Намского, ИП КФХ Бурнашев А.С. Усть-Алданского, ООО «Конезавод Берте» Хангаласского, СПК К(Ф)Х «Мындагай» Чурапчинского районов и ООО «Багарах» г. Якутск извне республики завезено 721 голова племенного крупного рогатого скота симментальской, холмогорской, калмыцкой, сычевской породы [92; 93].

За счет собственных источников К(Ф)Х «Ил-Тосхол» Сунтарского района, АО «Сахаплемобъединение» Мирнинского района, ИП КФХ Слепцов А.П. Намского районов и ООО «Экоферма «Туймаада» г. Якутск из Орловской, Иркутской областей и Красноярского края завезено 398 голов симментальской, черно-пестрой, красно-пестрой породы крупно -рогатого скота [92; 93].

Нормативными правовыми актами администраций 17 муниципальных районов и города Якутск определены 34 заготовительные организации по приему сырого молока [92; 93].

За 2020 год заготовлено 79,9 тыс. т. молока (99,0% к годовому плану и 101,3% к 2019 году). В среднем по республике закупочная цена за литр молока составила 45,1 рублей.

В связи с внесением изменений в Порядок предоставления субсидии на финансовое обеспечение части затрат на создание условий для специализированных скотоводческих хозяйств молочного и мясного направления в части поддержки организованных хозяйств, у которых имеется от 25 дойных коров, а не от 100 коров как было ранее, количество участников программы финансового оздоровления скотоводческих хозяйств по сравнению с 2019 годом увеличилось в 3 раза. 192 скотоводческим хозяйствам, в том числе 145 К(Ф)Х предоставлены средства субсидии в размере 348,4 млн рублей. Получатели господдержки получают продукции сельского хозяйства в 2,5 млрд рублей, надоят молока в объеме 38,0 тысяч т., ожидается повышение размера среднемесячной заработной платы на 10% до 35,6 тысяч рублей [92; 93].

В Республике Саха (Якутия) якутский скот разводят в 15-ти районах – Амгинском, Верхневилуйском, Верхнеколымском, Верхоянском, Горном, Жиганском, Мегино-Кангаласском, Мирнинском, Намском, Нюрбинском, Оймяконском, Сунтарском, Таттинском, Хангаласском, Эвено-Бытантайском районах и г. Якутск [92; 93].

На начало 2021 года поголовье местного скота в хозяйствах всех категорий составило 2095 голов с увеличением на 3,7% от прошлого года, в том числе коров - 856 голов с увеличением на 6,2% [93].

Государственное казенное предприятие Республики Саха (Якутия) «Якутский скот» занимается разведением якутской аборигенной породы скота на территории Мирнинского, Оймяконского, Верхневилуйского, Амгинского, Горного, Намского, Эвено-Бытантайского районов. На 1 января 2021 года в отделениях ГКП РС(Я) «Якутский скот» содержится 815 голов якутского скота, в том числе 273 голов коров [92; 93].

За отчетный период деловой выход телят составил 80,6%, получено 168 голов. Сохранность взрослого поголовья скота составила 97,1%. Валовой надой молока составил 16,7 т. Удой молока с 1 коровы – 778 кг. За 2020 год реализовано 3,1 т. молока [92; 93].

Министерство сельского хозяйства РФ включила в реестр генофондных питомников по разведению якутской породы крупного рогатого скота, свидетельство было передано ГКП РС (Я) «Якутский скот». Также получена декларация о соответствии техническим условиям производства якутского национального продукта «Арыы», дающее право на реализацию масла из молока якутской коровы. В отделении «Куллэги» Амгинского района за летний период впервые по специальной технологии произведено 0,4 т. сливочного масла от молока якутской коровы, пробная партия которого было представлено на осенней воскресной ярмарке в г. Якутске [92; 93].

Завершены работы по приему-передаче имущества отделения Сюльдюкар совхоза «Новый» ПАО «АЛРОСА» в ГКП РС (Я) «Якутский скот». С 4 отделений (Амгинского, Верхневилуйского, Горного, Намского) в с. Сюльдюкар доставлены 148 голов якутского скота, 4 головы жеребцов-производителей, 2 головы рабочих лошадей [92; 93].

В 2020 году на поддержку базовых хозяйств по разведению якутского скота КФХ «Наахара» Амгинского, СПоК «Сылгыыт» Горного, К(Ф)Х Семенов В.А. Верхневилуйского, ИП К(Ф)Х Дмитриев А.Н. Мегино-Кангаласского, К(Ф)Х «Эльгяйское» Сунтарского, ИП К(Ф)Х «Байагантай» Таттинского, К(Ф)Х Иванов А.С. Хангаласского районов предоставлены субсидии в размере 5,8 млн рублей по ставке 15 000 тыс. рублей на условную голову [92; 93].

По итогам отчетного года поголовье якутского скота в базовых хозяйствах по сравнению с 2019 годом увеличилось на 7% до 594 голов, в том числе коров на 0,8% до 252 голов [92, 93].

В 2020 году в рамках модернизации производственных объектов отраслей животноводства введено 4 животноводческих комплекса на 480 голов К(Ф)Х «Болугур» Амгинского, К(Ф)Х «Крестях» Сунтарского, ИП ГК(Ф)Х «Львова А.Е.» Хангаласского, ИП ГКФХ «Левина А.В.» Кобяйского районов [92; 93].

Фондом поддержки агропромышленного комплекса РС(Я), в рамках проектов ГКП РС(Я) «Якутский скот», инициировал строительство животноводческих ферм с поголовьем 150 с. Ергелех Намского улуса, и поголовьем 200 в с. Сюльдюкар Мирнинского улуса [92; 93].

Всего по Якутии план заготовки молока в 2020 году составляет 80 706,0 т. сырого молока, в том числе по 3 группе районов – 80 000,01 т. На 27.08.2020 года заготовлено 54527,57 т. молока, что составляет 67,56 % от годового плана.

По 3 группе районов, на 28.08.2020 заготовлено 54208,45 т, что составляет 67,76 % от годового плана (80 000,01 т.). По графику (январь–август 2020 г. план составляет – 56 492,59 т.) 95,96 % [92; 93].

Доля коммерческого производства молока по республике сейчас варьируется в промежутке 60–66%, в то время как другая часть 34–40% остаются продуктами питания для местного населения. В настоящее время, в республике функционируют 352 молочного предприятия, включая 16 пищекомбинатов, 24 молокозавода, 233 маслоцеха и 79 хозяйств по сдаче молока. Весь их объем составляет в год более 100 тыс. т товарного продукта. По данным последних 4 лет, каждый житель республики потребляет 283–286 кг молока и молочного продукта. Данные животноводческого производства таковы: 35,1% переработанного молока производят крестьянско-фермерские хозяйства, а доля личных подсобных хозяйств составляет 52,7%. За 5 лет объемы молока в крестьянских (фермерских) хозяйствах увеличились, чему способствовала увеличение количества дойных коров в (на 59,7%) [31].

1.2. Факторы, влияющие на процесс производства животноводства

Месяцы июнь–сентябрь для региона Республики Саха (Якутия) характерны высокими показателями молочного животноводства [107]. Так как в этот период времени фермерские хозяйства выезжают на летники. Летнее пастбищное содержание животных крупнорогатого скота позволяет повысить объемы удоя молока, из-за выгульного содержания и неограниченного доступа к зеленому корму у животных наблюдается улучшение состояние организма, о чем свидетельствует накопление в теле питательных веществ.

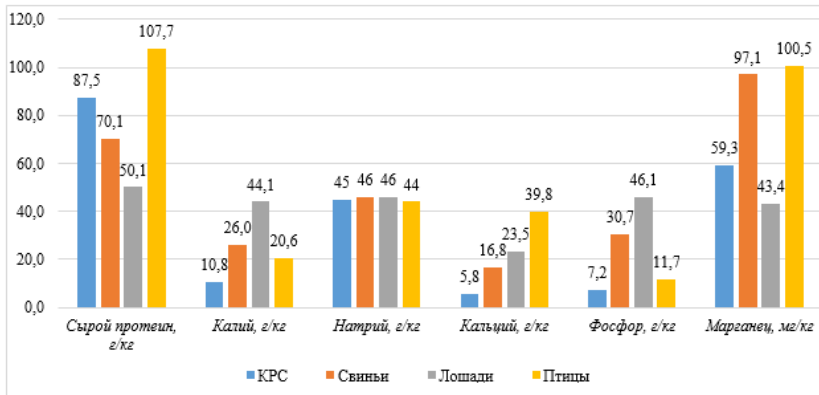
На наш взгляд, имеются следующие факторы, негативно влияющие на производство сельскохозяйственной продукции в нашей республике: последние годы фермерские хозяйства сосредоточены в основном крупных селах, где имеется стабильная электросеть; отсутствие кормовой базы; малое количество летников [107].

За последние годы животноводство республики обеспечивается кормами в среднем на 60–70%. Рационы не сбалансированы по белку, а дефицит сахара составляет 35–40%. В то же время в республике имеется 1638,52 тыс. гектаров сенокосов и пастбищ. Кормовые культуры на силос и сенаж: овес, подсолнечник, кормовая капуста, озимая рожь, яровой рапс, турнепс, многолетние злаковые травы, многолетние бобовые травы. Для укрепления кормовой базы хозяйств необходимо возобновить мелиоративные работы по осушению лугов и пастбищ после наводнения по агропромышленным зонам – Центральной, Западной, Южной, Арктической, Северо-Восточной. Расширить и возобновить посев однолетних и многолетних трав, зерновых культур, усилить кормопроизводство, для заготовки сочных кормов: силоса, сенажа, как основного молокогонного корма. В составе рациона животных увеличить сочные корма 30–45%. На долю кормов в структуре себестоимости молока может приходиться до 50%. Поэтому организация рационального кормления молочного скота обеспечит не только рост молочной продуктивности, но и значительное снижение ее себестоимости. Намечаемый рост продуктивности молочных стад и снижение себестоимости продукции потребуют прежде всего существенных изменений в кормопроизводстве отдельных зон и хозяйств, а именно: значительного увеличения производства кормов, повышения их питательной и биологической ценности, увеличения удельного веса концентрированных кормов [108].

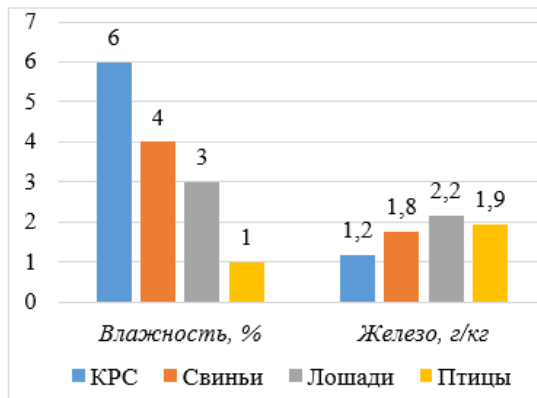
Из методического пособия системы ведения сельского хозяйства в Республике Саха (Якутия) на период 2016–2020 годы, разработанным Якутским НИИСХ [111], следует, что объем молока якутских коров при раздое достигает до 2481 литров в год. Благодаря своей уникальной нажировочной способности, местные коровы достигают высокой живой массы за маленький срок летнего пастбищного сезона. Еще одно достоинство местной породы крупнорогатого скота – это низкие требования к ассортименту кормовой базы. Например, если имеется достаточное количество сена, корова в других видах корма может и не нуждаться, а продуктивные показатели ухудшаться не будут, но на повышение качества кормов коровы реагируют тоже хорошо. На 1 кг прибавления в весе молодняка приходится 7 кормовых единиц, а на 1 кг молока

0,8 кормовых единиц [131]. Рационы молочного скота разрабатываются, основываясь на разновидности климатических особенностей и финансовых возможностей каждого аграрного сектора республики. Главное требование системы кормления молочного скота – это высокая молочная продуктивность, сохранение репродуктивных способностей [111].

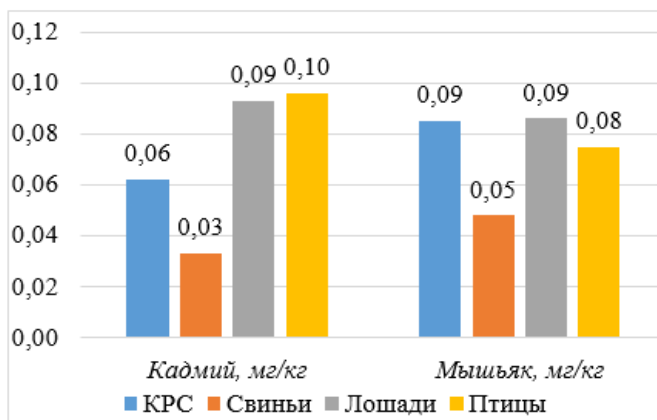
Якутскими учеными были проведены исследования [65] на базе ОАО «Хатасский свиногомкомплекс» Республики Саха (Якутия) в рацион свиней в виде дополнительной кормовой добавки использовали высушенный биогазовый эффлюент. Был проведен химикотоксикологический анализ эффлюента, получавшегося из навоза разных видов сельскохозяйственных животных (рис. 1.1).



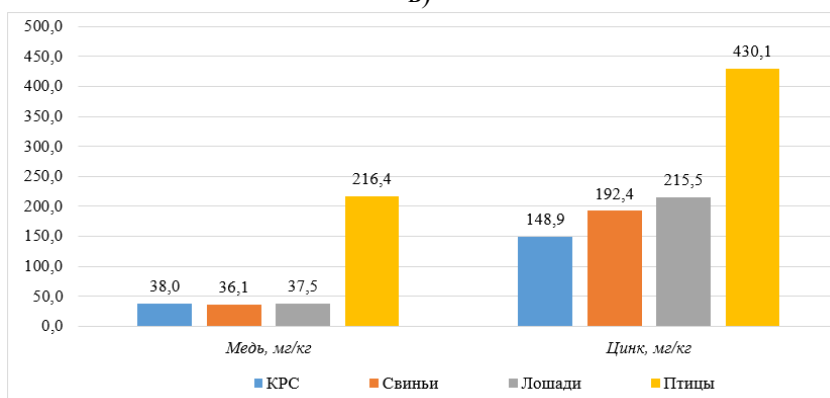
а)



б)



В)



Г)

Рис. 1.1. Содержание химических веществ в составе эфлюента по видам сельскохозяйственных животных [65]

При дальнейшем исследовании авторы работы определили, что в составе эфлюента, также имеются витамины С, Е, В1, В2, В3, В6. Результаты испытаний, проведенные в течении 2 лет, в 2 опытных и 1 контрольной группах представлены в таблице 1.1.

Таблица 1.1

Основные результаты исследований влияние добавления эффлюента в виде кормовой добавки в рацион свиней

№	Наименование опыта	Показатели
1.	Продуктивность свиноматок, %	9,7
2.	Живая масса поросят при отъеме, %	3,36
3.	Содержание общего белка в сыворотке крови молодняка свиней, %	14

Аналогичные результаты описаны в работе [44], автор отмечает, что помимо вышесказанных полезных веществ, анализ состава эффлюента выявил содержание селена и витамина Е, которые относятся к антиоксидантам.

Эффективность использования летников характеризуется по объемам удоев молока. По данным территориального органа Федеральной службы государственной статистики по Республике Саха (Якутия) следует учитывать следующие факторы [106].

Таблица 1.2

Факторы, влияющие на повышение производство молока

№	Факторы	Описание
1.	Создание стабильной кормовой базы	Расширение рациона кормовых средств и внесение питательных веществ в кормах
2.	Развитие посевных культур	Высадка однолетних и многолетних трав зерновых культур, усиление кормопроизводство для заготовки сочных кормов – силоса, сенажа, как основного молокогонного корма
3.	Внедрение прогрессивных способов приготовления полнорационных кормовых смесей в виде кормосмесей	Для заготовки кормосмесей предлагается приобрести кормосмесители нового поколения, которые дают возможность готовить кормовые смеси с учетом особенностей видов животных по рационам кормления с 20–30 элементам питания

В отчете РАСХН Сибирского отделения Якутского НИИСХ [111], основными путями повышения рентабельности К(Ф)Х и личного подворья отмечены и произведен прогноз следствий (рис. 1.2).



Рис. 1.2. Пути повышения рентабельности хозяйств [111]

Крупный рогатый скот проводит летний сезон с выгулом на пастбищах в период май–сентябрь, что составляет в целом

120–125 дней: объемы зеленого корма с пастбищ составляет примерно 30–50 центнеров на гектар, при достаточном увлажнении достигает значений 100–150 центнеров на гектар. Исходя из суточной продуктивности и живой массы поголовья, рассчитываются значения необходимых норм зеленого корма на летний период. По этим расчетам, на 1 кг молока дойной коровы приходится 4,5–5 кг зеленого корма в день. Пастбищный сезон эффективен именно периодом с низкими затратами и высокими показателями производства продуктов животноводства [111].

В настоящее время пастбищный период неэффективно используется в молочном животноводстве Якутии, о чем отражено в следующей работе [107].

Повсеместное строительство летних ферм в Якутии ограничивается отсутствием подключения к центральной сети. Внедрение автономных когенерационных линий на основе биоэнергетических установок является нашим предложением для решения этой проблемы. Также помимо использования когенерационной линии в качестве источника энергии, есть перспективы применения получаемого шлама из биогаза в виде кормовой добавки. Данный процесс аналогично не требует больших затрат.

1.3. Биоэнергетические установки (БЭУ)

В современное время применяются достаточно большое количество биогазовых установок на основе анаэробного сбраживания органических отходов. Все эти установки классифицируются в зависимости от характерных особенностей [10; 49; 56; 57 и др.].

Классификация биоэнергетических установок, которые используются в сельскохозяйственном производстве в нынешнее время была разработана в работе [91] (рис. 1.3).

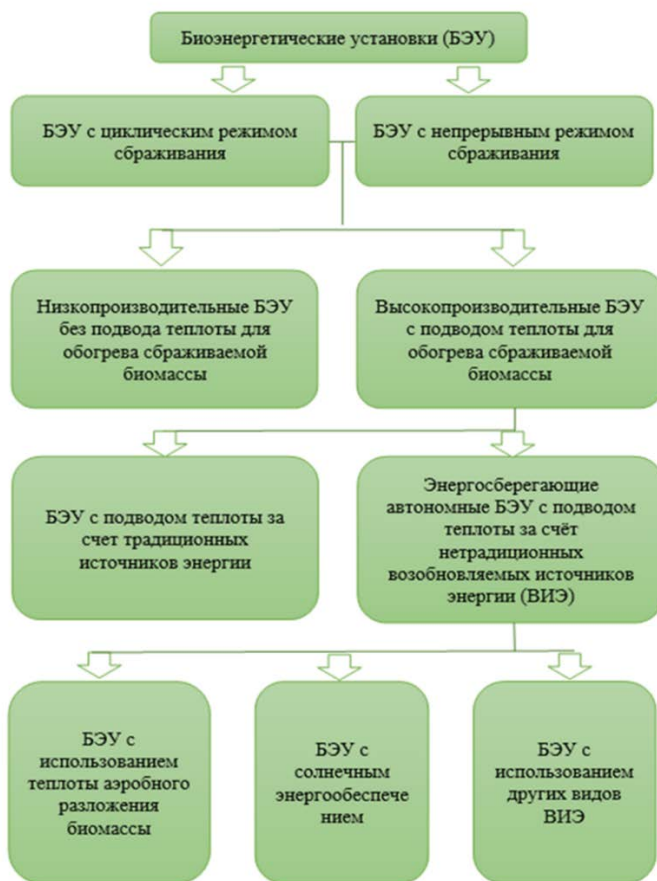


Рис. 1.3. Классификация биоэнергетических установок [91]

Данная группировка сформирована, основываясь на специфических обстоятельствах, в которых будут применяться эти установки. К обстоятельствам относятся местонахождения нуждающихся в местах с недостаточно развитой инфраструктурой и отсутствием подключения к центральной сети [91]. Согласно источникам [59; 91] низко производительными называют биоэнергетические установки, эффективность работы которых находится в пределах 0,3... 1,0 м³ биогаза с единицы объема емкости сбраживания в

сутки, а высокопроизводительными соответственно выше. Но всегда имеются перспективы, что разрабатываемая БЭУ может быть более высокоэффективной по производству биогаза. Автор работы [91] отмечает, что установки с постоянным режимом сбраживания намного актуальны, чем установки с периодическим режимом сбраживания. Это связано с тем, что производство биогаза первых наиболее стабильно из-за загрузки в метантенк небольших порций субстрата каждые сутки, что подразумевает выгрузку соответствующего количества эффлюента [91].

Исходя из классификации следует, что к низкопроизводительной группе БЭУ относятся установки, работающие в основном при психрофильном режиме сбраживания без дополнительного источника подогрева извне сбраживаемой биомассы и без вращательного элемента. Виды БЭУ с таким механизмом функционирования наиболее актуально применяются в странах с тропическим климатом, как Китай, Индия, Сингапур, Сенегал. Данные виды БЭУ размещаются в основном под землей, для поддержания температуры сбраживания (рисунок 1.4) [91].

Сбраживаемое органическое сырье (навоз животных) из емкости (метантенк объемом 6... 10 м³), где из нее удаляются неперерабатываемые примеси, поступает в метантенк. Из метантенка масса с малой скоростью перетекает в резервуар для приема биогаза. А полученный эффлюент можно применять в качестве удобрения. Исходя из того, что температура сбраживания сформировывается в зависимости от естественной теплоты прилегающего к метантенку пространства, процесс сбраживания проходит в основном независимо и хаотично. При этом время анаэробного сбраживания в данных установках достигает от 14 до 40 суток [91].

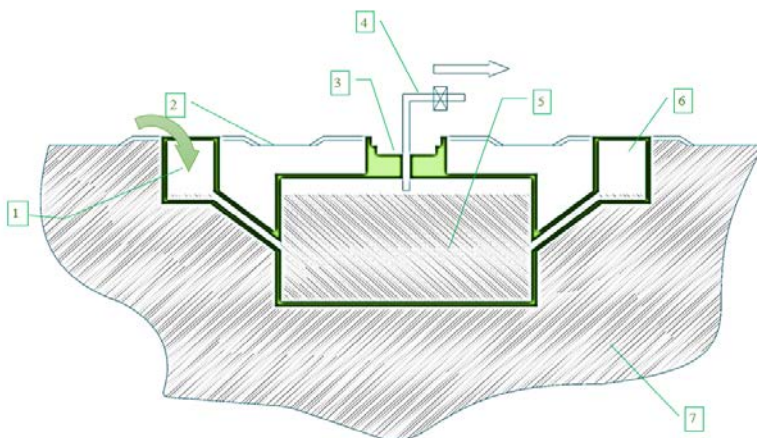


Рис. 1.4. Схема БЭУ, расположенного под землей (Фиджи):
1 – загрузка исходного сырья; 2 – уровень земли; 3 – съемная крышка; 4 – газопровод; 5 – метантенк; 6 – выгрузка переработанного сырья; 7 – почва [91]

В Монголии также применяют один из видов низкопроизводительных БЭУ (рис. 1.5). Метантенки в таких установках изготовлены в качестве котла. Процесс сбраживания проходит в основном так же независимо и хаотично, отсутствует вращательный механизм. Сбраживаемую массу подогревают с помощью сжигания дров или кизяка. Такой метод применяют только вначале процесса, достигают температуры сбраживания в котле $50...60^{\circ}\text{C}$, далее нагрев прекращается. В последующем температура сбраживания поддерживается с помощью прилегающей к метантенку почвы земли, который служит своего рода тепловой изоляцией. Период сбраживания после начального подогрева составляет более 40 суток. [91].

Такая конструкция метантенка позволила достичь от $0,3$ до $0,5 \text{ м}^3$ на 1 м^3 бродильной емкости в сутки по выходу биогаза. Скорость сбраживания биомассы относительно маленькая, что является большим недостатком по сравнению с конструкцией других установок [91].

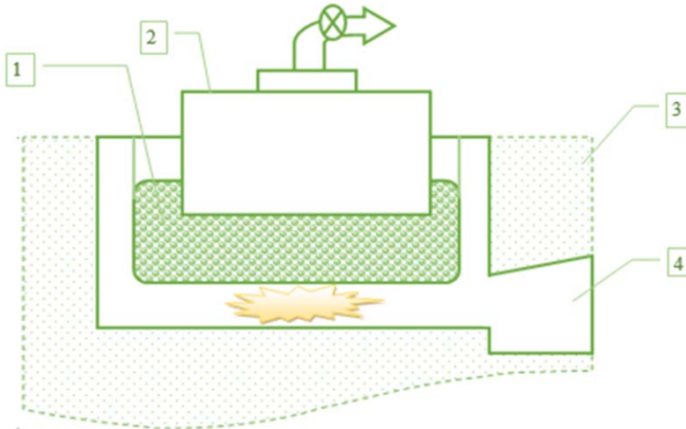


Рис. 1.5. Биогazовая установка в Монголии
1 – котел; 2 – газoвый колокол; 3 – почва земли;
4 – камера сжигания топлива [91]

Усовершенствованной моделью вышеописанных установок является биогazовая установка системы «Дармштадт» (рис. 1.6).

Данная установка дополнительно имеет оборудование для подогрева и вращательный элемент в качестве мешалки сбраживаемого субстрата. Установка состоит из горизонтального метантенка 2 объемом 20 м³, который установлен в хозяйстве с количеством поголовья 18 крупного рогатого скота, содержащихся на подстилке. Специальный вращательный элемент в качестве мешалки 2, источником движения которого является электродвигатель 4, сконструировано в поперек метантенка. Режим работы перемешивающего элемента составлял 6 оборотов в течении минуты 10 раз в день. Максимальное значение температуры сбраживания достигает значения около 30°C. Отработанный субстрат перемещают в емкость 6 с помощью крана 5 три раза в сутки. Биогaz из метантенка 1 через газoвые трубы 3 поступает в газoльдер 7. Период сбраживания составляет 20 суток. Объем выхода биогaza достигает 25 м³ в день или около 1,2 м³ на 1 м³ объема метантенка в сутки, содержание CH₄ – 70% [91].

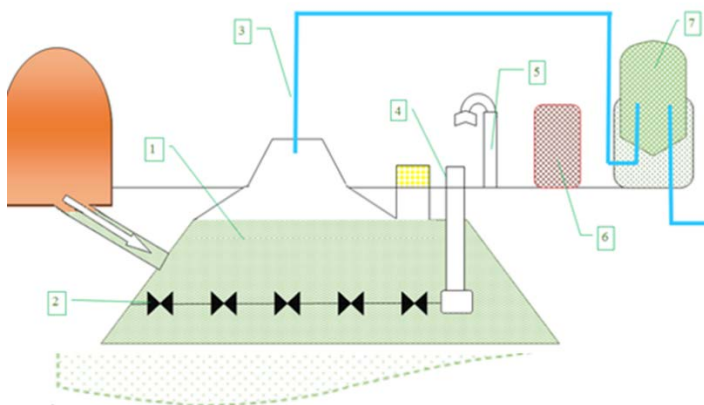


Рис. 1.6. Биогазовая установка «Дармштадт» (Германия) [91]:

1 – метантенк; 2 – перемешивающий элемент; 3 – газопроводы; 4 – электродвигатель мешалки; 5 – кран для разгрузки сброженного субстрата; 6 – емкость для сброженного субстрата; 7 – газгольдер [91]

Расположение вышеуказанных установок под землей обеспечивает сохранение температуры сбраживания с помощью теплоты земной коры. Это существенно снижает тепловые потери в окружающую среду от сбраживаемой массы [91].

В Московской области в совхозе «Истринский» учеными из Всероссийского научно-исследовательского института был разработана и внедрена установка по метановому сбраживанию органических отходов крупного рогатого скота (рисунок 1.7). Установка содержит: метантенк, мокрый газгольдер, нагревательное устройство, пункт управления и систему энергоснабжения [91].

Биомасса поступает в емкость 7, проходя через фильтр 8. После с помощью наоса подается в емкость 5. Потом, нагретая в емкости 5, масса поступает в перекачивающее устройство по трубопроводу в верхнюю часть метантенка 1. Специальное устройство контролирует суточную дозу загрузки (выгрузки) сырья с помощью перекачивающего устройств. Образование корочки предотвращается с помощью мешалки 6. Далее отработанный материал выгружается в емкость 3. Теплоизоляция обеспечивается водонагревателями ЭПВ-2 с регулируемой температурой теплоносителя. Объем метантенка 18 м^3 , а газгольдера – 20 м^3 . Технические характеристики

данной установки следующие: мощность 53 кВт, объем перерабатываемого отхода 3 т/сут, биогаза 3,3 м³ на 1 м объема метантенка в сутки [91].

накапливается в газгольдере 7, сброженный субстрат в свою очередь поступает в емкость 8. Еще одним отличием этой установки является использование центрифуги 9 для сушки сброженного субстрата. Высушенный материал используют в виде прикорма, а шлам в качестве удобрения. [91].

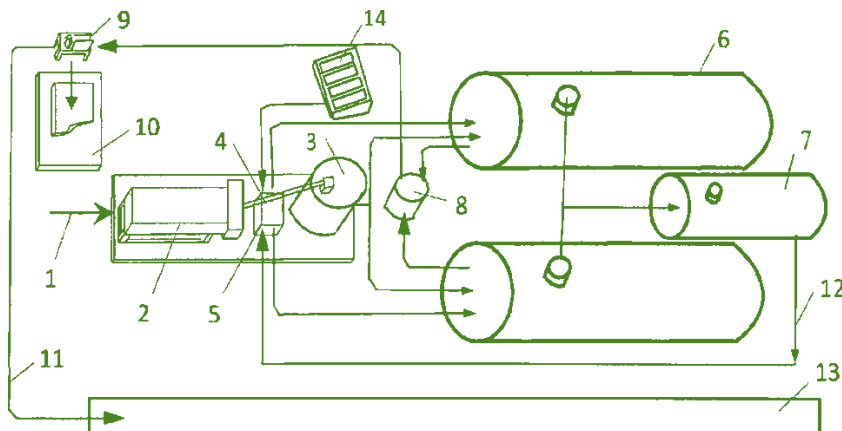


Рис. 1.8. Схема биоэнергетической установки с использованием солнечной энергии корпорации «Biogas of Colorado»: 1 – исходное сырье; 2 – емкость сбора сырья; 3 – бак для подготовки биомассы; 4 – конвейерная установка; 5 – подогрев; 6 – метантенк; 7 – газгольдер; 8 – емкость для приема жидкого осадка; 9 – центрифуга; 10 – место для высушивания осадка; 11 – шлам; 12 – биогаз; 13 – поля для внесения удобрений; 14 – солнечные батареи.

С конструкцией с солнечными батареями также сооружена биоэнергетическая установка в с. Митрофановка Крымской области (рис. 1.9). Данную установку соорудили солнечным коллектором, а также бак-аккумулятором, теплообменником, циркуляционным перекачивающим устройством для гарантированной температуры сбраживания в независимости от региона применения. Сложная конструкция и необходимость в энергообеспечении рассматриваемой установки не подходит для требуемых нами условий [91].

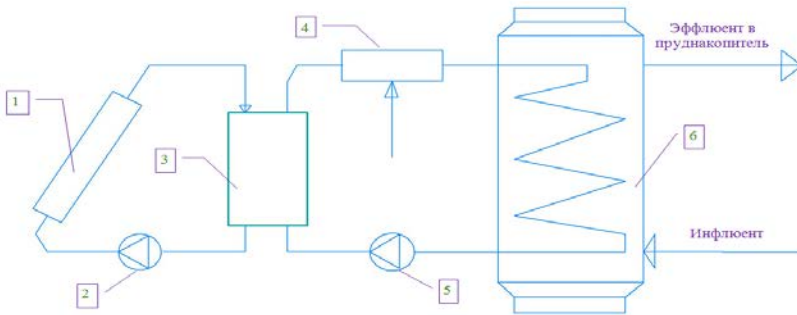


Рис. 1.9. Биогазовая установка, с. Митрофановка,
Крымская область:

- 1 – солнечные батареи; 2, 5 – перекачивающее устройство;
3 – накопитель энергии; 4 – устройство для подогрева;
6 – реактор

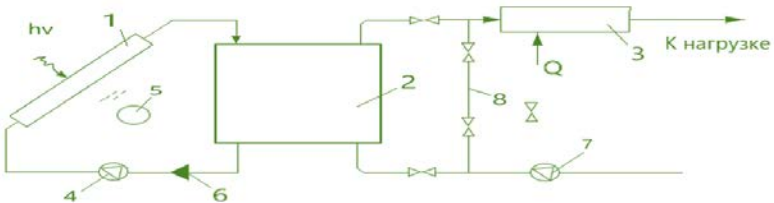


Рис. 1.10. Схема солнечного теплоснабжения БЭУ:

- 1 – солнечные батареи; 2 – накопитель энергии; 3 – запасной аккумулятор;
4, 7 – перекачивающее устройство; 5 – пункт контроля; 6 – обратный клапан; 8 – автоматика

Существует метод производства биогаза из навоза с предварительной аэробной обработкой перед анаэробным сбраживанием, разработанный французскими исследователями М. Дюшелье и М. Истман [34] (рис. 1.11). По этому методу данная установка включает в себя: три прямоугольных метантенка с полистиролом на дне виде изоляции, выполненные с тремя стенками толщиной 15 см, материал корпуса армированный бетон и чехол. Объем каждой 9,6 м³. Метантенки оборудованы вентиляционными каналами 2 для предотвращения образования корочки. Эти каналы накрыты оцинкованной металлической щит, обеспечивающие стекание

жидкости в колодец. Подогрев массы обеспечивается нагревательным элементом мощностью 1500 Вт. Он имеет автоматическое управление посредством датчика температуры. Во время загрузки и выгрузки чехол снимается [91]. После аэробного процесса метантенк накрывают, тем самым обеспечивая теплоизоляцию. Период сбраживания достигает 3 месяцев [91].

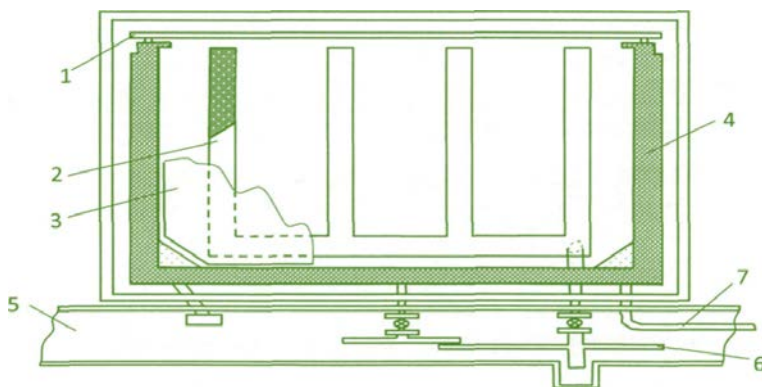


Рис. 1.11. Биогазовая установка методом производства биогаза из навоза Дюшелье-Истмана (Франция): 1 – чехол; 2 – воздушные мешалки; 3 – оцинкованный металлический щит; 4 – бетонный корпус; 5 – выход шлама; 6 – разгрузочное устройство; 7 – выход газа

Объем биогаза в сутки составляет $0,3...0,7 \text{ м}^3$, температура сбраживания варьируется $20...25 \text{ }^{\circ}\text{C}$ [34]. Применение такого метода ускоряет образование биогаза [91].

Исходя из этих разработанных установок, можно сделать вывод, что правильная теплоизоляция и благоприятные условия окружающей обеспечивают необходимое условие стабильного температурного режима сбраживания (рис. 1.12) [54]. По спроектированной системе производства биогаза и органических удобрений в Чехии следует, что навоз целесообразно, предварительно собрав емкость 4, нагреть до 55°C . Затем накрыть крышкой и обеспечить анаэробные условия сбраживания. Биогаз в результате анаэробного сбраживания поступает в газгольдер 3, затем идет к потребителю [91].

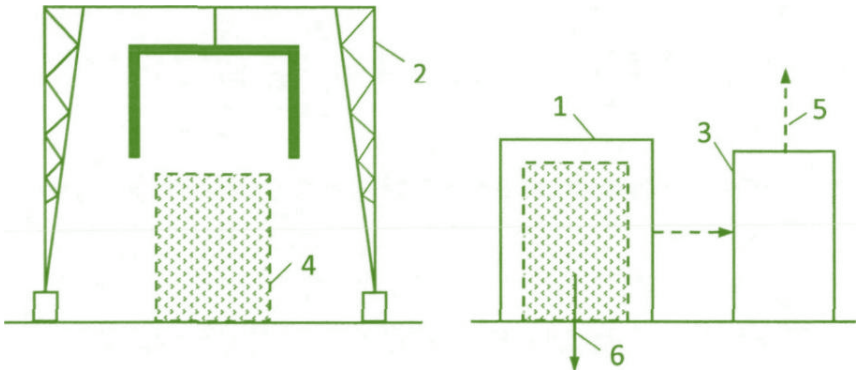


Рис. 1.12. Биогазовая установка (Чехия):

- 1 – крышка; 2 – перемещающее устройство; 3 – газгольдер;
4 – приемный резервуар; 5 – выход биогаза к потребителю;
6 – выход эфлюента

Метантенки по такой технологии выполняются размером 6 м высоту и объемом 170 м³. Данная технология внедрена в кооперативе Руде Армада (Чехия), поставщиком отходов является ферма КРС с поголовьем 1000 коров, способ содержания на привязи с использованием соломенной подстилки. Установка работает в периодическом режиме технологического процесса [91]. В начале микроаэрофильной фазы происходит саморазогрев сбраживаемого субстрата. Крышка, обеспечивая герметизацию, позволяет образоваться теплоте. Отмечено, что срок окупаемости установки 8 лет при капиталовложениях 1 млн руб., также фактический суточный выход биогаза был равен 1300 м³ [66]. Однако для обеспечения процессов герметизации, изоляции метантенков необходимо соорудить дополнительное оборудование для манипуляции [91].

Осмоновым О.М. были проанализированы более 50-ти установок, построенные в разных областях Кыргызской Республики по состоянию на 2006 г. Отмечается, что в настоящее время в рабочем состоянии находятся меньше половины установок (рис. 1.13) [91].



Рис. 1.13. Существующие БЭУ в Киргизии

Следует отметить, что данные установки (рис. 1.14) при высоких показателях производительности, способны функционировать и эксплуатироваться в местностях с подключением к центральной сети. Им необходима стабильная электросеть. В фермерском хозяйстве в «Кызыл- Чарба» Таласской области внедрена установка без подогрева и теплоизоляции с ручным перемешиванием сырья (рис. 1.14, а) Метантенк объемом 5 м³, без дополнительного подогрева извне (ручная загрузка, выгрузка и перемешивание сырья). Перед запуском установки загружается биомасса весом 3 тонны. Режим работы – психрофильный, сезон работы – летнее время. В результате объема биогаза было достаточно только на приготовление пищи. Низкий показатель производительности обусловлен отсутствием обогрева сбраживаемой массы и теплоизоляции метантенка [91].

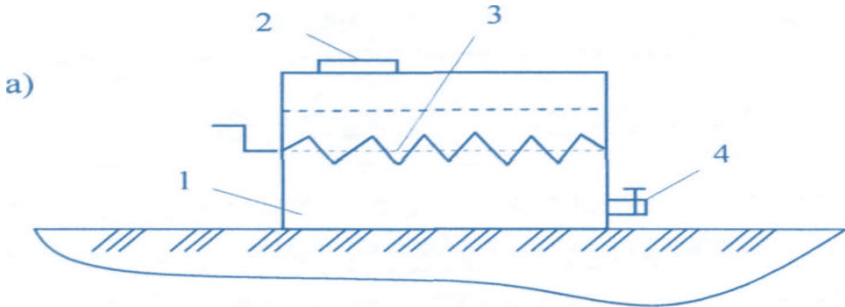
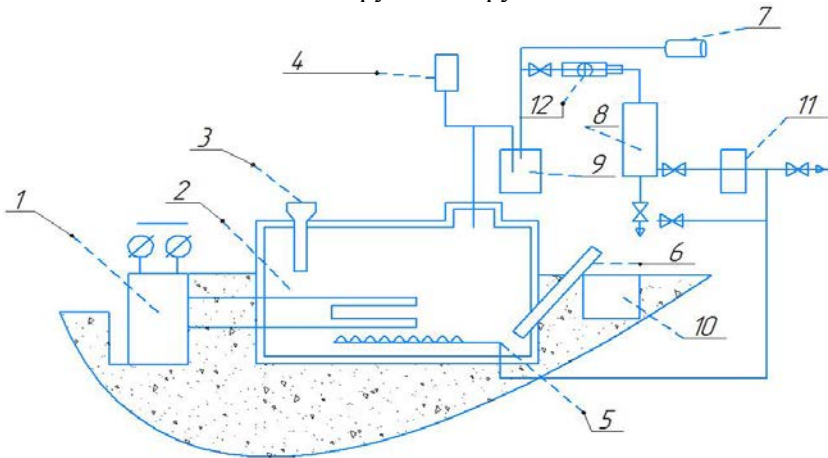


Рис. 1.14 – Система биогазовой технологии в Киргизии

- а) БЭУ без энергообеспечения: 1 – метантенк;
2 – патрубок загрузки; 3 – перемешивающее устройство;
4 – патрубок выгрузки



- б) БЭУ с энергообеспечением: 1 – подогрев; 2 – метантенк;
3 – устройство для загрузки; 4 – автоматика;
5 – перемешивающее устройство;
6 – устройство для выгрузки; 7 – прегазгольдер; 8 – ресивер;
9 – водяной затвор; 10 – накопитель; 11 – газгольдер;
12 – компрессор

В Иссык-Кульской области была установлена и внедрена биоэнергетическая установка с объемом с возможностью переработки навоза на 12 голов. Для большей эффективности установка оборудована дополнительным оборудованием для нагрева биомассы и

механической мешалки, а метантенк объемом 5 м^3 теплоизолирован. Режим работы данной установки – мезофильный, термофильный, в зависимости от температур, которые достигаются посредством подогрева. Биомасса подогревается теплой водой, которая циркулирует по трубам системы отопления. Доза загрузки – один раз в неделю, режим мешалки один раз в день. Полученный биогаз применяется для приготовления пищи или накапливается газгольдере. Также отработанный эфлюент хранится для внесения удобрений [91].

В Чуйской области с. Петровка установлена БЭУ, с размерами метантенков 60 м^3 и 25 м^3 , 25 м^3 , 40 м^3 . Режим работы – мезофильный, термофильный. Способ загрузки – пневматический, также установка оснащена автоматическим устройством отбора производимого биогаза. Установка рассчитана на 10 т привозных органических отходов человека, хозяйства с поголовьем 35 голов КРС, 160 свиней, 350 кур [91]. В составе биогазовой установки содержится фильтр для удаления углекислоты в качестве абсорбера, газгольдер общим объемом 30 м^3 , генератора мощностью 30 кВт [91]. Поддержание оптимальной температуры обеспечивается содержанием установки в помещении, со смешиванием биомассы с теплой водой и использованием горелки инфракрасного излучения. [91].

Ученые ФГБОУ ВПО Кабардино-Балкарского государственного аграрного университета имени В.М. Кокова в статье [129] провели эксперименты на биогазовой установке, работающей на птичьем помете. Для проведения экспериментальных исследований была собрана с учетом потребностей К(Ф)Х «Хьэмзэт» Терского района с поголовьем 300. Режим работы термофильный ($50\text{--}60^\circ\text{C}$), метантенк размером 20 л, газгольдер на 3 л, изначальная загрузка сырья составляла 2 т, состав сырья вода и птичий помет (8/2), доза загрузки 430 кг. Результаты следующие: температура сбраживания 54°C , влажность биомассы 90%, период сбраживания 11 дней (рис. 1.15). Выход биогаза составил $14,2 \text{ м}^3$ в сутки.

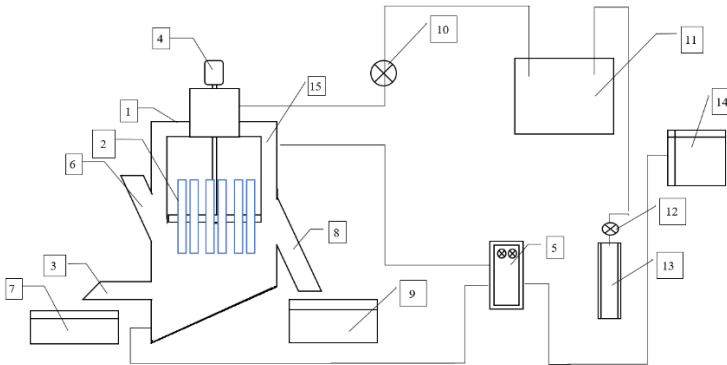


Рис. 1.15. Технологическая схема биогазовой установки из птичьего помета, К(Ф)Х Терский район, Кабардино-Балкария:

- 1 – метантенк, 2 – мешалка, 3 – выгрузное устройство, 4 – электродвигатель мешалки, 5 – газовый котел, 6 – загрузочный патрубок, 7 – отработанная сырье, 8 – разгрузочный патрубок, 9 – емкость для приема, 10 – гидрозатвор, 11 – газгольдер, 12 – пункт контроля, 13 – искрогаситель, 14 – потребитель газа, 15 – водяная рубашка

В своей работе [60] Кильчукова Олеся Хаутиевна разработала модернизированную биогазовую установку, представляющую собой цилиндрическую емкость объемом 50 л (рисунок 1.16). Усовершенствование биогазовой установки представляет собой конструктивное решение совмещения перемешивающего устройства (мешалки) и нагревательного элемента БГУ в один узел. Эксперименты проводились в птичнике КФХ «Хьэмзэт» и теплице ООО «ТерекАгро» Терского района, К(Ф)Х «Сукал-Су» Черекского района Кабардино-Балкарской Республики. При объеме субстрата 33 л (6,6 кг помёта и 26,4 л. воды) длительность переработки помета составила 12 суток, при этом, биогазоустановка ежесуточно вырабатывает биогаз 4,03 м³ и биоорганических удобрений – 6,6 л. [60].



Рис. 1.16. Общий вид усовершенствованной биогазовой установки Кильчуковой О.Х. [60]

Корпус метантенка оснащен полиуретановым пенопластом (ППУ-ЭТ) в целях изоляции. Подогрев биомассы осуществляют с помощью газового котла, а температура контролируется с помощью термодатчика ДТС-105-50М и регулируется микропроцессорным регулятором ТРМ-202. Биомасса (птичий помёт) подаётся в бродильную камеру при влажности массы составляет 80–90%, где происходит анаэробное сбраживание по термофильному режиму (при температуре 50–55°С) [60]. Брожение происходит без доступа воздуха. Устойчивый режим образования биогаза происходит через 10–11 суток. Биомасса в метантенк загружается ежедневно.

При этом, загрузка составляет 20% от исходной биомассы (примерно объёмом 6–7 литра). Перебродившая масса самотёком поступает через загрузочное устройство в накопитель [60]. Технологическая схема разработанной системы показана на рисунке 1.17.

Для разработки автономной когенерационной линии была подобрана биоэнергетическая установка, разработанная Друзьяновой В.П. Технология, описанная в работе [43] описывает методику адаптирования естественных мезофильных метаногенных микроорганизмов, образующихся при психрофильных условиях. Энергетическая модель сформирована в работе [43] следующим образом:

$$\begin{aligned}
 \mathcal{E}_Б &= \mathcal{E}_{СУБ} - \mathcal{E}_{Q\text{ окр}} - \mathcal{E}_{ШЛ} - \mathcal{E}_{Q\text{ шл}} - \mathcal{E}_{Q\text{ б}} \\
 \mathcal{E}_{СУБ} &= \mathcal{E}_{НАВ} + \mathcal{E}_{НАГР} \\
 \mathcal{E}_{НАВ} &= \mathcal{E}_{БЕЛ} + \mathcal{E}_{ЖИР} + \mathcal{E}_{УТЛ}, \\
 \mathcal{E}_{НАГР} &= f(G_{НАВ}, c_{НАВ}, t_{НАВ}, G_{ВОД}, c_{ВОД}, t_{ВОД}, t_{СБР}, t_{ОКР}) \\
 \mathcal{E}_{Q\text{ окр}} &= f(\tau, K, t_{СБР}, t_{ОКР}, \lambda_{СТ}, \delta_{СТ}, V_B, F) \\
 \mathcal{E}_{ШЛ} &= \mathcal{E}_{ОВ} + \mathcal{E}_{АМ} \\
 \mathcal{E}_{Q\text{ шл}} &= f(G_{ШЛ}, c_{ШЛ}, t_{СБР}, t_{ОКР}) \\
 \mathcal{E}_{Q\text{ б}} &= f(G_B, c_B, t_{СБР}, t_{ОКР}) \\
 \mathcal{E}_Т &= \mathcal{E}_Б - \mathcal{E}_{НАГР}
 \end{aligned}
 \tag{1.1}$$

где $\mathcal{E}_Б$ – энергия биогаза, $\mathcal{E}_{НАВ}$ – энергия сырья; $\mathcal{E}_{СУБ}$ – энергия сбраживаемой биомассы; $\mathcal{E}_{НАГР}$ – энергия, обеспечивающая температурный режим; $\mathcal{E}_{Q\text{ окр}}$ – энергия теплоты, уходящий на окружающий воздух; $\mathcal{E}_{ШЛ}$ – энергия шлама; $\mathcal{E}_{Q\text{ шл}}$ – энергия разгружаемого шлама; $\mathcal{E}_{Q\text{ б}}$ – энергия теплотворной способности биогаза.

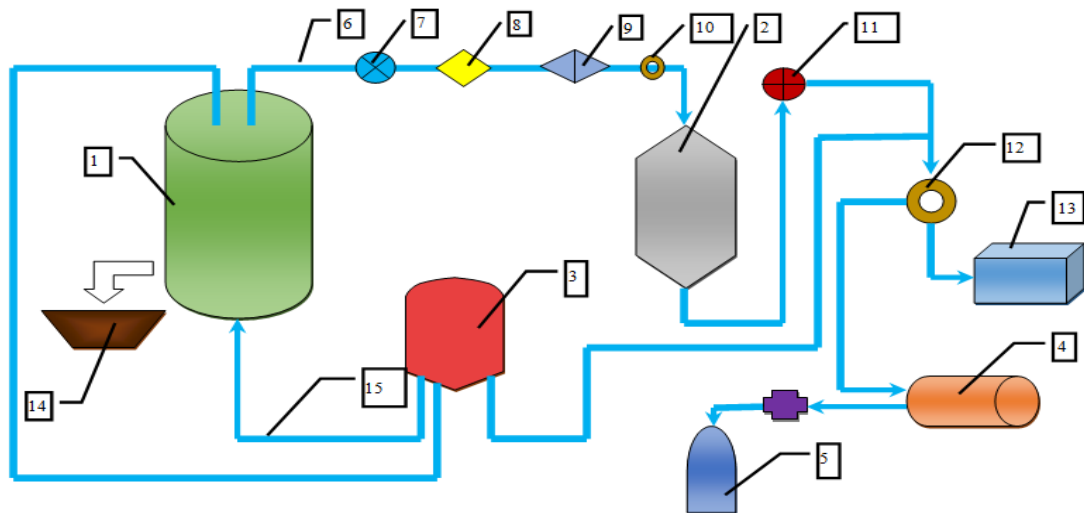


Рис. 1.17. Технологическая схема биогазовой установки Кильчуковой О.Х. [60]:
 1 – метантенк; 2 – газгольдер; 3 – подогрев; 4 – регулятор давления; 5 – газовый баллон;
 6 – газовые трубы; 7 – гидрозатвор; 8 – байпасная линия; 13 – выход к потребителю;
 14 – емкость для шлама; 15 – трубопровод

Объем выход биогаза зависит от величины тепла, затрачиваемой на сохранение собственного состояния и расхода на окружающую среду. Из чего следует, что объем метантенков можно увеличить, уменьшая потери тепла через поверхности с теплоотдачей. Автор работы [44] установила, что в начале процесса сбраживания при равных условиях в мезофильном режиме выходит меньше товарного биогаза, чем (V_B), чем в психрофильном. Результаты по итогам первых экспериментов были следующие: объем вырабатываемого биогаза составляет $V_6 = 30964,3$ МДж/год, режим сбраживания психрофильный (5°C) на сырье от фермы с поголовьем 27 голов, объем вырабатываемого биогаза составляет $131595,3$ МДж/год, режим работы мезофильный $V_6 = 27278,7$ МДж/год [44].

Далее, в работе [44] ввиду холодного климата региона изучен и апробирован анаэробный процесс в психрофильном режиме работы установок [106]. Принципиальная схема данной технологии приведена на рисунке 1.18. Таким образом, основная особенность психрофильной накопительной технологии Друзьяновой В.П. заключается в следующем:

1. Метантенк максимум должен иметь объем 1 м^3 , поскольку при этом объеме: конструкция упрощается, возрастает доступность изготовления в условиях фермерских хозяйств; исключается необходимость дополнительных подогревающих устройств: в сбраживаемом субстрате в накопительном режиме успевает созреть достаточное количество метангенерирующих микроорганизмов для оптимального разложения исходного субстрата с продуцированием горючего биогаза.

2. Фермер, в зависимости от своих финансовых средств, имеет возможность наращивать производство биогаза путем увеличения количества метантенков, т.е. применяется модульный способ.

Данная технология наиболее подходит для разработки автономной технической системы, обладающих низкой себестоимостью и высокой эффективностью, которая позволит повысить независимость малых хозяйств от центрального объекта энергообеспечения.

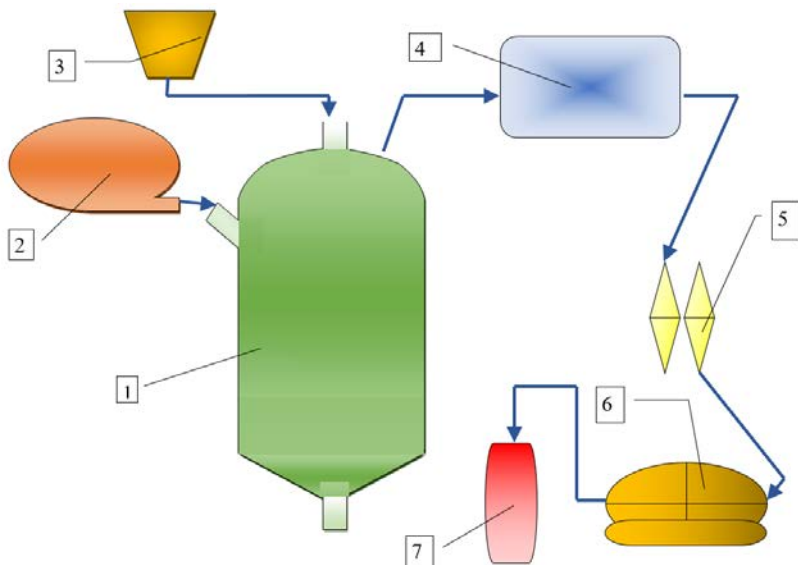


Рис. 1.18. Принципиальная схема биоэнергетической установки в психрофильном режиме работы, разработанной Друзьяновой В.П.: 1 – метантенк; 2 – исходная биомасса; 3 – накопитель газа; 4 – сухой газгольдер; 5 –очищающее устройство; 6 – регулятор давления; 7 – баллон [44]

1.4. Основные факторы, влияющие на процесс производства биогаза из навоза крупнорогатого скота

Классификация всех факторов, влияющих на процесс анаэробного сбраживания из навоза крупнорогатого скота представлен на рисунке 1.18.

Из рисунка видно, что основными факторами являются постоянство температурного режима, присутствие бактерий со способностью кислото- и метангенерации, отсутствие воздуха, непроницаемость световых лучей, присутствие воды и органического вещества [43].

В литературных источниках [7; 10; 28; 43; 44; 53; 70; 72; 136] описываются факторы, имеющие разный ранг приоритетности.

В данной работе эксперименты в метантенке проводились в постоянном режиме. Метантенк имеет форму колокола, без мешалки,

материал – термостатируемое до 55°C стекло, объем – 0,5 л. Авторы работы провели исследование метантенка непрерывного действия. Результаты были таковы, что в ночное время показатели были выше, чем днем. Это обуславливается тем, что прямой дневной свет замедляет процесс образования метаногенных бактерий.

Оптимальная скорость сбраживания обеспечивается анаэробными условиями (отсутствие кислорода). Активное образование метаногенных бактерий прямой показатель эффективности биогазовых установок, так как именно они характеризуют качество получающегося в итоге горючего топлива, в виде биогаза. По результатам экспериментов ученые пришли к выводу, что стабильность температуры сбраживания не влияет на содержание микроорганизмов в субстрате, а является ключевым фактором скорости процесса. Из-за максимального санитарно-гигиенического эффекта, в России актуально применение биогазовых установок, работающих на термофильном режиме. В других странах признают мезофильный режим работы тоже, аргументируя не достаточностью доказательств практичности и рентабельности термофильных установок. Хотя также зарубежные ученые отмечают, что скорость очистки выше в термофильных условиях. Авторы работ [47; 48; 97; 98] пишут, что существенной разницы между режимами термофильный и мезофильный нет. Это доказали и ученые [33], Шверин определил, что в мезофильном и термофильном режимах с 1 г навоза выходит одинаковое количество биогаза. Установлено, что микроорганизмы, способные к метаногенерации развиваются медленно при низких температурных условиях. Свиной навоз показал аналогичные результаты при экспериментах Дубровского В.С. из этих опытов можно сделать вывод, что выход объема биогаза должен дойти до теоретически возможного, не учитывая температурный режим при увеличении периода сбраживания. Главным фактором при этом является состав исходного сырья.



Рис. 1.18. Технологические факторы, воздействующие на процесс производство биогаза

В отличие от других режимов сбраживания исследований и экспериментов, проведенных в психрофильном режиме мало. Якутскими исследователями ввиду холодного климата региона изучен и апробирован анаэробный процесс в психрофильном режиме работы установок [106]. Температура сбраживания не превышает 13 °С, поэтому требуется несколько больше времени для выдержки субстрата.

Ученые Кишиневского политехнического института провели испытания по очистке сточных вод свиноводческих комплексов. Была внедрена технология анаэробной очистки животноводческих стоков на основе применения прикрепленной микрофлоры. Температурный режим был выбран 10–35 °С. Но высоких показателей добились и при более низких температурах – 10 и 20 °С [126]. При испытаниях были использованы метантенки разного размера, максимальный размер был 4 м³. Производительность лабораторной установки по анаэробному сбраживанию была высокой при температурном режиме 19–22 °С [126].

Аналогичные исследования [8] провели Андрухин Т.Я., Буренков В.С., исходно сырье – птичий помет, режим работы – психрофильный 12–20 °С. Доза загрузки 10–12 кг помета в сутки один раз на 500 литров. Эффективность благоприятных условий достигается увеличением влажности исходного сырья. Рекомендуемый уровень влажности органических отходов крупного рогатого скота, который обеспечит больший выход биогаза, 92–97% [8; 48; 59]. За счет высокой влажности снижают щелочность среды, меняют концентрацию аммонийного азота, что может мешать процессу брожения и выходу биогаза.

Достигли впечатлительных показателей Келов К.К., Чопанов М.Г. с материалом птичьего помета при уровне влажности от 15% до 95%, испытания проходили в лаборатории при мезофильных условиях (35 °С) [59]. При испытаниях наиболее высоких показателей выхода объема биогаза из птичьего помета достигли с влажностью биомассы в диапазоне 75–95% [59].

Другие ученые пришли к выводу, при уровне влажности 89–91% процесс сбраживания протекает стабильнее. Расходы на энергообеспечение подогрева и нагрева снизились в 2 раза при сохранении влажности навоза в течении всего процесса [63].

Согласно Баадеру [10] при должном обеспечении благоприятных условий последствия большинства вредных примесей и их составляющих можно контролировать, кроме содержания антибиотиков. Исходя из этого следует, что есть противопоказания использования в качестве биомассы органические отходы, полученные во время вакцинации [43].

Благоприятными условиями для образования метаногенных бактерий являются наличие углерода, которая обеспечивает процесс энергией, водорода, азота, серы и фосфора для образования белка. Пропорции углерода и азота являются показателями активности микробной реакции не должны превышать значений от 16 до 19 [28]. В противном случае из-за содержания высокого уровня аммиака нарушится питательная среда. Поэтому необходимо периодически выгружать шлам, в целях снижения уровня азота.

Входящие в состав навоза фосфор (нуклеиновые кислоты, нуклепротеиды, фосфоримерованные сахарами фосфолипиды, аденозинфосфаты и др.), азот (аммиак) усваиваются растениями лучше, чем минеральные удобрения, например [90].

Высокое значение образования метана в биогазе было достигнуто при медленном перемешивании, образование незначительных корки в виде локальных пятен не показала отрицательного влияния. Из работ [15; 24; 47; 48; 97; 98] ясно, что влияние наличия перемешивающего устройства на газовыделение имеет противоречивый характер. Из всех этих исследований можно сделать вывод, что управляющими факторами являются доза загрузки, влажность исходного сырья, температура сбраживания [43]. Доза загрузки и беззольного вещества уровня биоконверсии органического вещества. Он измеряется в процентах и определяет долю суточного объема загрузки в метантенке. Формула дозы загрузки предложена следующая [43]:

$$Д_б = Д_з \cdot (100 - В) \cdot (100 - З) / 1000,$$

где $Д_б$ – доза загрузки по беззольному веществу;

$Д_з$ – доза загрузки по объёму;

$В$ – влажность исходного сырья;

$З$ – зольность субстрата.

По итогам внедрения биоэнергетической установки по анаэробному сбраживанию навоза крупного рогатого скота ВИЭСХ было определено значение дозы загрузки, оно не должно превышать

4,5 и 9% на мезофильном и термофильном режимах соответственно. В противном случае показатели выхода биогаза и активность процесса снижались [63].

Необходимо учитывать еще один фактор – кратность загрузки. Данный фактор предполагает, что в один и тот промежуток времени загружают сырье частями или все сразу. В работах [51; 98] отмечено, что при неправильном подборе кратности загрузки разрушается активная среда метаногенных микроорганизмов. Из-за этого нарушается стабильность течения процесса.

Основной фактор, которым можно контролировать благоприятный процесс сбраживания при психрофильном режиме работы, это период сбраживания [43].

Неуправляемые факторы – это природно-климатические условия, такие как температура окружающего воздуха и ветер. Следует учитывать, что если сохранить свежесть навоза, отпадает необходимость подогрева, то есть расходов на энергию не будет. Поэтому биоэнергетические установки должны располагаться на максимально коротком расстоянии от самих животноводческих ферм, где содержатся животные. Стоки рекомендуется теплоизолировать.

Постоянными факторами являются габаритные размеры, конструктивные особенности установок.

По проведенному анализу все технологических факторов ясно, что управляемыми факторами можно выделить влажность сбраживаемого субстрата, доза и периодичность его загрузки в метантенк и температура сбраживания. Эти факторы оказывают существенное влияние на процесс метанового сбраживания в биоэнергетической установке [43].

1.5. Способы использования биогаза

Биогаз используется как топливо в системах отопления, приготовления пищи, как альтернативное моторное топливо и для преобразования [43]. Вопрос широкого применения биогаза для когенерации изучен и повсеместно и широко внедрен в зарубежных странах Европы, США, Африки и Китая [44; 144], а в России известны установки в Белгородской области крупном животноводче-

ском хозяйстве. Следует отметить, что выше названные когенерационные установки внедрены в больших животноводческих хозяйствах и работают в мезофильном режиме.

Из 1 м³ биогаза можно получать от 2 до 5 кВтч в зависимости от качества биогаза по содержанию метана [10; 22; 44; 55; 95]. Поэтому выгодно использовать всю продукцию от биогазовой технологии: газа, удобрения, кормовой добавки и электричества [103].

Для оценки топливного потенциала отходов предприятий животноводства будем опираться на количество поголовья КРС, содержащегося в фермерских хозяйствах Якутии.

В Республике Саха (Якутия) животноводство представлено следующими видами животных – крупный рогатый, лошади, олени, свиньи и птицы. На конец 2020-го года количество поголовья животных составляет 540 тыс. гол. Соответственно, они производят ежегодно 2,8 млн т навоза. Эти отходы путем анаэробной технологии можно преобразовать в экологически чистое удобрение с получением сопутствующего продукта в виде биогаза. После очистки биогаз, альтернативное топливо, можно преобразовывать через генераторы.

Различают низкопроизводительные и высокопроизводительные биоэнергетические установки. К первой группе относятся если объем выхода биогаза от 0,3 до 1 м³ соответственно выше этого значения высокопроизводительные [59].

1.6. Когенерационные установки

Технология когенерации биогаза широко используется в странах Европы и в Китае. На сегодняшний день известны технологии применения биогаза в качестве топлива в котельных и двигателях внутреннего сгорания [120; 142–144].

Авторами работы [39] разобрана технология когенерационных установок (рис. 1.19). Когенерация – это объединенный процесс производства электрической и тепловой энергии внутри одного устройства – когенерационной установки. Первичный привод является механическим источником производимой электроэнергии, которая в свою очередь, вращает ротор электрогенератора: газопоршневой двигатель, газовая или паровая турбина. Тепловая энергия вырабатывается за счет использования тепловых потерь (использование тепла охлаждающей жидкости, смазочного масла,

сжатой газозвоздушной смеси и выхлопных угарных газов) первичного приводного двигателя – газопоршневого, газовой турбины, дизеля [39].

Несомненным преимуществом когенерации по сравнению с альтернативным способом производства электроэнергии с использованием возобновляемых источников энергии, таких как солнце или ветер, является возможность поставлять электроэнергию в заранее точно определенном объеме. Таким образом, когенерацию можно отнести к регулируемым источникам энергии [39].

С помощью централизованной системы управления одновременно несколькими когенерационными установками можно создать системы, состоящие из большого количества малых источников электроэнергии, расположенных в различных регионах, которые работают как один источник большой мощности, это так называемые распределенные электростанции (иногда называемые виртуальными электростанциями) [39].

Энергетическая единица когенерационной установки включает следующие главные узлы и компоненты: двигатель внутреннего сгорания, генератор, систему теплообменников и систему управления. Когенерационные установки на базе газовых двигателей внутреннего сгорания являются децентрализованными источниками энергии. Это означает, что производство электроэнергии и тепла осуществляется в непосредственной близости от места их потребления, и в конечном итоге, это значительно снижает расходы на энергопроводы и потери энергии при доставке к потребителю. Электроэнергия, произведенная когенерационных установок, употребляется для личных нужд потребителя, у которого эта установка содержится, но ее также можно выводить и в общественную сеть. Принцип действия стандартной когенерационной установки представлен на рисунке 1.19. Тепло когенерационных установок используется для отопления объектов, подогрева воды и в технологических целях. Они также успешно используются в качестве аварийных источников электроэнергии во время перебоев в общественной электросети, что снижает уязвимость тех объектов, которые требуют бесперебойной поставки электроэнергии [39].

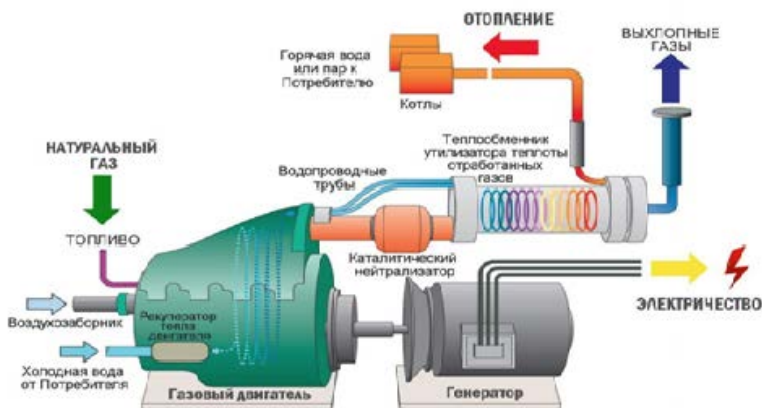


Рис. 1.19. Принципиальная схема когенерационной установки [39]

Ученый с МГТУ им. Н.Э. Баумана И.Н. Афтени [9] был определен основной критерий эффективности использования когенерационных установок, как расстояние расположения источников органического сырья от биоэнергетических установок с электрогенератором.

Исходя из масштабных размеров биогазовых станций, например, для станции с производительностью 250 м³ биогаза в сутки, необходим навоз от 200–220 голов крупнорогатого скота. Соответственно возникает необходимость в пастбищах площадью 100–150 га, с выходом зеленого корма 12–14 тонн. Значит встает вопрос о транспортных затратах зеленого корма, по средним показателям в России расстояние составляет не больше 10 км. Если учитывать использование сброженного шлама виде эффлюента как органического удобрения для внесения в пастбища, то расстояние удваивается [9].

Исходя из работы Афтени следует, что ежедневные расходы на перевозку будут 250 тонн·км. Автор предлагает разместить биоэнергетические установки непосредственно на территории животноводческих комплексов. Разработанная автором когенерационная система, включает в себя фермы, биогазовые установки, мобильную компрессорную установку для сбора биогаза в баллоны и дизельно-генераторную установку для когенерации биогаза в элек-

трическую энергию. Таким образом, предлагаемый автором работы [9] автономный комплекс для когенерации биогаза состоит из следующих автономных элементов (рис. 1.20). Этот биогаз собирается мобильной компрессорной установкой, закачивается в баллоны под высоким давлением и доставляется в баллонах к стационарной генераторной установке.

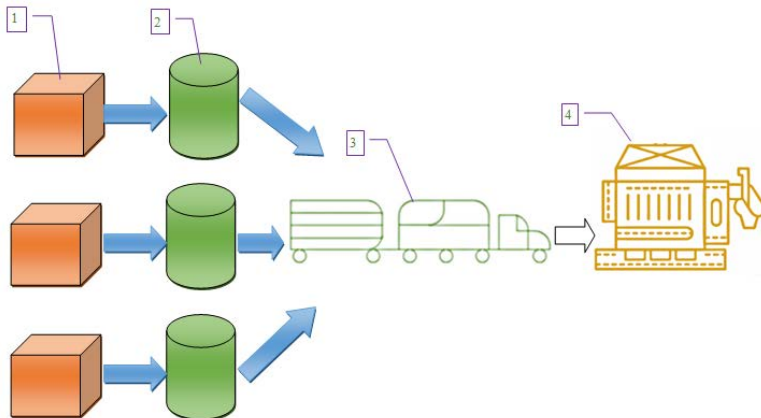


Рис. 1.20. Принципиальная схема автономного энергетического комплекса для выработки электроэнергии из биогаза Афтени

И.Н.: 1 – фермы, 2 – БЭУ, 3 – мобильная компрессорная установка, 4 – дизель-генераторная установка

При этом дизель-генераторная установка включает в себя дизельный двигатель, работающий на биогазе с запальной дозой дизельного топлива и генератор [9].

Осмоновым О.М., в результате проведенного анализа существующих БЭУ и экспериментальных исследований, в работе [91] была предложена усовершенствованная технологическая схема автономной биоэнергетической установки (рис. 1.19). В составе этой установки была разработана и внедрена экспериментальная биоэнергетическая установка (рис. 1.21). В метантенк 13 загружается через устройство 4 органическое сырье, перед загрузкой биомасса подготавливается. Во избежание образования корочки, биомасса перешивается мешалкой 7. Солнечный коллектор 1 используется для нагрева трубопровода 19 и теплообменника, где циркулирует

вода. Теплообменником 14 служит водяная рубашка [91]. Этот процесс способствует нагреву биомассы в метантенке.

В целях когенерации биогаза Осмоновым О.М. был использован двигатель Стирлинга (рис. 1.22). Двигатель Стирлинга может вырабатывать энергию мощностью от нескольких Ватт до нескольких сот кВт. Основными производителями таких энергетических систем с двигателями Стирлинга являются «Philips» (Нидерланды), «General Motors Co», «Ford Motor Co», «NASA Lewis Research Center», «Los Alamos National Laboratory», «Foster Miller Corp» (США), «Wrede Ky» (Франция), «Dornier», «MAN-MBW» (Германия), «Sofretes» (Франция), «Mitsubishi Electric Corp.», «ToshibaCorp.» (Япония) и др. Данные производители работают над увеличением производительности и упрощение конструкции, что дает снижение стоимости [58].

Но с целью усовершенствования установки Осмонов О.М. данный двигатель использовал в качестве термомеханического электрогенератора. Если двигатель Стирлинга использовать как термомеханический генератор, то он будет служить устройством для когенерации газа в тепловую энергию. Тогда встраивать электрогенератор будет не нужно [102].

В работе [91] проведен анализ стоимости изготовления и продажной цены различных двигателей по сравнению с двигателем Стирлинга. Данный вид двигателя выходит значительно дороже (рис. 1.23).

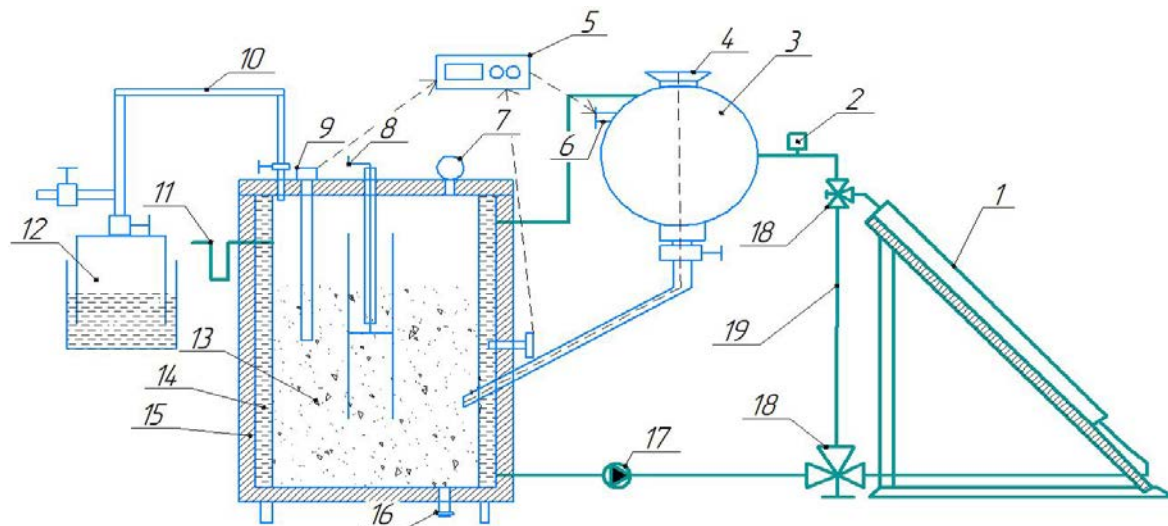


Рис. 1.21. Схема устройств биоэнергетической установки Осмонова О.М.:

- 1 – солнечный модуль, 2 – бак-расширитель, 3 – накопитель теплоты, 4 – загрузочный патрубок,
 5, 9 – контроль температуры, 6 – подогрев, 7 – датчик давления, 8 – перемешивающее устройство,
 10 – газовые трубы, 11 – выгрузочный патрубок с гидрозатвором, 12 – накопитель газа,
 13 – реактор, 14, 15 – стенка с теплоизоляцией, 16 – выход шлама, 17 – перекачивающее устройство,
 18 – краны, 19 – трубы водопровода

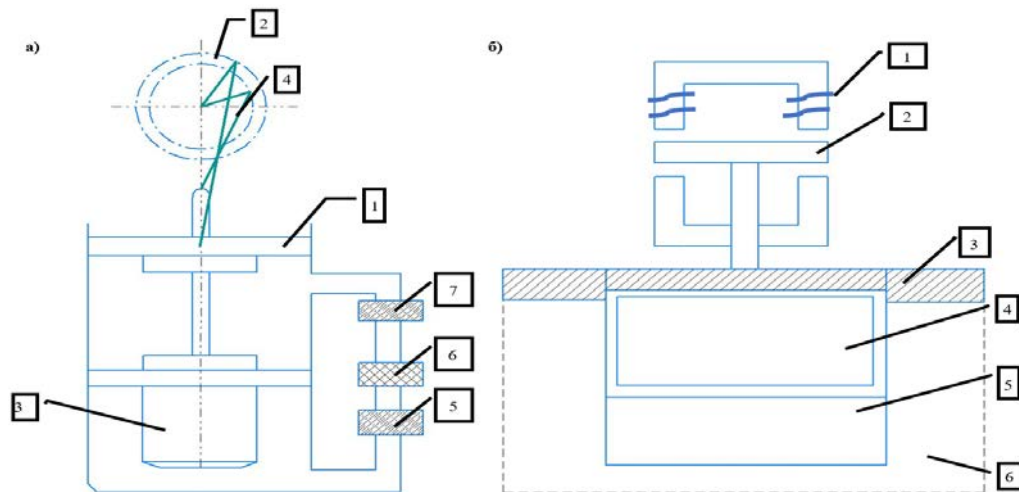


Рис. 1.22. Схема двигателей Стирлинга:

а – обычный двигатель Стирлинга: 1, 2, 3, 4 – кривошипно-шатунный механизм, 5 – теплообменник высокой температуры, 6 – регенератор, 7 – теплообменник низкой температуры.

б – двигатель Стирлинга в виде термомеханического генератора: 1 – обмотка, 2 – магнит, 3 – рубашка, 4 – поршень, 5 – теплообменник

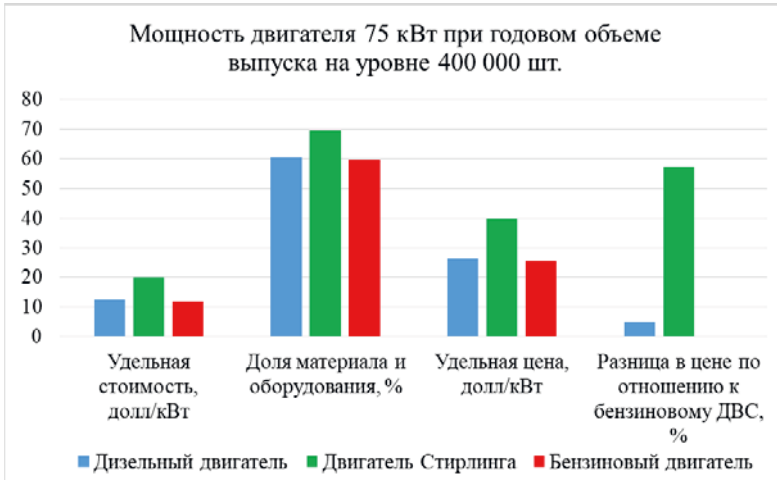


Рис. 1.23. Сравнительный анализ цен изготовления и продажных цен двигателей внутреннего сгорания и двигателя Стирлинга [58]

В научно-исследовательском центре атомной энергии в г. Харуэлл Англии проектируется термомеханический генератор в виде свободнопоршневого двигателя сгорания, сообщается что это один лишь вариант модернизации двигателя Стирлинга, руководитель проекта является Кук-Ярборо[102].

Основными отличиями разрабатываемых проектов (харуэлл-ских машин) являются металлическая диафрагма. Механизм металлической диафрагмы заменяет работу кривошипно-шатунного механизма.

Модернизацией Ковалева А.А. в работе [61] является внедрение в систему теплоснабжения смешанной работы компрессионного перекачивающего устройства. Перезапуская тепловую энергию, увеличивается эффективность системы. Технологическая схема модернизированной установки по переработке органических отходов Ковалева А.А. представлена на рисунке 1.24.

Система состоит из предсбраживателя 1 с теплообменником 11; метантенка 6 со встроенным внутренним теплообменником – 5, который обеспечивает стабильный температурный режим сбраживания, устройствами для выгрузки, резервуар для эффуента 7 [61].

Чтобы не терять тепловую энергию эфлюента в резервуаре 7 установлен теплообменник 10, который работает за счет перекачивающего устройства 9. Теплообмен между подготовленной водой и низкопотенциальным хладагентом осуществляется в испарителе теплового перекачивающего устройства 9. После он проходя через регулятор давления теплового перекачивающего устройства – 9, с более высоким количеством энергии направляется в конденсатор теплового перекачивающего устройства – 9. С конденсатором в свою очередь связан теплообменник в предсбраживателе [61].

На этом этапе происходит обмен тепловой энергией между высокопотенциальным хладагентом и подготовленной водой, которая затем направляется в теплообменник – 11. Далее тепловая энергия передается инфлюенту для достижения требуемой температуры процесса сбраживания. Затем тепло перетекает в метантенк 6. Получающийся продукт расходуется на работу генератора электрической энергии 13 и компрессионного теплового перекачивающего устройства – 9 [61].

Удалось снизить энергетические расходы за счет внедрения компрессионного теплового перекачивающего устройства в качестве средства рекуперации с непосредственным приводом от двигателя внутреннего сгорания, работающего на биогазе [61].

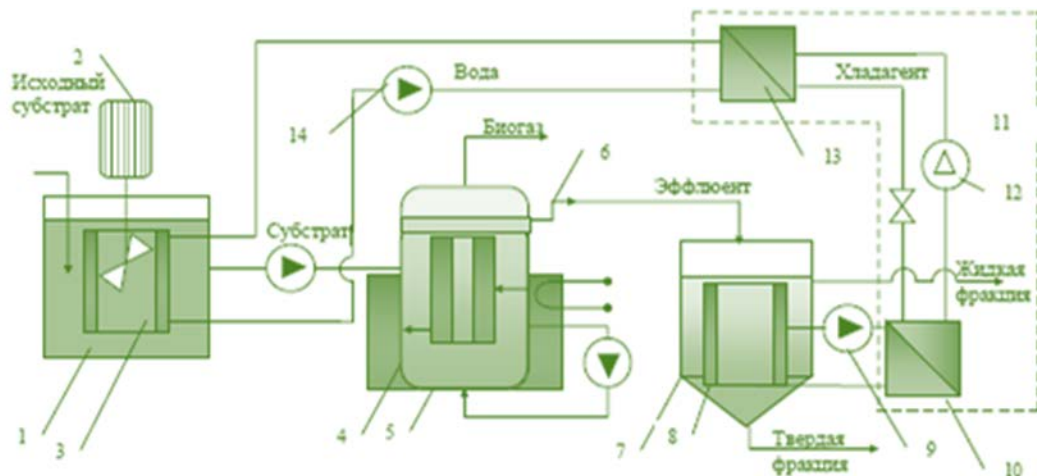


Рис. 1.24. Технологическая схема экспериментальной биогазовой установки Ковалева А.А. [62]:
 1 – предсбраживатель; 2 – перемешивающее устройство; 3 – теплообменник нагрева инфлюента;
 4 – метантенк; 5 – теплообменник компенсации теплотерь; 6 – выгрузное устройство;
 7 – резервуар эфлюента; 8 – теплообменник охлаждения эфлюента; 9 – перекачивающее устройство
 циркуляции охлаждающего теплоносителя; 10 – испаритель теплового перекачивающего устройства;
 11 – компрессионный тепловой перекачивающее устройство; 12 – компрессор теплового
 перекачивающего устройства; 13 – конденсатор теплового перекачивающего
 устройства; 14 – перекачивающее устройство циркуляции греющего теплоносителя

Сравнительный анализ показал, что в настоящее время в мире когенерационные технологии внедрены в крупных животноводческих предприятиях. Следует отметить, что биоэнергетические установки, в составе когенерационных линий работают только в мезофильном режиме изначально затратен для применения в условиях нашего региона, который энергоемок и. Ввиду высокой стоимости когенерационная установка с применением двигателя Стирлинга не подходит для внедрения в условиях Якутии.

1.7. Анализ математических моделей, описывающих процесс когенерации

Главным критерием использования биогаза как топлива, является малая энергозатратность при его производстве. Биогаз используют как вид топлива. Для малых фермерских хозяйств практическую ценность имеют труды Веденева А.Г., который внедрил и изучил биогазовую технологию в условиях Кыргызской Республики. Якутскими исследователями, ввиду холодного климата региона, изучен и апробирован анаэробный процесс в психрофильном режиме работы установок. Ими впервые разработаны динамическая и математическая модели анаэробного процесса при психрофильном режиме работы биогазовых установок. На основе динамической модели получена математическая модель анаэробного сбраживания в виде [105]:

$$\left. \begin{aligned} \frac{dT}{d\tau} &= (\mu - \dot{\mu})T \\ \frac{dS}{d\tau} &= \tau j_s T - V - \bar{V} \\ \frac{dP}{d\tau} &= \tau j_p T - M + \bar{M} \end{aligned} \right\} \quad (1.1)$$

где T , S , P – соответственно концентрации сбраживаемого навоза, субстрата и продукта метаболизма, кг/т; τ – продолжительность анаэробного сбраживания; μ $\dot{\mu}$ – удельные скорости роста и метаболизма биомассы сбраживаемого субстрата, сут.⁻¹; j_s j_p – удельные скорости разложения субстрата и образования продукта метаболизма, сут.⁻¹; V и \bar{V} – скорости разложения субстрата и образования продукта метаболизма, кг/т сут.; (1) M и \bar{M} – скорости массообмена

субстрата и продуктов метаболизма при переходе из одной фазы в другую, кг/т сут [105].

Для устойчивой работы биоэнергетической установки требуется только постоянство температурного режима, поэтому исключаются дополнительные подогревающие устройства. В целях интенсификации процесса в психрофильном режиме при запуске биоэнергетических установок используется закваска, обсемененная мезофильными метаногенными микроорганизмами, адаптированными к психрофильным условиям [105].

Большой вклад в исследования по работе автономных биоэнергетических установок внесли Осмонов Орозмамат Мамасалиевич и Ковалёв Андрей Александрович. Усовершенствованная технологическая схема автономной когенерационной установки Осмонова О.М. представлен на рисунке 1.25.

В своей докторской диссертации Осмонов О.М. [91] сформулировал следующую математическую модель:

$$W = \sum P_{n(i)} \cdot t_{p(i)} \quad (1.2)$$

где W – потребность в энергии, Вт ч; $P_{n(i)}$ мощность устройства-потребителя электроэнергии, Вт; $t_{p(i)}$ – время работы устройства, ч.

В своих экспериментах автор работы [91] использовал дополнительные источники тепла в качестве солнечных модулей. Соответственно, режим работы был мезофильный. Испытания разработанной технологии проводились с дозой загрузки 4,5% объема метантенка, объем полезного продукта составил 1,26 м³ в сутки. Также были получены, в объеме 110 кг/сут, обеззараженные органические удобрения.

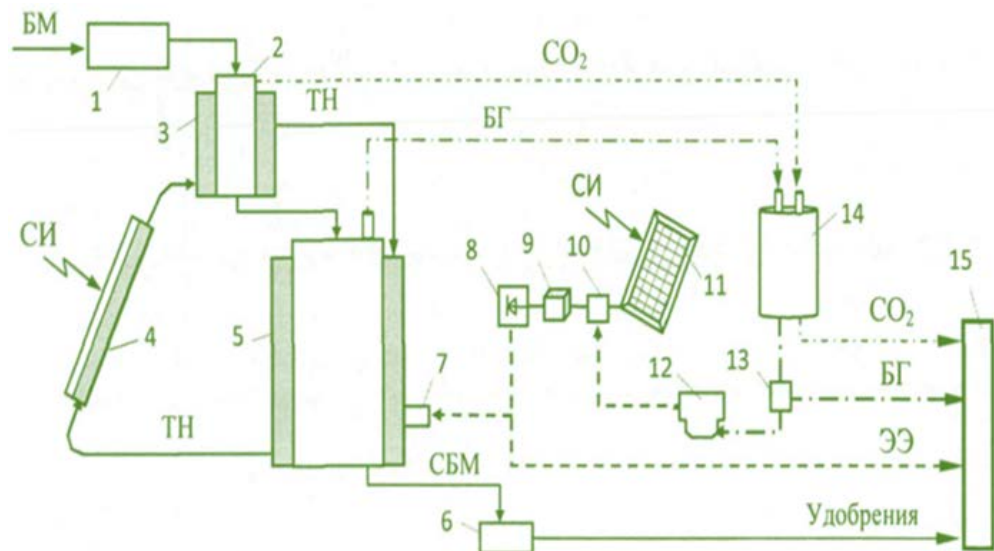


Рис. 1.25. Усовершенствованная технологическая схема автономной когенерационной установки Осмонова О.М.: 1 – емкость подготовки биомассы, 2 – гидролизный метантенк, 3 – аккумулятор теплоты, 4 – солнечный коллектор, 5 – метантенк, 6 – накопительная емкость, 7 – водонагреватель, 8 – инвертор, 9 – аккумуляторная батарея, 10 – контроллер заряда, 11 – солнечная батарея, 12 – двигатель Стирлинга, 13 – узел очистки биогаза, 14 – мокрый газгольдер, 15 – потребитель – крестьянское хозяйство

Ковалев А.А. в своей работе [62] разработал модернизированную схему БЭУ. Испытания проводились на органическом сырье фермы КРС 400 голов. Благодаря использованию усовершенствованной системы теплоснабжения были достигнуты следующие результаты по количеству электрической энергии: 1237,478 кВтч/сут и 374,8 кВтч/сут. Максимальное количество тепловой энергии эффлюента было достигнуто 0,336 кВтч/сут, количество рекупируемой теплоты 0,448 кВтч/сут, скорость нагрева получилась 0,46°С/мин.

В результате испытаний Ковалевым А.А. сформирована энерго-независимая технология по переработке бесподстилочного навоза КРС, с модернизированной схемой теплоснабжения биогазовой установки (рис. 1.26).

Им была предложена следующая математическая зависимость:

$$Q_p = \left(\frac{C_H \cdot \rho_H \cdot V_H (T_H - T_{Oxmin}) 10^{-3}}{24 \cdot 3600} \right) \left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon - 1} \right) n \quad (1.3)$$

где Q_p – количество теплоты, кВтч; C_H – теплоемкость субстрата, кДж/(кг 0С); ρ_H – плотность субстрата, кг/м³; V_H – доза загрузки, м³/сут; T_H – температура сбраживания, °С; T_{Oxmin} – температура эффлюента в резервуаре, необходимая для прекращения остаточного газовыделения, °С; ε – коэффициент теплопередачи; n – время работы, ч/сут [62].

Ковалев А.А. [62] спроектировал усовершенствованную систему теплоснабжения биогазовой установки, способную получить следующие показатели: в размере 1237,478 кВтч/сут и 374,8 кВтч/сут соответственно. Установка была рассчитана на животноводческий комплекс КРС с поголовьем 400. Полученные результаты были опубликованы в следующем виде: количество тепловой энергии составил 0,336 кВтч/сут, нагревалась со скоростью 0,46°С/мин. и количества рекупируемой теплоты 0,448 кВтч/сут.

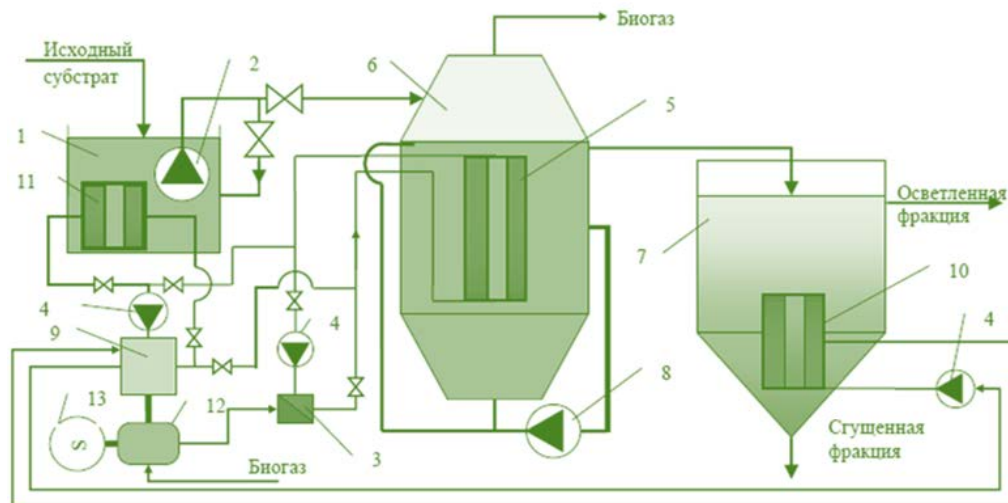


Рис. 1.26. Технологическая схема системы когенерационной установки Ковалева А.А. [62]:
 1 – предсбраживатель; 2 – перекачивающее устройство загрузки; 3 – теплообменник ДВС;
 4 – перекачивающее устройство циркуляции теплоносителя; 5 – теплообменник блока-модуля;
 6 –метантенк; 7 – резервуар для эфлюента; 8 – перекачивающее устройство перемешивания
 субстрата; 9 – компрессионное тепловое перекачивающее устройство; 10 – конденсатор;
 11 – нагрев; 12 – ДВС; 13 – генератор

Впервые в Россию биогазовая установка промышленного масштаба была внедрена в 2012 г. в с. Лучки Прохоровского района Белгородской области. Станция называется ООО «АльтЭнерго» (рис. 1.27). Работает с мощностью когенерации 2,4 МВт и 2 Гкал/час. Органическое сырье для использования в биоэнергетической установке поставляется местными сельскохозяйственными предприятиями. Для комплектующие устройства и оборудование биогазовой станции были приобретены у немецких производителей (Big Dutchman Agro). Станция 20 июля 2012 вышла на проектную мощность 2,4 МВт. В феврале 2015 года мощность станции была расширена до 3,6 МВт. Биогазовая станция обеспечивает суточные нужды 45000 жителей данного района.



Рис. 1.27. Биогазовая станции в ООО «АльтЭнерго» с. Чуйки Прохоровского района, Белгородская область

Также на территории Грузсчанского сельского округа Борисовского района была введена в эксплуатацию биогазовая станция «Байцуры» (рис. 1.28). Этот проект является пилотной станцией в рамках программы строительства сети биогазовых станций в Белгородской области суммарной мощностью 10 МВт.

Таблица 1.3

Основные показатели биогазовой станции «Байцуры»

Показатели	1 этап	2 этап
Объем выработки биогаза	1918 тыс. м ³	1918 тыс. м ³
Мощность генераторов	500 кВт	1000 кВт
Полезный отпуск электроэнергии в год	3,7 млн. кВт•ч	7,4 млн. кВт•ч

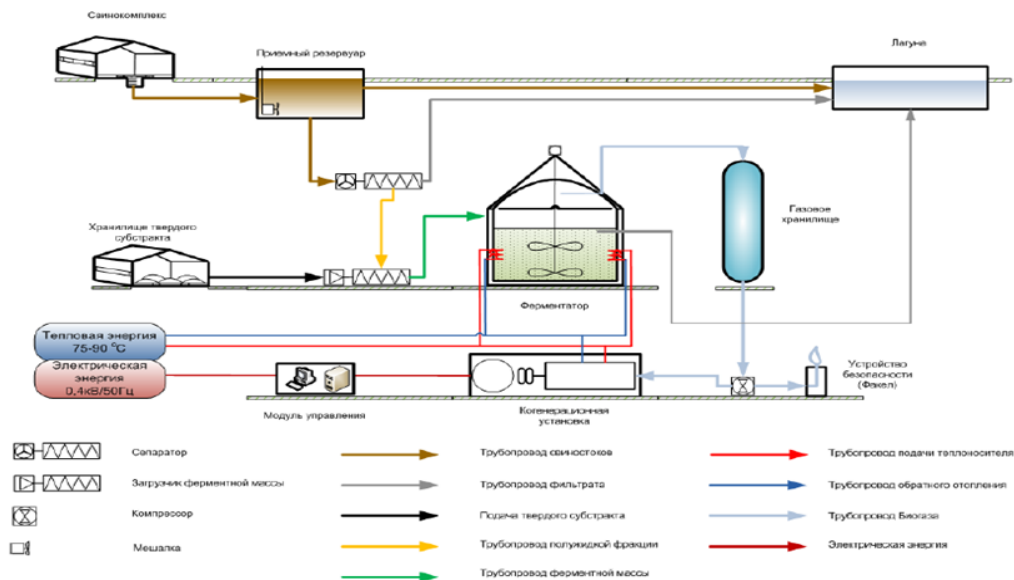


Рис. 1.28. Принципиальная технологическая схема биогазовой станции «Байцуры» в Грузчанском сельского округа Борисовского района, Белгородская область

В отчете по опыту Белгородской области по строительству биогазовых комплексов на отходах животноводства [89] отмечены следующие моменты: для когенерации биогаза на данной станции установлена синхронный генератор, через него может отпускаться в сеть региональным потребителям.

Основной частью установки является устройство для регулирования и управления. Через него осуществляются управление и контроль всех процессов в работе установки и выборочное регулирование в зависимости от заданной мощности или имеющегося количества газа. При этом с помощью этого устройства можно контролировать следующие текущие процессы:

- актуальное значение мощности;
- температуру;
- аварийные сообщения.

Описанные выше модели основываются на экспериментах, выполненных в условиях мезофильного режима, то есть имеют дополнительные источники в качестве поддержания высокой температуры сбраживания – 32...35°C. Следовательно, вышеприведенные технологии не подходят для применения в условиях аграрного сектора Якутии, поскольку на удаленных и заброшенных угодьях отсутствуют подключение к центральной сети.

Предлагаемая автономная когенерационная технология не требует дополнительных источников подогрева извне, что является преимуществом для организуемых летних фермах на территории удаленных и заброшенных угодий Якутии.

1.8. Альтернативная энергетика на летних фермах в условиях Республики Саха (Якутия)

На примере Таттинского района республики, нами проведен анализ эффективности использования летников (табл. 1.4). В данной таблице приведены данные по крестьянско-фермерским хозяйствам, которые работают в летний период. Даны количества поголовий, в том числе дойных коров, расстояние от ближайшего населенного пункта, применяемые средства механизации и автоматизации.

Таблица 1.4

Количество летников в Таттинском районе
Республики Саха (Якутия)

№	Наименование хозяйства	Расстояние от н.п., км	Транспортная доступность	Количество поголовья КРС, гол	В том числе коров, гол	Наличие механизации и автоматизации
1.	К(Ф)Х «Алаас»	7	труднодоступная	103	29	Доильные аппараты
2.	К(Ф)Х «Ситим»	7	труднодоступная	44	32	Доильные аппараты
3.	К(Ф)Х «Чычымах»	8	труднодоступная	178	114	Доильные аппараты
4.	К(Ф)Х «Мэлдьэҕэй»	3	труднодоступная	144	78	Доильные аппараты
5.	К(Ф)Х «Силис»	6	труднодоступная	230	138	Доильные аппараты
6.	К(Ф)Х «Тарабукина Е.Н.»	4	труднодоступная	35	20	Доильные аппараты
7.	К(Ф)Х «Кустук»	4	труднодоступная	37	20	Доильные аппараты
8.	К(Ф)Х «Егасов Р.Я.»	2	есть	42	28	Доильные аппараты
9.	К(Ф)Х «Илгэ», К(Ф)Х «Байдам»	5	есть	70	25	Доильные аппараты
10.	К(Ф)Х «Победа»	28	есть	107	молодняк	Нет необходимости
11.	К(Ф)Х «Победа»	8	есть	138	50	Доильные аппараты
12.	К(Ф)Х «Алаас мала»	5	есть	104	56	Доильные аппараты
13.	К(Ф)Х «Игнатьев»	2	есть	132	70	Доильные аппараты
14.	К(Ф)Х «Байагантай»	20	есть	174	58	Доильные аппараты
15.	К(Ф)Х «Байым»	7	есть	108	65	Доильные аппараты
16.	К(Ф)Х «Кэскил»	8	есть	194	52	Доильные аппараты
17.	ИП ГК(Ф)Х «Варламов А.А.»	5	есть	45	15	Доильные аппараты
18.	К(Ф)Х «Хочо»	6	есть	301	107	Доильные аппараты
Итого:				2186	957	

Эффективность использования летников характеризуется по объему удоя молока. По данным территориального органа Федеральной службы государственной статистики по Республике Саха (Якутия) показатели по хозяйствам всех категорий Таттинского района по среднему удою молока от одной коровы имеет следующие значения по состоянию на 1 января 2021 г. (табл. 1.5).

Таблица 1.5

Показатели по среднему удою молока от одной коровы
в хозяйствах всех категорий Таттинского района
Республики Саха (Якутия)

Численность скота (гол)	
Крупного рогатого скота (гол)	В том числе коров (гол)
15277	5651
Средний удой молока от одной коровы в сельскохозяйственных предприятиях	
Квартал (месяцы)	Средний удой (кг)
Январь–март	118,0
Январь–июнь	529,3
Январь–сентябрь	1702,5
Январь–декабрь	2122,6

На основании статистических данных (табл. 1.5), произведены расчеты, показывающие эффективность вывода коров в летние фермы, где животные пасутся в естественных природных условиях (табл. 1.6).

Таблица 1.6

Объемы удоев молока в Таттинском районе

Сезон содержания	Поголовье	Объем молока (л/год)
Зимние месяцы	7112	900
Летние месяцы	2186	1500
Средний удой		1002

Тем самым, коровам создаются благоприятные условия, когда ими не расходуется энергия на передвижения в поисках корма.

Для увеличения количества летников, на наш взгляд, можно пойти двумя путями:

- подвести к линии электросетей, на что нужны огромные финансовые вложения. Примерный расчет требуемых вложений приведен в таблице 1.7;

- внедрение новой автономной когенерационной линии в летних фермах.

Таблица 1.7

Расчеты по затратам на подвод ЛЭПов в труднодоступные
летние фермы

№	Наслег	Наименование хозяйства	Расстояние от н.п., км	Стоимость ВЛ	Реклоузер	Сумма, руб.
1.	Жулейский	К(Ф)Х «Алаас»	7	1678914	3201532	14953930
2.	Жулейский	К(Ф)Х «Ситим»	7	1678914	3201532	14953930
3.	Амгинский	К(Ф)Х «Чычымах»	8	1678914	3201532	16632844
4.	Алданский	К(Ф)Х «Силис»	6	1678914	3201532	13275016
5.	Жохсогонский	К(Ф)Х «Победа»	28	1678914	3201532	50211124
6.	Жохсогонский	К(Ф)Х «Победа»	8	1678914	3201532	16632844
7.	Томтор	К(Ф)Х «Байагантай»	20	1678914	3201532	36779812
8.	Томтор	К(Ф)Х «Байым»	7	1678914	3201532	16632844
9.	Октябрьский	К(Ф)Х «Кэскил»	8	1678914	3201532	16632844
10.	Средне-Амгинский	К(Ф)Х «Хочо»	6	1678914	3201532	13275016
	Итого					285 959 880

В случае внедрения новой автономной когенерационной линии в летние фермы можно получить следующие показатели (рис. 1.29).

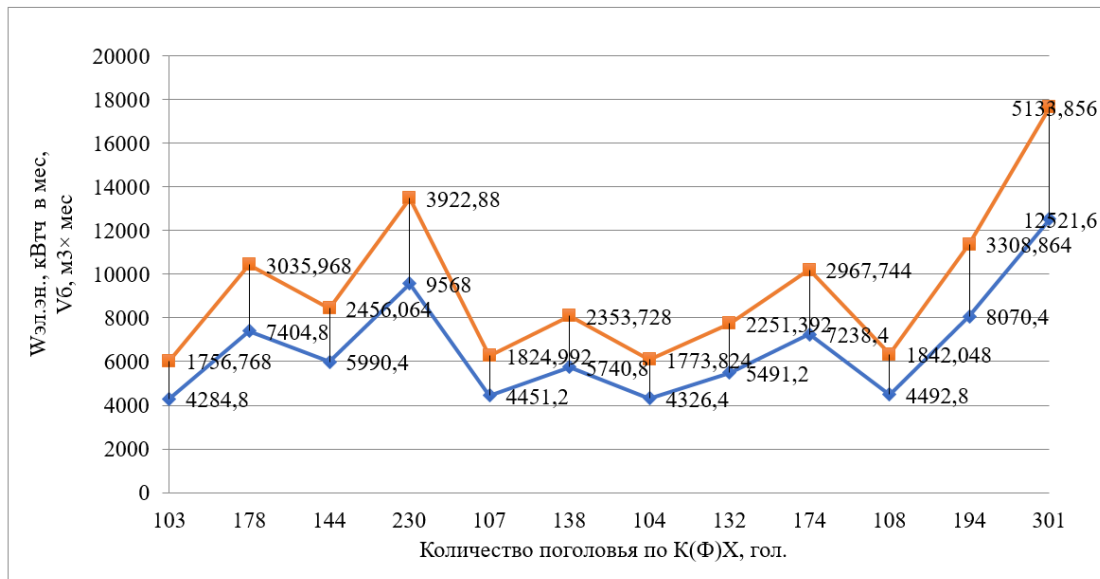


Рис. 1.29. Ожидаемая эффективность от летников при внедрении когенерационной технологии

Выводы по главе 1

1. Изучены статистические данные по производству животноводства в условиях Республики Саха (Якутия) и выявлены значимые факторы, воздействующие на повышение производства.

2. Проанализированы существующие в настоящее время за рубежом и в России биоэнергетические установки по анаэробному сбраживанию навоза крупного рогатого скота. Выявлено, что исключается возможность применения этих технологий в природно-климатических и сложившихся условиях ведения производства в аграрном секторе Якутии, так как отсутствует система машин и оборудования для применения в малых и личных подсобных хозяйствах, составляющих основу животноводства республики.

3. Рассмотрены факторы, влияющие на процесс производства биогаза из навоза крупнорогатого скота в биогазовых установках.

4. Проведен обзор исследований по когенерации биогаза. Сравнительный анализ показал, что в настоящее время в мире когенерационные технологии внедрены в крупных животноводческих предприятиях. Следует отметить, что биоэнергетические установки, входящие в состав когенерационных линий, работают только в мезофильном режиме, который изначально затратен для применения в условиях нашего региона.

5. Обоснованы факторы, влияющие на процесс производства молока в условиях Республики Саха (Якутия) на примере Таттинского района. Значимыми факторами определены следующие: слабая кормовая база и малое количество летних ферм.

6. Установлено, что внедрение автономной когенерационной линии в условиях Якутии позволит увеличить количество летних ферм путем освоения удаленных и заброшенных сельскохозяйственных угодий. С учетом размеров крестьянских (фермерских) хозяйств в республике, необходимо разработать автономную когенерационную линию.

ГЛАВА 2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

2.1. Описание предлагаемой пилотной автономной когенерационной линии для проведения экспериментов

По итогам изучения существующих технологий, описанных в п. 1.3, 1.6, 1.8, была принята следующая принципиальная схема автономной когенерационной линии для проведения экспериментов (рис. 2.1).

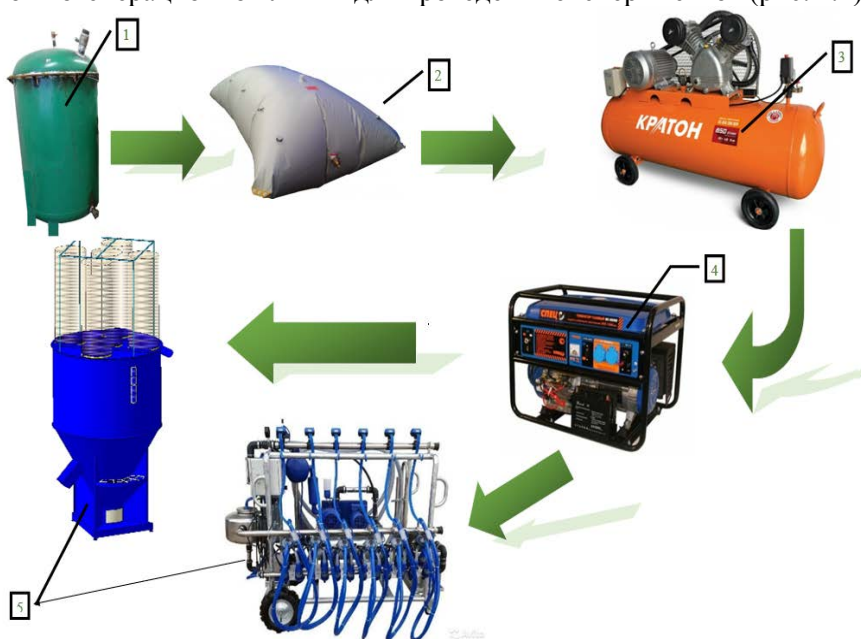


Рис. 2.1. Принципиальная схема предлагаемой пилотной линии по когенерации биогаза:

- 1 – метантенк объемом 1 м³; 2 – газгольдер; 3 – компрессор;
4 – газовый генератор; 5 – потребители энергии (доильный аппарат; кормосмеситель)

2.2. Факторы, влияющие на эффективность процесса когенерационной технологии

Сотрудниками Института газа Украины и при поддержке Госком-энерго сбережения, разработаны специальные щелевые подовые горелка для сжигания биогаза в паровых (ДКВР-6,5) и водогрейных котлах. При разработке конструкции горелок учтены специфические особенности горения биогаза. Они могут работать в широком диапазоне режимов эксплуатации котла с расходом биогаза от 160 до 318 м³/ч. Горелки изготовлены из специальных сталей, имеют съемные сопла, которые не подвержены сероводородной коррозии, а также имеют специальные устройства для стабилизации пламени. С целью уменьшения коэффициента избытка воздуха горелки имеют специальные полосы, направляющие воздух к каждому из 400 сопел и не допускают большого избытка воздуха. Горелки для сжигания биогаза были установлены в котле ДКВР-6,5, сертифицированы и эксплуатируются 2 года на биогазе городских очистных сооружений того же состава, что и газ свалок.

Авторы работы [125] говорят о том, что при содержании метана 45–50% биогаз теоретически демонстрирует энергетический потенциал в размере 5 кВт·ч/м³. Они установили, что при применении биогаза обеспечивается следующий выход:

- в форме моторного топлива 34–36%;
- в форме котельного топлива 89–93%;
- в форме моторного топлива с обеспечением когенерации (одновременной выработки) энергии – 74–88%.

В результате внедрения проекта Васильевым Ф.А. [21] были получены следующие выходные параметры с рабочего объема метантенка – 28,182 м³/ м³РОБ; выход биогаза с единицы загруженного абсолютно сухого органического вещества (АСОВ) – 0,416 м³/кг; энергетические показатели: энерговыделение – 507,36 МДж/м³, энергоотдача – 7,484 МДж/кг. Режим работы БЭУ – мезофильный.

Разработанные горелки имеют достаточно большую производительность – 318 м³/ч биогаза и работают без вентиляционного дутья или с дутьем.

Ранее в котле биогаз подавался в подовые горелки, рассчитанные на сжигание природного газа. При этом они выходили из строя каждые 1–2 месяца, предельная мощность котла не превышала 4 т/ч пара, а КПД – 78–80%, выброс СО в 30–50 раз превышал допустимые нормы.

В котле ДКВР-6,5-13 были установлены 3 специальные горелки МПИГ-3Б, разработанные и изготовленные в ИГ НАНУ. Испытания котла ДКВР-6,5-13 с модернизированными подовыми щелевыми горелками нового поколения МПИГ-3 на биогазе показали [16]:

- производительность котлов увеличилась на 20 %;
- значительно возросла граница регулирования производительности котла (от 100 до 40% и ниже);
- КПД котла увеличился от 77,82% до 89,91%; при установке горелок на 3-х котлах ДКВР-6,5-13 и использовании биогаза вместо природного газа при том же КПД общая экономия природного газа составит 1,5 млн. м³/год;
- выброс СО снизился в 40 раз и составляет 20 мг/м³, что ниже нормы в 5 раз.

В своей работе Друзянова В.П. [44] достигла результатов 0,18 м³/сут эквивалента природного газа к биогазу. Была использована БЭУ с метантенком в количестве 1 шт. Соотношение биогаза к природному газу была установлена 0,6:1. Для отопления дома площадью 8х8 кв. м необходимо, чтоб БЭУ вырабатывала 7 м³ биогаза в час. Тогда, хозяйство должно иметь метантенк объемом 20...23 м³ Семье из 4-х человек для приготовления пищи в день необходимо 1,35-2,7 м³ газа, что обеспечивается одним метантенком объемом 1 м³.

В результате проведенных испытаний было выявлено, водородный показатель рН, содержание летучих жирных кислот и щелочность являются контролируемыми факторами анаэробного процесса. Оптимальные значения факторов по Баадеру и др. показаны на рисунке 2.2 [10; 33; 67]:

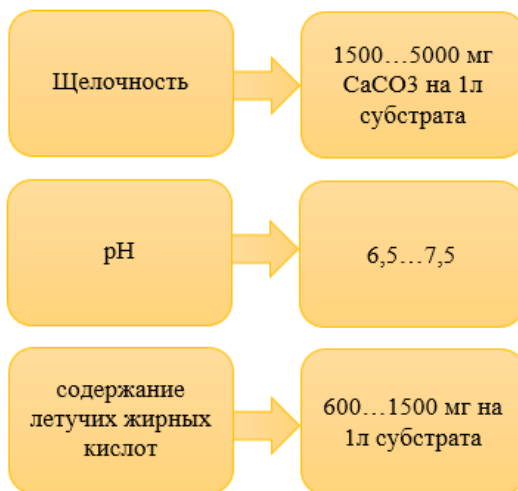


Рис. 2.2. Оптимальные значения факторов по Баадеру

По отмеченным выше исследованиям можно определить, что основное влияние на выходные параметры процесса когенерации биогаза могут оказывать факторы, во-первых, физико-механических свойств перерабатываемого сырья, во-вторых, конструктивные параметры рабочего процесса автономной биоэнергетической установки

К управляемым факторам процесса когенерации биогаза в электро-энергию в психрофильном режиме относятся:

- качество биогаза по содержанию метана;
- давление в компрессоре;
- диаметры жиклера при входе в генератор.

В свою очередь, факторы природно-климатических условий, такие как температура окружающего воздуха и скорость движения воздушных потоков являются неуправляемыми. Постоянными факторами являются конструктивные параметры биоэнергетической установки.

Как показывает анализ описанных выше факторов, качество биогаза по содержанию метана, давление в компрессоре, диаметр жиклера при входе в генератор являются наиболее технологичными, т.е. управляемыми и, в то же время оказывающими существенное влияние на данный процесс (рис. 2.3).

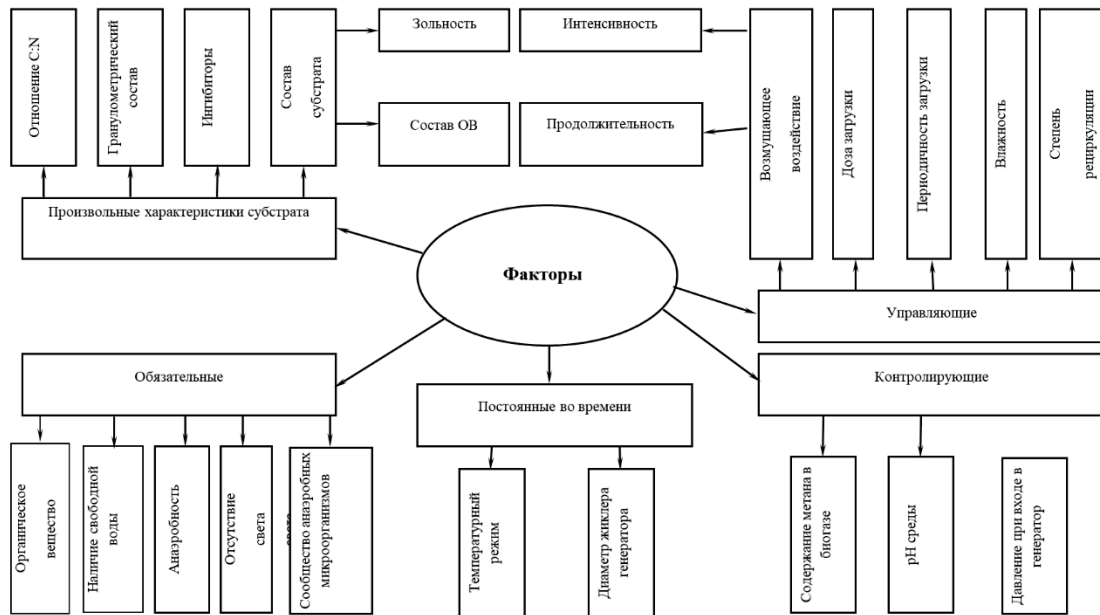


Рис. 2.3. Технологические факторы процесса когенерации биогаза в электроэнергию

2.3. Предлагаемая математическая зависимость автономной когенерационной линии

Для математического описания процесса когенерации биогаза исходили от известной формулы для определения количества потребляемой энергии:

$$W_{\text{эл.эн.}} = Q_6 / t \quad (2.1)$$

где: $W_{\text{эл.эн.}}$ - количество потребляемой энергии, кВт; Q_6 - теплотворная способность биогаза, кДж; t – время, сек.

Исходя из соотношения что кВт=кДж/сек необходимо определить теплотворную способность биогаза.

В своей работе [43], Друзьянова В.П. разработала зависимость, описывающую теплотворную способность биогаза, в следующем виде:

$$Q_6 = V_B \cdot c_6 (T_{\text{сбр}} - T_{\text{окр}}) \quad (2.2)$$

где: V_B – объем биогаза, м^3 ; c_6 – удельная теплоёмкость биогаза, $\text{кДж/К} \cdot \text{м}^3$; $T_{\text{сбр}}$ – температура сбраживания, К; $T_{\text{окр}}$ – температура окружающей среды, К.

Данная зависимость разработана и подходит для установок в мезофильном режиме работы [43].

В случае психрофильного режима выход биогаза происходит без дополнительного нагрева, поэтому будем исходить из формулы количества теплоты Q , выделяющегося при сгорании топлива:

$$Q = \lambda \cdot m \quad (2.3)$$

где λ – теплота сгорания вещества, кДж/кг

m – масса вещества, кг.

Так как топливо является биогазом, массу преобразовываем как:

$$m = \rho \cdot V \quad (2.4)$$

где ρ – плотность биогаза, кг/м^3

V – объем биогаза, м^3 .

Объединяя формулы (2.1), (2.3) и (2.4), получаем:

$$W_{\text{эл.эн.}} = \frac{\lambda_6 \cdot \rho_6 \cdot V_6}{t} \quad (2.5)$$

где: λ_6 – теплота сгорания 1 м^3 биогаза, кДж/ м^3 ; ρ_6 – плотность биогаза, $\text{кг} \cdot \text{м}^3$;

V_6 – объем биогаза, м^3 ; t – время работы генератора, сек.

Автор работы [43] предлагает определить теплоту сгорания сухого газообразного топлива можно определить по объемному составу и известной теплоте сгорания компонентов. Для нахождения

низшей теплоты сгорания биогаза Q_H^C с учетом внешнего балласта, предлагается формула:

$$\lambda_6 = \left(358,6 CH_4 - C_{CO_2} (T_{ГОР} - T_{НАЧ}) CO_2 \right) 100^{-1}, \quad (2.6)$$

где 358,6 – низшая теплота сгорания метана, кДж/м³, умноженная на 100;

CH_4 – объемное содержание метана в 1 м³ биогаза, %;

C_{CO_2} – объемная теплоемкость углекислого газа, Дж/м³·К;

$T_{ГОР}$ – теоретическая температура горения биогаза с заданным содержанием CH_4 и CO_2 , К;

$T_{НАЧ}$ – начальная температура биогаза, К;

CO_2 – содержание углекислого газа в 1 м³ биогаза, %.

Теоретическую температуру горения биогаза также можно определить исходя из энергетического баланса горения 1 кмоль метана биогаза с учетом продуктов сгорания и балластного углекислого газа. Решение этой задачи проведено графоаналитическим способом в работе [43]. На рисунке 2.4 представлено изменение температуры горения биогаза без учета балластной части (линия 2) и с учетом этой части (линия 3).



Рис. 2.4. Температура горения и низшая теплота сгорания биогаза [38]

- 1 – температура горения биогаза;
- 2 – низшая теплота сгорания биогаза без учета балластной части;
- 3 – низшая теплота сгорания биогаза с учетом балластной части

Таким образом, получена зависимость (2.5), описывающая процесс когенерации биогаза с учетом параметров окружающей среды.

При механизации процесса доения при использовании предлагаемой линии в качестве потребителя энергии предлагается доильная передвижная установка «УДС – В». Данная установка согласно технической характеристике потребляет мощность 4 кВт.

Также при механизации процесса приготовления кормов к вскармливанию имеется возможность использовать смеситель комбикормов СВШ-1,5. Для этого оборудования необходима мощность 1,5 кВт.

Исходя из этого необходимый объем биогаза для стабильной работы оборудования по механизации процессов можно определить по формуле:

$$V_6 = \frac{W_{\text{эл.эн}} \cdot t}{\lambda_6 \cdot \rho_6} \quad (2.7)$$

Температура, требуемая для нормального протекания процесса определяет количество тепловых потерь метантенка. Тут следует применить основное уравнение теплопередачи, которая определяет связь между тепловым потоком $Q_{\text{окр}}$ и поверхностью теплообмена F . Эта связь показывает общую кинетическую зависимость для процессов теплоотдачи [5; 37; 48; 53]

$$Q_{\text{окр}} = k F \Delta t_{\text{ср}} \tau, \quad (2.8)$$

где k – коэффициент теплопередачи, определяющий среднюю скорость передачи тепла вдоль всей поверхности теплообмена, Вт/(м²·К);

F – площадь теплоотдающей поверхности метантенка, м²;

$\Delta t_{\text{ср}}$ – средняя разность температур между сбраживаемым субстратом и стенкой метантенка, К;

τ – время работы БЭУ.

Коэффициент теплопередачи k определить наиболее трудно. Это связано с тем, что на его значение оказывают влияние большое

количество факторов. При решении данной задачи можно воспользоваться методом интегриции, который заключается в определении нагрузочной характеристики аппарата. В исследованиях метантенк принят как вертикальный цилиндрический сосуд, состоящий из двух разнородных слоев – на основном стальном (железном) слое с одной стороны наложено внутреннее покрытие (рис. 2.5).

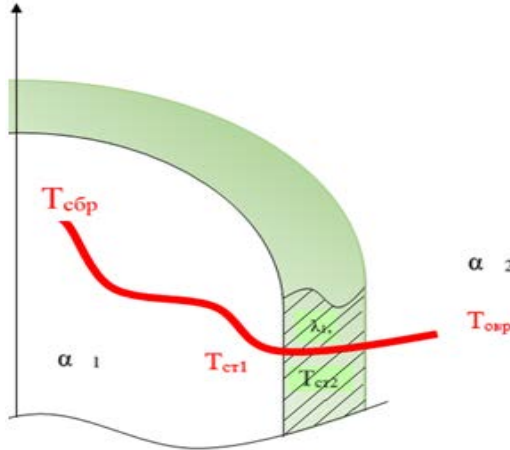


Рис. 2.5. Схема передачи теплоты через двухслойную цилиндрическую стенку:

$T_{сбр}$ – температура сбраживаемого субстрата, К;

$T_{окр}$ – температура окружающей среды, К;

α_1 – коэффициент теплоотдачи со стороны сбраживаемой среды, Дж/(м²·К);

α_2 – коэффициент теплоотдачи со стороны окружающей среды, Дж/(м²·К);

λ_1 – коэффициенты теплопроводности стенки метантенка, Вт/(м·К)

Рассмотрим передачу теплоты через двухслойную цилиндрическую стенку [75; 113–115].

Необходимо также уточнить температуры в местах соприкосновения слоев, зависящих о Задавая рядом значений $T_{ст1}$, вычисляем:

$$q_1 = \alpha_1 (T_{сбр} - T_{ст1}), \quad (2.9)$$

где q_1 – удельная тепловая нагрузка со стороны сбраживаемой среды, Дж/м²;

α_1 – коэффициент теплоотдачи, Дж/(м²·К);

$T_{\text{СБР}}$ – температура сбраживания, К;

$T_{\text{СТ1}}$ – температура стенки со стороны среды сбраживания, К.

По величине термического сопротивления стенки различают температуру стенки с другой её стороны по формуле:

$$T_{\text{СТ2}} = T_{\text{СТ1}} - q_1 \delta_{\text{СТ}} / \lambda_{\text{СТ}}, \quad (2.10)$$

где $T_{\text{СТ2}}$ – температура стенки в месте соприкосновения разнородных цилиндрических слоев, К;

$\delta_{\text{СТ}}$ – толщина стенки метантенка, м;

$\lambda_{\text{СТ}}$ – коэффициент теплопроводности стенки метантенка, Вт/(м·К).

После чего определяем:

$$Q_2 = \alpha_2 (T_{\text{СТ2}} - T_{\text{ОКР}}), \quad (2.11)$$

где q_2 – удельная тепловая нагрузка со стороны окружающей среды, Дж/м²;

α_2 – коэффициент теплоотдачи, Дж/(м²·К);

$T_{\text{ОКР}}$ – температура окружающей среды, К.

Определив значения q_1 и q_2 в зависимости от принятых $T_{\text{СТ1}}$, находится нагрузочная характеристика. При достижении равенства $q_1 \approx q_2$ с достаточной точностью определяется расчётная величина удельной тепловой нагрузки q . Температуры сбраживания и температуры окружающей среды.

Коэффициент теплоотдачи составит:

$$K = q / \Delta T \quad (2.12)$$

где ΔT – средняя разность температур между сбраживаемым субстратом и стенкой метантенка, К.

Определяем температуры $T_{\text{СТ1}}$ и $T_{\text{СТ2}}$. При установившемся тепловом состоянии системы количество теплоты, отданное горячей и воспринятое холодной средой, одно и то же. Следовательно, уравнения для линейной плотности теплового потока q_1 можно записать:

$$q_1 = \alpha_1 \pi d_1 (t_{\text{СБР}} - t_{\text{СТ1}}) \quad (2.13)$$

$$q_1 = \frac{\pi (t_{\text{СТ1}} - t_{\text{СТ2}})}{\frac{1}{2\lambda_1} \ln \frac{d_2}{d_1}}$$

Определяем частные температурные напоры:

$$\left. \begin{aligned} t_{\text{СБР}} - t_{\text{СТ1}} &= \frac{q_1}{\pi} \cdot \frac{1}{\alpha_1 d_1} \\ t_{\text{СТ1}} - t_{\text{СТ2}} &= \frac{q_1}{\pi} \cdot \frac{1}{2\lambda_1} \cdot \ln \frac{d_2}{d_1} \end{aligned} \right\} \quad (2.14)$$

где $t_{\text{СТ1}}$ – температура стенки метантенка со стороны среды сбраживания, К;

$t_{\text{СТ2}}$ – температура стенки метантенка со стороны окружающей среды, К.

Складывая, левые и правые части уравнений (2.11) получаем полный температурный напор:

$$t_{\text{СБР}} - t_{\text{ОКР}} = \frac{q_1}{\pi} \left(\frac{1}{\alpha_1 d_1} + \frac{1}{2\lambda_1} \ln \frac{d_2}{d_1} \right) \quad (2.15)$$

и значение линейной плотности теплового потока:

$$q_1 = \frac{Q_{\text{ОКР}}}{l} = \frac{\pi(t_{\text{СБР}} - t_{\text{ОКР}})}{\frac{1}{\alpha_1 d_1} + \frac{1}{2\lambda_1} \ln \frac{d_2}{d_1}} \quad (2.16)$$

Линейный коэффициент теплопередачи для двухслойной стенки:

$$k_1 = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1 d_1} + \frac{1}{2\lambda_1} \ln \frac{d_2}{d_1}} \quad (2.17)$$

$$q_1 = \frac{Q_{\text{ОКР}}}{l} = \pi(t_{\text{СБР}} - t_{\text{ОКР}}) \cdot k_1 \quad (2.18)$$

$$Q_{\text{ОКР}} = l\pi(t_{\text{СБР}} - t_{\text{ОКР}}) \cdot k_l \quad (2.19)$$

Чтобы определить неизвестные температуры стенок $t_{\text{СТ1}}$, $t_{\text{СТ2}}$ подставим значение q_1 в уравнения (2.11). Решая их, получим:

$$\left. \begin{aligned} t_{\text{СТ1}} &= t_{\text{СБР}} - \frac{q_1}{\pi} \cdot \frac{1}{\alpha_1 d_1} \\ t_{\text{СТ2}} &= t_{\text{СБР}} - \frac{q_1}{\pi} \left(\frac{1}{\alpha_1 d_1} + \frac{1}{2\lambda_1} \ln \frac{d_2}{d_1} \right) \end{aligned} \right\} (2.20)$$

2.4. Объем выхода биогаза, в зависимости от температурного режима работы биоэнергетической установки

Поддержание оптимальной температуры является одним из важнейших факторов для эффективного течения процесса анаэробного сбраживания. В природных условиях образование биогаза происходит при температурах от 0°C до 97°C . Известно, что анаэробная ферментация в БЭУ протекает при следующих режимах сбраживания [22] (рис. 2.6)

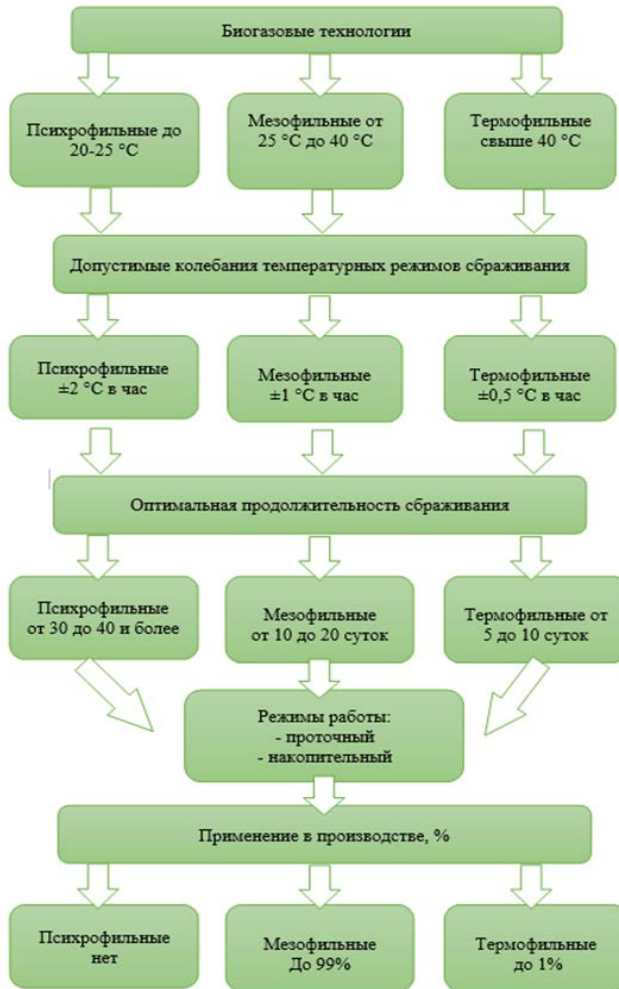


Рис. 2.6. Схема режимов биогазовых технологий в зависимости от температур

Повышение температуры сбраживания способствует увеличению объема выхода биогаза. Что является главным показателем производства биогаза. Сопутствующим побочным эффектом при увеличении объема производимого биогаза является повышение

содержания свободного аммиака. При средней дневной температуре диапазоне 18–20°C без дополнительных источников подогрева метантенка показатели биогазовых установок не превышают значений удовлетворительной производительности [22].

Есть данные в источнике [22] о неравномерном выходе биогаза при психрофильном режиме работы при средних температурах в 20–28°C. При достижении 23°C образовавшаяся внутри метантенка состояние метанового сбраживания очень чувствительна к перепадам температуры. Изменение по выходу объема биогаза могут определяться в зависимости от величины перепадов температур. При анаэробном сбраживании Веденевым были определены рекомендуемые перепады температур сбраживания (рис. 2.7):



Рис. 2.7. Рекомендуемые перепады температур сбраживания

Характеристика мезофильного и термофильного процессов показаны на рисунках 2.8 и 2.9.



Рис. 2.8. Преимущества и недостатки термофильного режима сбраживания

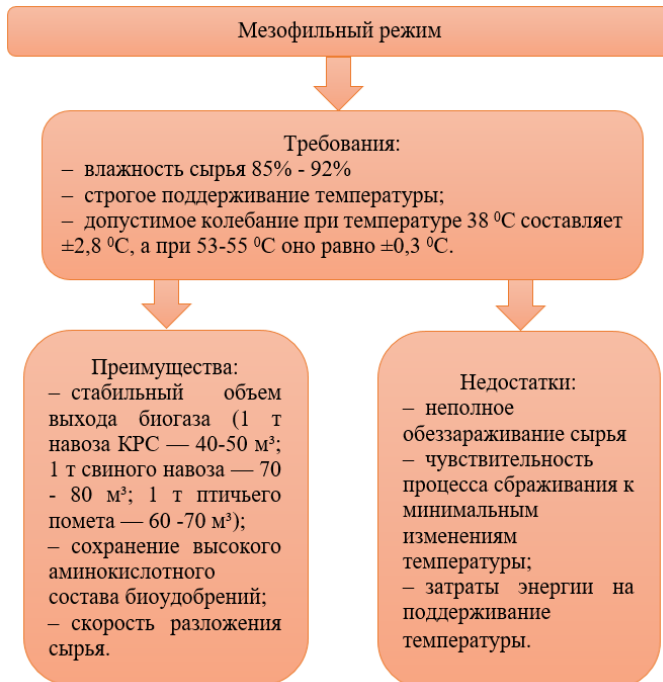


Рис. 2.9. Преимущества и недостатки мезофильного режима сбраживания

Исходя из главного требования строгого поддержания температуры сбраживания в метантенках биоэнергетической установки

при мезофильном и термофильном режимах, использование установок по существующим технологиям будет сопутствоваться избыточными затратами электроэнергии [43].

Существовала ошибочная теория, что при переходе от мезофильного к термофильному существенно снижается скорость газовыделения. Это опровергли результаты последних исследований [44]. Ранее Баадер утверждал [10], замена мезофильного штамма бактерий на термофильный объясняет неравномерное протекание анаэробного сбраживания. Но недавние исследования доказали, что процесса метангенерации не прерывается. Было доказано, что эффективность процесса выше при температуре равной и выше 40°C. Это подтвердили сотрудники Мосводканала [46], Мовсесов Г.Е. и Павличенко В.Н. [79], также было выявлено, что выход биогаза при продолжительности сбраживания 7 суток ($D=14\%$) был на 5–8% ниже, чем при температуре 55°C.

Процесс сбраживания при таких температурах был главной основой технологии двухстадийного сбраживания. Разработанная технология показала высокие результаты при испытаниях. Скорость процесса зафиксирована в рамках 3–5 суток, выход биогаза была получена до 2 м³. По полученным данным разработанной промышленной технологии был оборудован комплект К-Р-9-1 типа «Кобос» [44].

Метод вакуумно-гидравлического перемешивания биомассы при двухэтапном способе процесса производства биогаза в термотолерантном режиме был испытан в работе [94]. Преимущество использования этих методов был оправдан сохранением максимального удобрительного потенциала сброженной биомассы, о чем свидетельствуют оптимальные значения ключевых факторов сбраживания: уровень кислотности ($pH = 7,2$), уровень снижения летучих жирных кислот (ЛЖК) (до 215–323 мг/л), а также глубина распада органических веществ (30–40%). В работе [52] установлено, что применение метода выдерживания в предсбраживателе перед загрузкой сырья в метантенк повышает производительность биогаза. Период сбраживания для наилучшего результата при этом был определен как 2 дня.

Дубровский В.С. в источнике [45] отмечает, что содержание компонентов в исходной биомассе и температура процесса не влияют на величину выхода объема биогаза, если выдерживать максимальный период сбраживания.

Друзьяновой В.П. доказано [43], что в мезофильном режиме затрачивается в среднем в 2 раза больше количества теплоты для нагрева сырья в предсбраживателе, чем в психрофильном режиме работы накопительной БЭУ. При условии соблюдения максимального периода сбраживания и контроля адаптированной естественной ассоциации микроорганизмов, содержащаяся в навозе животных, можно добиться устойчивого выхода биогаза при психрофильном режиме сбраживания, что наиболее подходит для аграрного сектора Якутии.

В работе [44] при определении объема производимого биогаза в накопительной психрофильной биоэнергетической установке использована уравнение:

$$V_6 = \frac{u \cdot m \cdot \tau}{\rho} \quad (2.21)$$

где V_6 – производительность метантенка по биогазу в сутки, $\text{м}^3/\text{сут}$;

u – интенсивность газовыделения, $\frac{\text{м}^3_{\text{биомассы}}}{\text{м}^3_{\text{метантенка}}} \cdot \text{сут}$ [91];

m – количество загружаемого сырья (навоза), $\text{кг}/\text{сут}$;

τ – продолжительность сбраживания, дней;

ρ – плотность биомассы, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Связующим параметром объема производимого биогаза и температур сбраживания и окружающего воздуха является интенсивность газовыделения. Интенсивность газовыделения определяется в зависимости от удельной скорости роста микроорганизмов в заданном процессе ферментации, что на прямую зависит от температуры сбраживания. Более детальный разбор данного параметра описан в источнике [91].

Более наглядно зависимость выхода газа от температуры окружающего воздуха представлена на рисунке 2.10.

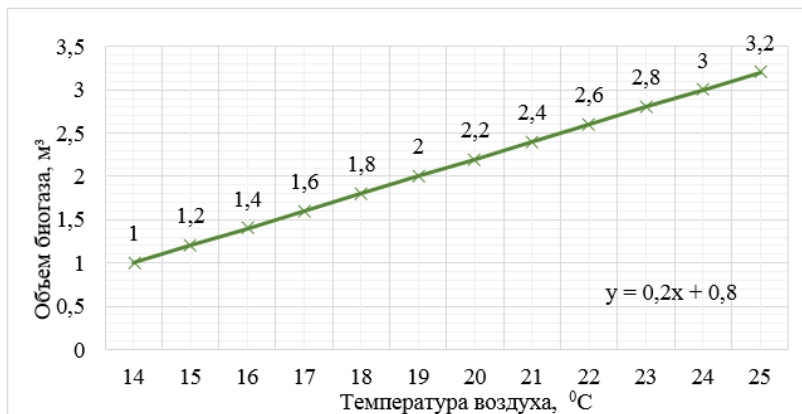


Рис. 2.10. Зависимость выхода объема биогаза от температуры окружающего воздуха

Анализ зависимости, представленной на рисунке 2.10, показал, что с повышением температуры объем выхода биогаза возрастает.

2.5. Необходимое давление биогаза при входе в генератор

Эффективность когенерации биогаза через генератор достигается при содержании в составе биогаза минимум 80% метана.

Метан – это природный газ, в зависимости от состава теплотворная способность колеблется между 9,5 и 10,5 кВт•ч/Н•м³ и идеально подходит в качестве топлива для газовых двигателей.

В настоящее время российскими и зарубежными заводами выпускаются различные марки генераторов, преобразующих газ в электроэнергию – когенераторы.

Известными производителями газовых генераторов является Caterpillar, Greengear, KOHLER-SDMO, Briggs&Stratton и др. из стран Китая, Франции, Италии и США. А также компания «Интернструмент» в России.

По техническим показателям у газовых генераторов давление паров в зависимости от вида топлива на впускном топливном патрубке генератора при работе на полную нагрузку и при включении всех газовых приборов должно находиться в следующих пределах:

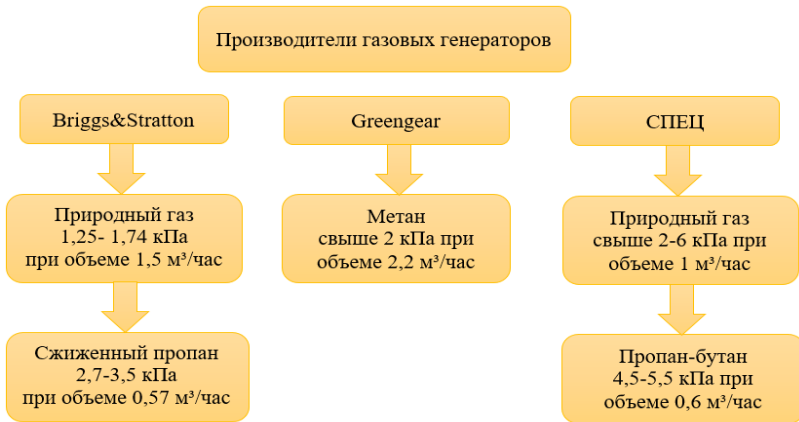


Рис. 2.11. Пределы давления при входе генератор

Таким образом, в среднем требуемое давление газа при входе в генератор должен составлять от 1,2 до 6 кПа в зависимости от производительности установок.

2.6. Биогаз как источник энергии

Главным горючим веществом в составе биогаза является метан. Уровень содержания метана показывает качество биогазового топлива. Метан как топливо может применяться и в карбюраторных, как и дизельных двигателях. Но из-за содержания октана использование в дизельных двигателях наиболее актуально и эффективно.

Баадер А. еще в 1982 г. в своей работе [10] отмечал, что при когенерации биогаза большая часть энергетического потенциала выбрасывает в пустоту, используется лишь 30% теплотворной способности биогаза. С соответствующими затратами на реконструкцию устройств теплообмена можно преобразовывать 55–60% теплотворной способности биогаза. Размеры финансовых затрат не установлены. В сельскохозяйственных предприятиях биогаз как источник энергии применяли во многих хозяйственных, технологических и бытовых процессах как подогрева воды для бытовых нужд и содержания скота; отопление жилых помещений; подогрева воздуха сушилок; работы доильных установок; для создания необходимой температуры брожения; отопления теплиц.

В источнике [10] рекомендовано, чтобы биогазовые станции располагались на территории источников органических отходов. Расчет объема поступающего сырья производится в зависимости от количества поголовья скота. Считается, что выход электрической энергии из биогаза будет постоянным так как количество поголовья остается постоянным в течение года. Другой вопрос рационального и равномерного использования энергии.

Основным способом применения биогаза является преобразование его теплотворной способности. Однако крупные биогазовые установки можно использовать для создания производств по получению ценных химических продуктов для народного хозяйства.

На биогазе могут работать газосжигающие устройства, вырабатывающие энергию, которая используется для отопления, освещения, снабжения кормоприготовительных цехов, для работы водонагревателей, газовых плит, инфракрасных излучателей и двигателей внутреннего сгорания. Наиболее простым способом является сжигание биогаза в газовых горелках, так как газ можно подводить к ним из газгольдеров под низким давлением, но более предпочтительно использование биогаза для получения энергии. Это приведет к созданию собственной энергетической базы, обеспечивающей эксплуатационные нужды хозяйств [22].

Веденев А.Г. и Веденева А.Т. в своих исследованиях [22] пишут, что биогаз экономически целесообразно использовать в газотрогенераторах, при этом сжигание 1 м^3 биогаза позволяет вырабатывать от 1,6 до 2,3 кВт электроэнергии (рис. 2.12). Тепловая энергия генератора для обогрева метантенка биогазовой установки, образующаяся при охлаждении мотора электрогенератора, повышает эффективность использования биогаза [22].

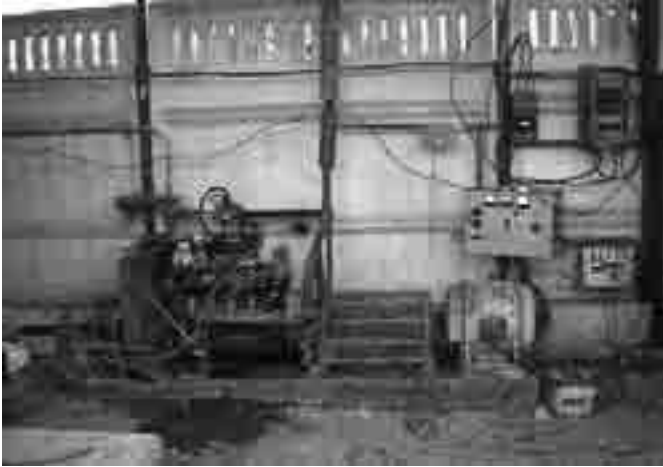


Рис. 2.12. Газоэлектрогенератор в с. Петровка
(фото Веденев А.Г., ОФ «Флюид»)

Наглядно предлагаемая математическая зависимость автономной когенерационной линии показана на рисунке 2.13.

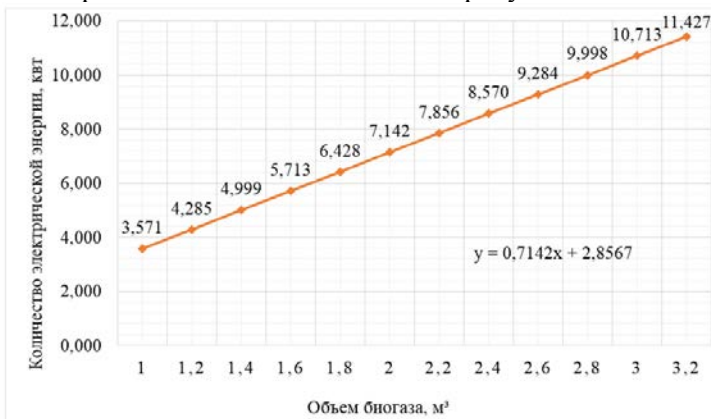


Рис. 2.13. Зависимость количество электрической энергии от объема биогаза

Анализируя полученную зависимость (рис. 2.13), можно сделать вывод, что между количеством получаемой электрической энергии и объёмом выхода биогаз существует прямо пропорциональная зависимость.

Выводы по главе 2

1. Анализ математических моделей, описывающих процесс когенерации биогаза, выявил, что на сегодняшний день отсутствуют модели, раскрывающие работу автономных биогазовых когенерационных установок в психрофильном режиме.

2. Выявлены основные факторы, влияющие на эффективность процесса когенерационной технологии как влажность навоза (B), температура окружающей среды ($T_{\text{окр}}$), температура сбраживания ($T_{\text{СБР}}$), объем выхода биогаза (V_6), диаметр жиклера для подачи газа в камеру сгорания генератора ($d_{\text{жик}}$).

3. Разработана зависимость, описывающая процесс когенерации биогаза в психрофильном режиме работы автономной биоэнергетической установки.

4. Для создания автономной когенерационной линии в условиях летних ферм Якутии, наиболее подходящей является технология, разработанная Друзьяновой В.П. Ею обоснована эффективность психрофильного накопительного режима работы БЭУ: расходуется в среднем в 2 раза меньше количества теплоты для нагрева исходного навоза в предсбраживателе, чем в мезофильном режиме, вследствие чего получается больший выход товарного биогаза. Отмечается, что устойчивая работа психрофильной накопительной БЭУ обеспечивается при использовании адаптированной естественной ассоциации микроорганизмов, находящейся в навозе животных.

5. Современные генераторы, работают при давлениях входного газа от 1,2 до 6 кПа в зависимости от производительности установок. Соответственно, в газгольдер-компрессоре когенерационной линии необходимо обеспечить давление биогаза в названных пределах.

6. Основным горючим компонентом биогаза является метан. Горючий биогаз получается при содержании в нем от 80% метана. Природный газ также состоит из метана. Соответственно, биогаз эквивалентен природному газу при 80-процентном содержании метана.

ГЛАВА 3. МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

3.1. Общая методика экспериментальных исследований

Программа исследований состоит из следующих этапов:

Этап 1. Проведение натурных экспериментов на накопительной психрофильной установке для уточнения значений управляющих факторов, обеспечивающих оптимальный режим работы БЭУ.

Этап 2. Выявление и обоснование оптимальных факторов, обеспечивающих стабильную работу газового генератора при когенерации биогаза.

Этап 3. Получение результатов опытов имитационное моделирование.

Экспериментальные исследования проводились в соответствии с требованиями: ГОСТ Р 53790-2010 [1].

Этапы экспериментальных исследований проводились по структурной схеме, представленной на рисунке 3.1.



Рис. 3.1. Структурная схема этапов исследований

3.2. Описание пилотной когенерационной линии

Пилотная автономная когенерационная линия была установлена на территории частной животноводческой фермы на металлической платформе (рис. 3.4).

Линия включает в себя оборудование и приборы, приведенные в таблице 3.1.

Таблица 3.1

Применяемое оборудование и приборы

№	Оборудование, марка	Внешний вид	Технические характеристики
1.	Метантенк, патент на полезную модель №142699 от 18.10.2013 г.		<p>Конструкция: 1 – стальной цилиндрический бак; 2 – загрузочное устройство свежего навоза; 3 – выгрузочное устройство переработанного субстрат (шлама, эффлюента); 4 – патрубок для отвода биогаза</p>
2.	Газовые трубы		<p>Труба гибкая из нержавеющей отожженной стали с условным проходом 20 мм, представляет собой сварную трубу круглого сечения с гофрированной стенкой.</p> <p>Гибкие резиновые трубы можно использовать и в рукавах высокого давления, и в обычных магистралях, где с помощью такого изделия решают проблему обустройства нестандартного углового сопряжения.</p> <p>Эксплуатационные характеристики:</p> <ul style="list-style-type: none"> - устойчивость к механическим, химическим и температурным воздействиям;


Продолжение таблицы 3.1

№	Оборудование, марка	Внешний вид	Технические характеристики
3.			<ul style="list-style-type: none"> - устойчивость к зарастанию; - износостойкость и длительный срок эксплуатации; - пластичность и упругость; - небольшой вес значительно упрощает монтаж; - устойчивость к высокому давлению; - фланцевые соединения удобно монтировать и демонтировать, в том числе и в ограниченном пространстве; - снижение нагрузки на железобетонные конструкции
4.	Счетчик газа Элехант СГБ-4.0		<p>Бытовой газовый счетчик Элехант СГБ-1,8 используется для фиксации расхода объема потребленного газа.</p> <p>Диапазон расхода газа, кубм/ч от $Q_{min} = 0,03$ до $Q_{max} = 1,8$</p> <p>Пределы допустимой относительной погрешности измерения объема газа, $\% \pm 2,5$ (при расходе от Q_{min} до $0,2 Q_{max}$) $\pm 1,5$ (при расходе от $0,2 Q_{max}$ до Q_{max})</p> <p>Габариты 110 x 66 x 65 мм</p> <p>Присоединительная резьба G1/2 по ГОСТ 6357-81</p> <p>Диаметр условного прохода, 15 мм</p> <p>Наименьшая цена деления отсечного устройства счетчика 0,001 м³</p> <p>Температура окружающей среды, -10...+50 °С</p> <p>Относительная влажность от 30 до 80 % (при температуре не выше +25 °С)</p> <p>Срок службы не менее 12 лет</p> <p>Масса не более 0,3 кг</p> <p>Режим работы непрерывный</p>

Продолжение таблицы 3.1

№	Оборудование, марка	Внешний вид	Технические характеристики
5.	Газгольдер компрессор – «Расширительный бачок закрытого типа Wester WRV 50»		Объем 50 л Присоединительная резьба, 3/4 дюйм Диапазон рабочих температур от -10 до +100 °С Рабочее давление до 0,6 мПа Материал фланца металл Размер 365х555 мм
6.	Газовый генератор марки «СПЕЦ» модель SG-6500E		Газовый генератор СПЕЦ SG-6500 E – это мобильный однофазный агрегат, вырабатывающий до 5.5 кВт электроэнергии. В качестве топлива используется газ. Вес нетто 80 кг Габариты без упаковки 690х520х570 мм Напряжение 220 В Мощность номинальная при 220 В 5 кВт Альтернатор синхронный Модель двигателя F188 Обмотка альтернатора двигателя медь Тип кожуха открытый Расход топлива 2.2 м³/ч Вид топлива газ

Продолжение таблицы 3.1

№	Оборудование, марка	Внешний вид	Технические характеристики
			<p>Объем масляного бака 1,1 л Уровень шума 74 дБ Объем двигателя 289 см³ Мощность максимальная при 220 В 5,5 кВт Эл. Выходы 380/220/12, 0/2/1 шт Аккумулятор в комплекте да Тип двигателя 4-х тактный Степень защиты IP54 Контроль напряжения компаундный (традиционный) Колеса и ручки нет Индикатор уровня топлива да Счетчик моточасов нет Выход 12V да Датчик масла да Тип электростанции мобильные</p>
7.	Датчик давления «Напоромер НМП-52-МЗУ»		<p>Напоромер НМП-52-МЗУ мембранный показывающий предназначены для измерения вакуумметрического и избыточного давления неагрессивных газов. Класс точности 1,5; 2,5. Верхние пределы измерений: 6 кПа Исполнение НМП-52-МЗУ по устойчивости к внешним вибрационным воздействиям L3 по ГОСТ 12997-84. Степень защиты от воздействия окружающей среды IP40 по ГОСТ 14254-96. Масса напоромера НМП 52 МЗУ, кг не более 0,5.</p>

Продолжение таблицы 3.1

№	Оборудование, марка	Внешний вид	Технические характеристики
8.	Газоанализатор «Автотест– 01.03М»		<p>Газоанализатор CO, CH_4, CO_2, O_2, тахометр, автоматическое вычисление коэффициента избытка воздуха (λ - параметра). II класс точности. Один буквенно-цифровой дисплей.</p> <p>Диапазон измерения содержания углеводорода CH_4 - 0-3000 млн^{-1}</p> <p>Пределы допускаемой погрешности CH_4. Абсолютная погрешность $\pm 20 \text{ млн}^{-1}$</p> <p>Пределы допускаемой погрешности CH_4. Относительная погрешность $\pm 6\%$</p> <p>Диапазон измерения содержания оксида углерода CO 0-7%</p> <p>Пределы допускаемой погрешности CO. Абсолютная погрешность $\pm 0.2\%$</p> <p>Пределы допускаемой погрешности CO. Относительная погрешность $\pm 6\%$</p> <p>Диапазон измерения содержания диоксида углерода 0-16%</p> <p>Пределы допускаемой погрешности CO_2. Абсолютная погрешность ± 1</p> <p>Пределы допускаемой погрешности CO_2. Относительная погрешность $\pm 6\%$</p> <p>Диапазон измерения содержания кислорода O_2 0-21%</p>

Продолжение таблицы 3.1

№	Оборудование, марка	Внешний вид	Технические характеристики
			<p>Пределы допускаемой погрешности O_2. Абсолютная погрешность $\pm 0.2\%$ Пределы допускаемой погрешности O_2. Относительная погрешность $\pm 6\%$ Диапазон измерения λ-параметра 0,50-2,00 Диапазон измерения частоты оборотов 0-8000 мин⁻¹ Расход анализируемого газа, не менее 60 л/ч Время установления показаний, не более 60 сек Время установления рабочего режима, не более 30 мин</p>
9.	Установка доильная стационарная УДС - В		<p>Тип - стационарный, Количество коров, обслуживаемых установкой - 100; Количество коров, выдоенных за 1 час основного времени - не менее 60; Максимальное количество одновременно доящих коров - 8; Количество доильных аппаратов, шт. - 8 Вместимость доильного ведра, дм³ - 20; Установленная мощность, кВт - не более 4; Рабочее вакуумметрическое давление - кПа 48; Производительность вакуумной станции, м³/ч - не менее 70; Масса кг., - не более 700.</p>

№	Оборудование, марка	Внешний вид	Технические характеристики
10.	Смеситель комбикормов СВШ-1,5		<p>Шнековый вертикальный смеситель СВШ-1.5 предназначен для качественного перемешивания различных сыпучих масс.</p> <p>Преимущество работы СВШ в отсутствии разрушающего воздействия. Смеситель мягко смешивает все компоненты в однородную массу, не разбивая гранулы.</p> <p>Данный смеситель кормов имеет вертикальную направленность: компоненты засыпаются сверху, проходят процесс смешивания шнеком и выходят снизу уже в качестве готовой смеси. Полный цикл занимает не более 15 минут. Полученная смесь сразу готова к употреблению, в дополнительной обработке (чистке и т.д.) не нуждается.</p> <p>Мощность 1,5 кВт</p>

После достижения устойчивой работы БЭУ, а именно с получением биогаза, поддерживающего процесс горения, к линии добавили газовый генератор и потребители энергии (доильный аппарат; кормосмеситель) (рис. 3.2).

Был выбран газовый генератор марки «СПЕЦ» модель SG-6500E. Требования к газу данного генератора: природный газ при условии состава метана CH_4 более 90%, уровень подачи топлива (природный газ) $Q_1 > 2 \text{ кг/час}$ (или $Q_1 > 1 \text{ м}^3/\text{час}$), рекомендуемое давление газа выходе 2 КПа – 6 КПа.



Рис. 3.2. Принципиальная схема пилотной автономной когенерационной линии

3.3. Проведение натурных экспериментов на накопительной психрофильной установке для уточнения значений управляющих факторов, обеспечивающих оптимальный режим работы БЭУ (этап 1)

В период данного этапа производится загрузка метантенка и устанавливается период сбраживания навоза в метантенке.

Накопительная психрофильная БЭУ является основой пилотной автономной когенерационной линии. Технологическая схема пилотной автономной когенерационной линии представлена на рисунке 3.3.

Запуск метантенка: через загрузочное устройство (4) загружается субстрат влажностью 90–93% объемом 2/3 от общего объема метантенка (2).

Необходимую влажность навоза, загружаемого в метантенк, достигали путем смешивания навоза теплой водой ($t = 30\text{--}40^\circ\text{C}$), основываясь на известные рекомендации (табл. 3.2) [43].

Таблица 3.2

Количество воды для достижения необходимой влажности на 100 кг навоза [43]

Первоначальная влажность, %	Необходимая влажность сырья, %				
	90	92	94	96	98
86	50	87,5	150	275	350

После загрузки сырья в метантенк (2), проверяется герметичность газовых труб (10).

При помощи компрессора забирается воздух с метантенка через газовый патрубок (6), создаются анаэробные условия.

Из метантенка биогаз проходит по гибким газовым трубам (10) и накапливается в газгольдере-компрессоре (7).

Качество биогаза проверяется газоанализатором «Автотест–01.03М».

3.4. Выявление и обоснование оптимальных факторов, обеспечивающих стабильную работу газового генератора при преобразовании биогаза (этап 2)

После получения горючего биогаза и накопления его достаточного объема, подбираются значения давления биогаза в газгольдер-компрессоре (7) и диаметр жиклера генератора (8).

Биогаз через счетчик газа (6) и датчик давления (5), попадает в камеру сгорания генератора (8) и преобразуется в электрическую энергию.

Полученная электрическая энергия запускает в работу потребители энергии (доильный аппарат; кормосмеситель) (9).

Путем варьирования подбирается диаметра жиклера для подачи биогазового топлива в камеру сгорания генератора.

Общий вид автономной когенерационной линии на основе психрофильной накопительной биогазовой технологии представлен на рисунке 3.4.

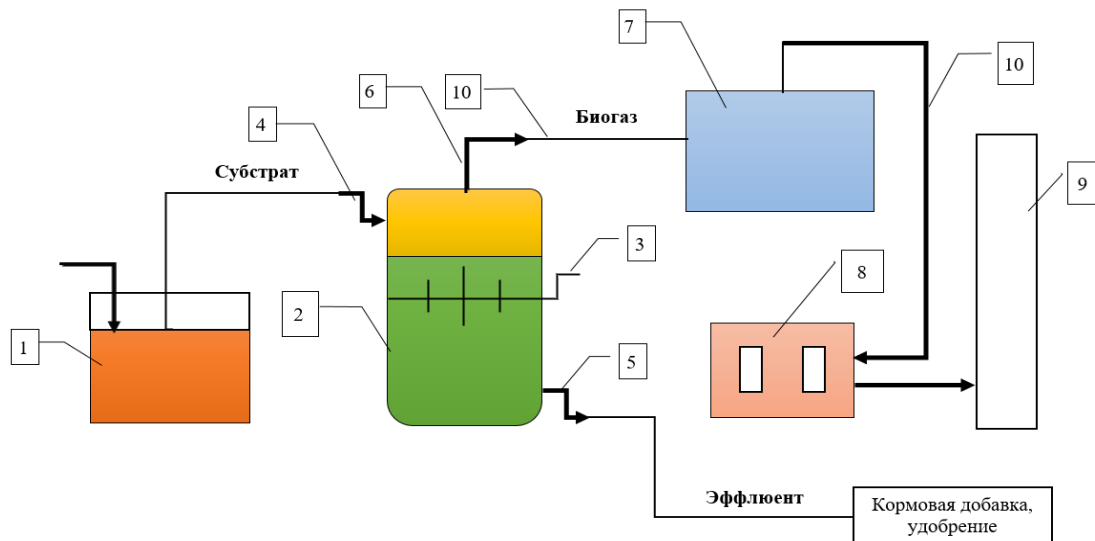


Рис. 3.3. Технологическая схема пилотной автономной когенерационной линии: 1 – емкость исходного сырья; 2 – метантенк; 3 – ручная мешалка; 4 – загрузочное устройство; 5 – выгрузное устройство; 6 – выход биогаза; 7 – газгольдер – компрессор; 8 – газовый генератор марки «СПЕЦ» модель SG-6500E; 9 – потребители энергии (доильный аппарат; кормосмеситель); 10 – газовые трубы

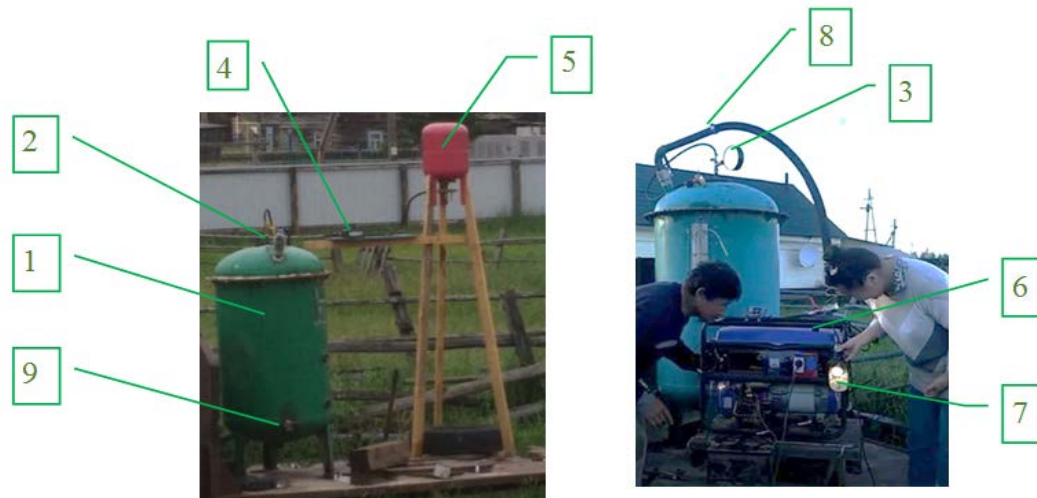


Рис. 3.4. Общий вид пилотной линии по когенерации биогаза в электрическую энергию:
 1 – метантенк объемом 1 м³; 2 – загрузочное устройство; 3 – датчик давления; 4 – счетчик газа;
 5 – газгольдер-компрессор; 6 – газовый генератор марки «СПЕЦ» модель SG-6500E;
 7 – потребители энергии (доильный аппарат; кормосмеситель); 8 – газовые трубы;
 9 – выгрузочное устройство

3.5. Методика определения состава метана

Из содержания в биогазе метана, биогаз является альтернативным источником энергии. Он является главным горючим веществом. По разным данным, о которых описывается в источниках [9; 18; 30; 34], при условии содержания метана в составе биогаза равным или больше 70–80% биогаз может быть использован в качестве моторного топлива.

Для уверенности полученных результатов и определения высокого качества полученного биогаза содержание метана в произведенном продукте был определен на втором этапе экспериментальных исследований. Известно, что соотношение метана в психрофильном газе в основном преобладает и биогаз, произведенный в условиях психрофильного режима, получается наилучшего качества [41].

Перед запуском генератора произведено накопление биогаза в газгольдер-компрессоре (7) – БЭУ работает в накопительном психрофильном режиме и средний суточный выход биогаза составлял 0,8–2,6 м³/сут.

Анализ качества полученного биогаза проводится газоанализатором «Автотест–01.03М» – метан составил 92–94% (рис. 3.5).



Рис. 3.5. Газоанализатор «Автотест–01.03М»

3.6. Планирование и обработка результатов эксперимента

Для планирования и обработки результатов выбираются те значения факторов, которые свидетельствуют о достижении поставленной цели исследования, также способствующие решению всех задач исследования.

Операции центрирования и масштабирования являются основными методами перехода от натуральных переменных к кодированным.

Методом центрирования переносим начала координат системы кодированных факторов в центр эксперимента с координатами в натуральных переменных:

$$X_{0i} = 0,5 (X_{i \text{ MAX}} + X_{i \text{ MIN}}) \quad (3.1)$$

Масштабирование – изменение центрированных числовых значений факторов в раз:

$$\text{Ц} = 1 / \Delta X, \quad (3.2)$$

где ΔX – полудиапазон изменения i – го фактора, вычисляемый по формуле:

$$\Delta X = 0,5 (X_{\text{MAX}} - X_{\text{MIN}}) \quad (3.3)$$

Кодированные переменные вычисляются по формуле (3.6), а возврат от них к натуральным значениям осуществляем по (3.7).

$$x_i = (X_i - X_{0i}) / \Delta X_i \quad (3.4)$$

$$X_i = x_i \Delta X_i + X_{0i} \quad (3.5)$$

Кодирование параметров и возврат от них к натуральным значениям осуществляется в той же последовательности.

Обработку результатов эксперимента производим по методу наименьших квадратов (МНК) [4; 21; 36; 38; 80; 107; 109; 121; 125]. МНК состоит в том, чтобы минимизировать сумму квадратов отрезков, характеризующих расхождение между экспериментальными точками и полученным уравнением. МНК гарантирует, что остаточная сумма квадратов минимально возможная.

Для движения к точке оптимума составляется линейная модель

$$Y = b_0 + b_1 x_1 + \dots b_k x_k. \quad (3.6)$$

Для любого числа факторов коэффициенты будут вычисляться по формуле:

$$b_j = \frac{\sum_{i=1}^N Y_i x_{ji}}{N}, \quad (3.7)$$

где $j = 0, 1, 2, \dots, k$ – номер фактора. Ноль записана для вычисления b_0 .

Так как каждый фактор (кроме X_0) варьируется на двух уровнях $+1$ и -1 , то вычисления сводятся к приписыванию столбцу Y знаков соответствующего фактору столбца и алгебраическому сложению полученных значений. Деление результата на число опытов в матрице планирования дает искомый коэффициент.

При проверке гипотезы о пригодности модели или о значимости коэффициентов, используем один из статистических методов – регрессионный анализ.

Находим дисперсию в каждом опыте. Дисперсия обозначается $S_{\{Y\}}^2$ и выражается формулой:

$$S_{\{Y\}}^2 = \frac{\sum_1^n (Y_q - \bar{Y})^2}{n - 1}, \quad (3.8)$$

где $(n - 1)$ – число степеней свободы, равное количеству опытов минус единица;

Y_q – результат отдельного опыта;

\bar{Y} – среднее арифметическое всех результатов.

$$\bar{Y} = \frac{Y_1 + Y_2 + \dots + Y_n}{n} = \frac{\sum_1^n Y_q}{n} \quad (3.9)$$

Корень квадратный из дисперсии, взятый с положительным знаком, называется средним квадратическим отклонением, стандартом или квадратичной ошибкой:

$$S_{\{Y\}} = \sqrt{\frac{\sum_1^n (Y_q - \bar{Y})^2}{n-1}} \quad (3.10)$$

Стандарт имеет размерность той величины, для которой он вычислен.

После вычисления коэффициентов, проверяется адекватность полученной модели.

Для проверки гипотезы об адекватности используем F-критерий, называемый критерием Фишера:

$$F = \frac{S_{AD}^2}{S_{\{Y\}}^2}, \quad (3.11)$$

где S_{AD}^2 – дисперсия адекватности или остаточная дисперсия.

$$S_{AD}^2 = \frac{\sum_{i=1}^N \Delta Y_i^2}{f}, \quad (3.12)$$

где f – число степеней свободы.

$$f = N - (k + 1). \quad (3.13)$$

Удобство использования критерия Фишера состоит в том, что проверку гипотезы можно свести к сравнению с табличным значением. В технических задачах, как правило, используется уровень значимости 0,05. Если рассчитанное значение F- критерия превышает табличное, то с соответствующей доверительной вероятностью модель можно считать адекватной.

Проверка значимости каждого коэффициента проводится независимо. Её осуществляем проверкой по t-критерию Стьюдента, а также построением доверительного интервала.

Прежде всего, находится дисперсия коэффициента регрессии $S_{\{b_j\}}^2$. Она определяется по формуле:

$$S_{\{b_j\}}^2 = \frac{S_{\{Y\}}^2}{N}, \quad (3.14)$$

Доверительный интервал (Δb_j):

$$(\Delta b_j) = \pm t S_{\{b_j\}}. \quad (3.15)$$

Здесь t – табличное значение критерия Стьюдента при числе степеней свободы, с которыми определялась $S_{\{Y\}}^2$, и выбранном уровне значимости (обычно 0,05); $S_{\{b_j\}}$ – квадратичная ошибка коэффициента регрессии

$$S_{\{b_j\}} = +\sqrt{S_{\{b_j\}}^2}. \quad (3.16)$$

Формула для доверительного интервала запишется в следующей эквивалентной форме:

$$\Delta b_j = \pm \frac{t \cdot S_{\{Y\}}}{\sqrt{N}}. \quad (3.17)$$

Коэффициент значим, если его абсолютная величина больше доверительного интервала. Доверительный интервал задается верхней и нижней границами $b_j + \Delta b_j$ и $b_j - \Delta b_j$.

Значимость коэффициентов по t – критерию Стьюдента вычисляем по формуле:

$$t = \frac{|b_j|}{S_{\{b_j\}}} \quad (3.18)$$

Вычисленное значение t – критерия сравнивается с табличным при заданном α и соответствующем числе степеней свободы. Если вычисленное значение больше табличного, то коэффициент считается значимым.

Критерий Стьюдента также можно использовать для отброса ошибочных опытов по формуле:

$$t \leq \frac{Y - \bar{Y}}{s} \quad (3.19)$$

Опыт считается бракованным, если экспериментальное значение критерия t по модулю больше табличного значения.

ГЛАВА 4. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

4.1. Результаты экспериментов по производству биогаза в накопительном психрофильном режиме

Проведены эксперименты на обоснование факторов, обеспечивающих эффективную работу БЭУ в накопительном психрофильном режиме в зависимости от параметров окружающей среды.

Результаты опытов отражены в виде графика по выходу биогаза в зависимости от температуры окружающей среды на рисунке 4.1.

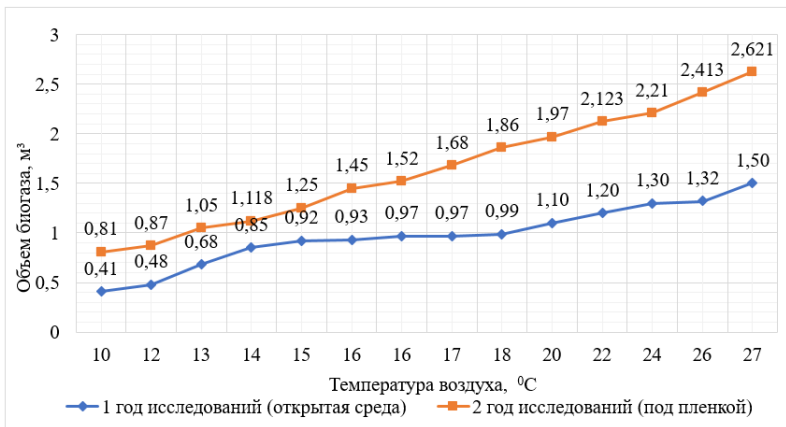


Рис. 4.1. Выход биогаза в зависимости от температуры
окружающего воздуха

С начала установившегося процесса образования биогаза, ежедневно производился его подсчет. Качество биогаза на содержание метана определяли анализатором «Автотест–01.03М».

Данный этап являлся подготовительным периодом и по его окончанию были определены значения факторов температуры, влажности загружаемого субстрата и объема выхода биогаза. Период достижения объема биогаза, поддерживающего процесс горения, составил 3,5–4 недели. Продолжительность данного периода зависит от постоянства температурного режима, который сказывается на образовании, размножении и продуцировании метаногенных бактерий.

По графику видно (рис. 4.1), что в 1 году исследований наиболее высокий показатель по выходу биогаза достигнут при температуре 27°C и составил 1,498 м³. При температуре 18°C средний выход биогаза составил 0,989 м³ в сутки. При температуре 16°C произошло уменьшение до 0,967 м³. Самый минимальный показатель по объему биогаза были отмечены при температуре воздуха 10°C и составил 0,412 м³.

В целях увеличения объема производимого биогаза во 2 году исследований метантенк был установлен в теплице. При этом суточный выход биогаза составил 0,809–2,621 м³ в сутки.

Показатели по температурным данным окружающего воздуха снимались 4 раза в сутки: 8:00, 11:00, 13:00, 18:00, 22:00. Данный график (рис. 4.1) построен по периоду, в котором были зафиксированы минимальные и максимальные значения показаний.

Также одновременно с показателями температуры окружающей среды были отмечены значения давления в газгольдер-компрессоре. По зафиксированным величинам параметра построен график, описывающий процесс выхода биогаза при установившихся давлениях в газгольдер-компрессоре.



Рис. 4.2. Газовый счетчик и датчик давления

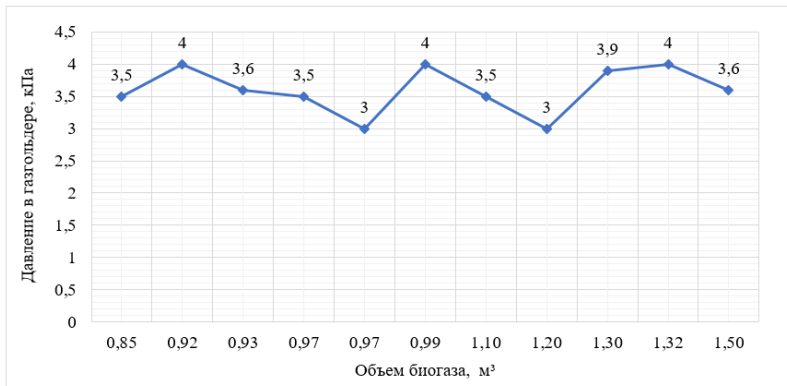


Рис. 4.3. Давления, установившиеся в газгольдер-компрессоре

Как видно из графика (рис. 4.3), в газгольдер-компрессоре устанавливается давление биогازа от 3 кПа до 4 кПа.

Из графиков, приведенных на рисунках 4.1 и 4.3 видно, что при высоких температурах воздуха выход объема биогازа увеличивается до 3 раз.

Следовательно, можно констатировать, что в условиях летних ферм, для обеспечения максимального производства биогازа накопительной психрофильной БЭУ метантенк необходимо установить внутри пленочного сооружения типа парниковой теплицы.

В результате, установлены следующие значения факторов для эффективного течения процесса производства биогازа в накопительном психрофильном режиме работы БЭУ: влажность сбраживаемого субстрата – 90–93%; пределы температуры сбраживания от 14°C до 27°C при объемах биогازа от 0,85 м³ до 1,498 м³. Также установлено, что при увеличении выхода биогازа до 1,118–2,621 м³ в сутки необходимо расположить метантенк БЭУ в теплице.

4.2. Результаты эксперимента по исследованию когенерации биогаза при накопительном психрофильном режиме работы БЭУ

В летних фермах основным потребителем электрической энергии являются доильные установки (3,5 кВт). Также предлагается для повышения удоев молока, чтобы обеспечить качество кормления добавить смесители для подготовки кормов к вскармливанию, которые работают с мощностью 1,5 кВт. Исходя из этого, требуемая максимальная мощность составляет 5 кВт.

Основываясь на вышеназванное значение, на летних фермах предлагается использовать газогенераторы мощностью от 3 до 5 кВт.

В данной работе в пилотной когенерационной линии применили генератор марки SG-6500E.

По паспортным данным для работы этого генератора для преобразования в электроэнергию требуется 1 м³ природного газа:

1 час работы = 1 м³ природного газа

Биогаз эквивалентен природному газу в соотношении 1:0,6. Следовательно, для бесперебойной работы генератора необходимо 1,4 м³ биогаза.

Приняв процесс доения за 2 часа (утром и вечером), определили, что в газгольдер-компрессоре необходим объем до 3 м³ биогаза.

Путем подбора, уточнен диаметр газовой трубы. Опыты проводили с диаметрами 10 мм; 20 мм и 40 мм. По показателю эффективности подачи биогаза для запуска газового генератора подошел диаметр газовой трубы в 40 мм.

Таблица 4.1

Оптимальные значения факторов, влияющие на эффективность процесса когенерационной технологии

№	Факторы	Значения	Требования к газу генератора:
1	Влажность сбраживаемого навоза, В _{нав} , %	90–93	-
2	Температура окружающего воздуха, Т _{окр} , °С: - дневная - ночная	18–27 10–12	-
3	Период сбраживания сырья, недель	3–4	-

Окончание таблицы 4.1

4	Диаметр жиклера в генераторе, $d_{\text{жик}}$, мм	40	-
5	Состав метана в биогазе, CH_4 , %	92–94	природный газ при условии состава метана CH_4 более 90%
6	Давление в газгольдер-компрессоре, кПа	3,2–4,5	регулятор давления на входе $P > 2,8$ кПа
7	Объем производимого биогаза в сутки, V_6 , м ³ в сут.	1,118–2,6	уровень подачи топлива $V > 1,4$ м ³ /час

4.3. Результаты моделирования когенерации биогаза

Энергетическая ценность биогаза зависит, прежде всего, от количества в нем реального носителя энергии – метана. Доказано, что при работе когенерационной установки в психрофильных условиях (условиях окружающей среды, без подогрева извне), качество биогаза по содержанию горючего метана получается самым высоким.

В результате проведения опытов на пилотной автономной когенерационной линии получены следующие значения по выходу биогаза при соответствующих значениях температуры окружающего воздуха (табл. 4.2).

Таблица 4.2

Экспериментальные значения параметров пилотной автономной когенерационной линии

№ опыта	Температура окружающей среды, °С	Объем биогаза, м ³	№ опыта	Температура окружающей среды, °С	Объем биогаза, м ³
1.	10	0,81	9.	17	1,68
2.	12	0,87	10.	18	1,86
3.	13	1,05	11.	20	1,97
4.	14	1,118	12.	22	2,123
5.	15	1,25	13.	24	2,21
6.	16	1,45	14.	26	2,413
7.	16	1,52	15.	27	2,621

Матрица планирования сформирована по результатам полученных данных при проведении опыта, методика обработки результатов использована с источников [7; 9; 18; 19; 22; 25; 34; 37; 40; 43; 44; 57; 62; 64; 68; 73; 78; 80; 97; 104].

Значения факторов, которыми было решено варьировать представлены в таблице 4.3.

Таблица 4.3

Матрица планирования экспериментов

Номер опыта	x_1	T	x_2	V
	код	$^{\circ}\text{C}$	код	м^3
1	1	18	-1	1,86
2	-1	10	-1	0,41
3	1	27	1	2,62
4	-1	12	1	0,87

Результаты испытаний как оптимальные значения ключевых факторов в таблице представлены в закодированном виде также в натуральных физических величинах. Данный метод применяется для упрощения при вычислении. По распространенному мнению, результаты экспериментов проверяли методом наименьших квадратов (МНК). Данный метод статистического анализа является наиболее распространённым.

Каноническое уравнение процесса когенерации биогаза получено в следующем виде:

$$Y_1 = 1,837 + 17,857 x_1 + 1,638 x_2 \quad (4.1)$$

Расчетное значение критерия Фишера был равен 351,36, данный метод анализа был использован при проверке гипотезы об адекватности модели реальному физическому процессу. F-статистика имеет распределение с одной и тремя степенями свободы. Табличное значение F-статистики при 5% уровне значимости равно 10,1. Что свидетельствует о положительном отзыве проведенных опытов.

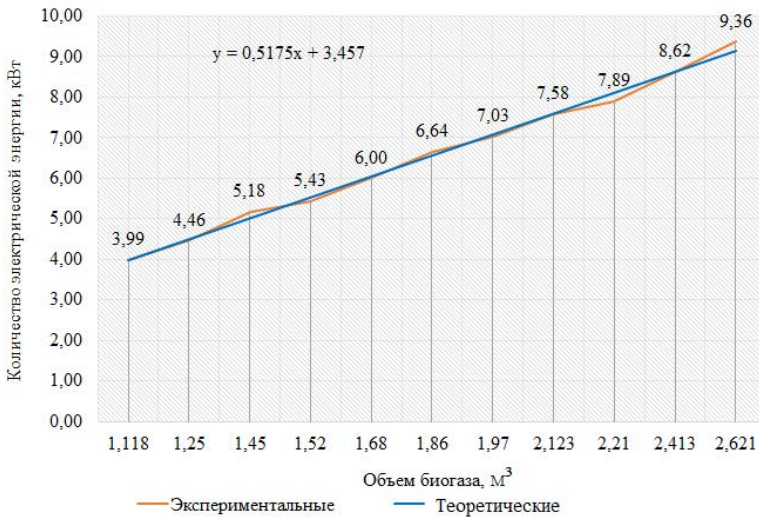


Рис. 4.4. Теоретическое и экспериментальное значения количества электрической энергии в зависимости от объема биогаза

Как видно из графика отклонение экспериментальных значений от теоретических значений не превышает 5%.

Из проделанного статистического анализа модели (4.1) следует, что на количество производимой электрической энергии с биогаза существенное влияние оказывает фактор температуры окружающей среды. Объем биогаза зависит от температуры окружающей среды. Поэтому коэффициент x_2 получился минимальным.

В итоге получили имитационную модель, описывающую процесс производства электрической энергии от преобразования биогаза в следующем виде:

$$W_{\text{эл.эн}} = 1,837 + 17,857 T_{\text{окр}} + 1,638 V_{\text{Б}} \quad (4.2)$$

По программе Statistica построена поверхность отклика:

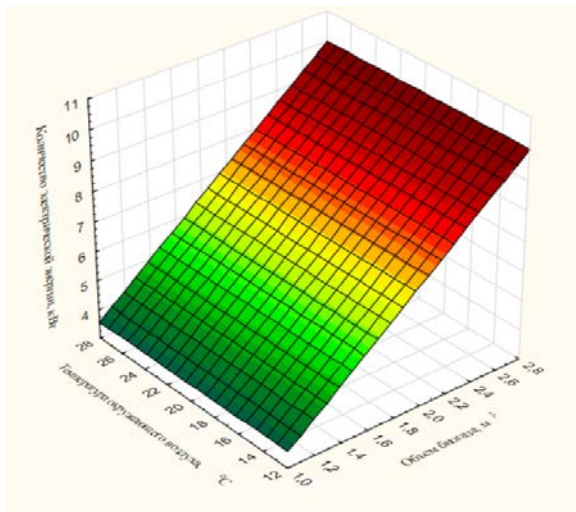


Рис. 4.5. Поверхность отклика количества электрической энергии, получаемое в зависимости от температуры окружающего воздуха, $T_{\text{окр}}$ и объема производимого биогаза, $V_{\text{Б}}$

Выводы по главе 4

1. Определены факторы, обеспечивающие эффективную работу генератора на биогазе.
2. Выявлено, что для бесперебойной работы газового генератора марки «СПЕЦ» модель SG-6500E необходим объем биогаза 1,4 м³/час.
3. На основе результатов теоретических и экспериментальных исследований получена имитационная модель, описывающая процесс когенерации биогаза на основе накопительной психрофильной БЭУ.

ГЛАВА 5. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАЗРАБОТАННОЙ ТЕХНОЛОГИИ И СРЕДСТВ МЕХАНИЗАЦИИ ДЛЯ КОГЕНЕРАЦИИ БИОГАЗА В УСЛОВИЯХ РЕСПУБЛИКИ САХА (ЯКУТИЯ)

Внедрение автономной когенерационной линии на основе психрофильной накопительной биогазовой технологии позволяет решить энергетическую проблему, ограничивающую создание летних ферм на заброшенных децентрализованных территориях.

При определении экономической эффективности внедрения автономной когенерационной линии учтены энергетическая и сезонная экономическая эффективности.

Значения годового экономического эффекта от внедрения автономной когенерационной линии на примере децентрализованных крестьянских (фермерских) хозяйств Таттинского района Республики Саха (Якутия) представлен в таблице 5.1.

Таблица 5.1

Количество коров в крестьянских (фермерских) хозяйствах
Таттинского района на 01.03.2021 г.

№	Наименование хозяйства	Количество поголовья КРС, гол	В т.ч. дойных коров	Оборудование, потребляющее энергию
1.	К(Ф)Х «Чычымах»	178	114	Доильное оборудование
2.	К(Ф)Х «Кэскил»	194	52	Доильное оборудование
3.	К(Ф)Х «Хочо»	301	107	Доильное оборудование

Годовой экономический эффект от внедрения автономной когенерационной линии определяется по следующей формуле:

$$\mathcal{E}_{ГЭ} = \mathcal{E}_1 + \mathcal{E}_2 \quad (5.1)$$

где: $\mathcal{E}_{ГЭ}$ – годовой экономический эффект, тыс. руб.;

\mathcal{E}_1 – годовой энергетический эффект, тыс. руб.;

\mathcal{E}_2 – экономический эффект от повышения удоев молока, тыс. руб.

5.1. Расчет энергетического эффекта от внедрения автономной когенерационной линии

Энергетический эффект обусловлен эквивалентом заменяемой электрической энергии. Поэтому цену кубометра биогаза выразим через стоимость электроэнергии.

Годовой энергетический эффект (\mathcal{E}_1) от применения биогаза [50]:

$$\mathcal{E}_1 = V_6 \cdot \delta_{\text{эв}} \cdot \Pi_3, \quad (5.2)$$

где: V_6 – общий выход биогаза, м^3 в сезон;

$\delta_{\text{эв}} = 0,48 \text{ кВт/м}^3$, κ -т перевода биогаза в электроэнергию;

$\Pi_3 = 4,55 \text{ руб.}$, тариф за 1 кВтч .

Таблица 5.2

Годовой энергетический эффект

№	Наименование хозяйства	Выход биогаза V_6 , м^3	Количество электроэнергии, получаемое из биогаза, $\text{кВт} \cdot \text{ч}$	Годовой энергетический эффект, \mathcal{E}_1 , руб.
1.	К(Ф)Х «Чычымах»	7404,8	3554,3	16172,083
2.	К(Ф)Х «Кэскил»	8070,4	14930,24	17625,753
3.	К(Ф)Х «Хочо»	12521,6	6010,37	27347,174

5.2. Расчет экономического эффекта от повышения удоев молока

Экономический эффект от повышения удоев молока (\mathcal{E}_2) от внедрения автономной когенерационной линии определяли по формуле:

$$\mathcal{E}_2 = M - (K_T + C_3) \quad (5.3)$$

где: M – стоимость доли молока от произведенного объема на летних фермах, руб.;

K_T – капитальные вложения для автономной когенерационной линии на основе психрофильной накопительной биогазовой технологии, руб.;

C_3 – эксплуатационные затраты, руб.

5.2.1. Ожидаемая рента от повышения удоев молока в летних фермах

Для расчета ожидаемой ренты от повышения удоев молока в летних фермах используются данные из таблиц 1.4 и 1.5.

Таблица 5.3

Ожидаемая рента от повышения удоев молока в летних фермах

№	Наименование хозяйства	Количество дойных коров	Стоимость доли молока от произведенного объема на летних фермах, М, руб.
1.	К(Ф)Х «Чычымах»	114	4104000
2.	К(Ф)Х «Кэскил»	52	1872000
3.	К(Ф)Х «Хочо»	107	3852000

5.2.2. Расчет капитальных вложений для внедрения автономной когенерационной линии

Капитальные вложения (K_T) для внедрения автономной когенерационной линии для использования в децентрализованных хозяйствах при механизации процессов доения и приготовления кормов [11; 44; 132].

$$K_T = K_{oc} + K_{dm} + K_{пн} \quad (5.4)$$

где: K_{oc} – общая стоимость пилотной когенерационной линии тыс. руб;

K_{dm} – стоимость доставки с монтажом, тыс. руб.;

$K_{пн}$ – затраты на пусконаладочные работы, тыс. руб.

Таблица 5.4

Капитальные вложения на внедрение технологии K_{oc} , K_{dm} , $K_{пн}$

№	Наименование	Количество	Себестоимость единицы, руб.	Сумма, руб.
1.	Метантенк	2	110 000	220 000
2.	Газгольдер-компрессор	2	12 000	24 000
3.	Датчик давления, счетчик газа, газовые трубы	1	3000	3000
4.	Газовый генератор марки «СПЕЦ» модель SG-6500E	1	45 000	45 000

Окончание таблицы 5.4

5.	Смеситель комбикормов СВШ-1,5	1	99 000	99 000
6.	Расходы на транспортировку	1	10000	10000
7.	Пуско-наладочные затраты	2	3000	6000
	Итого			407000

5.2.3. Расчет эксплуатационных показателей

Согласно источникам [11, 44, 92, 93], по экономическим показателям определяются следующие эксплуатационные показатели:

$$C_{\Sigma} = C_{\text{ТО}} + C_{\text{Р}} \quad (5.5)$$

где: $C_{\text{ТО}}$ – затраты на ремонт и планово-техническое обслуживание, руб.;

$C_{\text{Р}}$ – затраты на реновацию, руб.

При этом затраты на ремонт и техническое обслуживание технологического оборудования определяются по формуле:

$$C_{\text{ТО}} = K_{\text{Т}} \cdot \delta_{\text{ТО}} \quad (5.6)$$

где: $\delta_{\text{ТО}}$ – коэффициент отчислений на ремонт и техническое обслуживание биоэнергетической установки.

Затраты на амортизационные отчисления биоэнергетической установки определяются как:

$$C_{\text{Р}} = K_{\text{Т}} \cdot a \quad (5.7)$$

где: a – коэффициент отчислений на реновацию биоэнергетической установки.

Результаты расчетов сведены в таблицу 5.5.

Таблица 5.5

Эксплуатационные затраты C_{Σ} на обслуживание БЭУ

№	Наименование показателя	Коэффициент, % / стоимость 1 кВт·ч, руб.	Сумма, руб.
1.	Ремонт и ТО	3	12210
2.	Амортизационные отчисления	2,5	10175
3.	Зарплата оператора		30000
	Итого C_{Σ}		52385

Экономический эффект от повышения удоев молока (Ξ_2) от внедрения автономной когенерационной линии составит:

Таблица 5.6

Экономический эффект (Ξ_2) от внедрения автономной
когенерационной линии

№	Наименование хозяйства	М, руб.	К _т руб.	Сэ руб.	Ξ ₂ руб.
1.	К(Ф)Х «Чычымах»	4104000	407 000	52385	3 644 615
2.	К(Ф)Х «Хочо»	1872000	407 000	52385	1412615
3.	К(Ф)Х «Кэскил»	3852000	407 000	52385	3392615

5.3. Текущие энергетические затраты в крестьянско-фермерских хозяйствах Таттинского района

Данные по объемам и стоимостям затрачиваемого энергоносителя предоставлены муниципальным казенным учреждением «Управление сельского хозяйства Таттинского района».

Некоторые виды крестьянско-фермерских хозяйств не подключены к центральной электросети, поэтому электрическую энергию производят с помощью генератора на дизельном топливе. Текущие энергетические затраты, представленные в таблице 5.7, рассчитаны исходя из стоимости 1 л дизельного топлива равной 60 руб.

Также выполнен расчет по затратам на подвод линий электропередач к этим хозяйствам, требуемые финансовые средства отражены в последнем столбце таблицы 5.7.

В расчетах применены данные, заложенные в постановлении ГКЦ – РЭК РС (Я) на 2020 год №749 от 26 декабря 2019 года «Об установлении платы за технологическое присоединение заявителей к электрическим сетям на территории Республики Саха (Якутия) на 2020 год». Для расчета принят самый оптимальный и бюджетный вариант строительства линии электропередач ВЛ-10 кВ, АС до 35 мм на деревянных опорах, количество цепей 1 шт., стоимость строительства 1 км – 1678914 руб. Предусмотрено строительство Реклоузера 6(10) кВ, стоимостью 3 201 532 руб.

Исходя от расстояния расположения выбранных хозяйств, требуемые суммы на подвод линий электропередач показаны на таблице 5.7.

Таблица 5.7

Показатели по объемам затрачиваемого энергоносителя
в крестьянско-фермерских хозяйствах Таттинского района

№	Наименование хозяйства	Вид энергоносителя	Объем дизельного топлива, т	Затраты на топливо, руб/сезон, Т ₁	Финансы на строительство линии электропередач, руб.
1.	К(Ф)Х «Чычымах»	Дизельное топливо	2,6 т	186826	16632844
2.	К(Ф)Х «Хочо»	Дизельное топливо	2,4 т	172440	13275016
3.	К(Ф)Х «Кэскил»	Электроэнергия	1,2 т	86220	16632844

Текущие энергетические затраты крестьянско-фермерских хозяйства определяются по формуле:

$$T = T_1 + T_2 + T_3 \quad (5.8)$$

где: Т₁ – затраты на объем энергоносителя, руб. (таблица 5.7);

Т₂ – стоимость обслуживания оборудования, обеспечивающего электроэнергию, руб.;

Т₃ – затраты на ремонт и планово-техническое обслуживание оборудования, обеспечивающего электроэнергию, руб.

Таблица 5.8

Текущие энергетические затраты крестьянско-фермерских хозяйств Таттинского района

№	Наименование хозяйства	Т ₁ , руб.	Т ₂ , руб.	Т ₃ , руб.	Т, руб.
1.	К(Ф)Х «Чычымах»	186826	30000	3025	219851
2.	К(Ф)Х «Хочо»	172440	30000	3025	205465
3.	К(Ф)Х «Кэскил»	86220	30000	3025	119245

5.4. Экономический эффект от внедрения разработанной автономной когенерационной линии

Годовой экономический эффект от внедрения автономной когенерационной линии для использования при механизации процессов доения и приготовления кормов (5.1) при психрофильном режиме на примере крестьянско-фермерских хозяйств Таттинского района составил.

Таблица 5.9

Годовой экономический эффект от внедрения автономной когенерационной линии при психрофильном режиме

№	Наименование хозяйства	Э ₁ , руб.	Э ₂ , руб.	Э _{гэ} , руб.
	К(Ф)Х «Чычымах»	16172,083	3 644 615	3660787,083
	К(Ф)Х «Хочо»	20896,512	1 412 615	1433511,512
	К(Ф)Х «Кэскил»	27347,174	3 392 615	3419962,174

Годовая экономия:

$$\Gamma_{\text{эк}} = \text{Э}_{\text{гэ}} - \text{С}_{\text{э}} \quad (5.9)$$

Срок окупаемости:

$$\text{С}_{\text{ок}} = \text{К}_{\text{т}} / \Gamma_{\text{эк}} \quad (5.10)$$

Таблица 5.10

Годовая экономия от внедрения автономной когенерационной линии на основе психрофильной накопительной биогазовой технологии крестьянско-фермерских хозяйств Таттинского района

№	Наименование хозяйства	Г _{эк}	С _{ок}
1.	К(Ф)Х «Чычымах»	3608402,1	0,113
2.	К(Ф)Х «Хочо»	1381126,5	0,295
3.	К(Ф)Х «Кэскил»	3367577,2	0,121

Рекомендации по комплектованию оборудования и устройств разработанной системы автономной когенерационной линии для децентрализованных К(Ф)Х:

В результате обоснованной эффективности для механизации процессов доения и подготовки кормов к вскармливанию предлагается внедрить в летние фермы когенерационную технологию, включающую следующий перечень оборудования: 2 метантенка объемами 1 м^3 ; 2 газгольдер-компрессора объемами 50 л; газовый генератор марки SG-6500E (рис. 5.1).

Фермер, в зависимости от своих финансовых средств, имеет возможность наращивать производство биогаза путем увеличения количества метантенков, т.е. применяется модульный способ.

Стоимость 1 кВт электроэнергии по отношению к дизельному топливу будет составлять в среднем 180 руб.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Обоснована необходимость применения предлагаемой технической системы в процессе доения и подготовки кормов в децентрализованных К(Ф)Х Республики Саха (Якутия) и определены основные факторы, влияющие на эффективность процесса когенерационной технологии с 1-го метантенка в сутки при температуре окружающего воздуха $T_{\text{окр}} = 14\text{--}27^{\circ}\text{C}$ и давления в газгольдер-компрессоре 3–4 кПа: объем производимого биогаза $V_6 = 0,85\text{--}2,6 \text{ м}^3$; диаметр жиклера при входе в генератор 40 мм.

2. Теоретически обоснованы и экспериментально проверен процесс когенерации биогаза в психрофильном режиме работы накопительной биоэнергетической установки. Установлено, что использование предлагаемого процесса позволит получить 3,5–9,3 кВт/сут.

3. На основании проведенных исследований разработана и внедрена автономная когенерационная линия в К(Ф)Х с. Тымпы Вилюйского района Республики Саха (Якутия), проведены эксперименты.

4. Экономическая оценка проведенных исследований показала, что срок окупаемости предлагаемой автономной когенерационной линии в психрофильном режиме составил 0,17 лет при капиталовложениях 407000 руб.

5. Разработаны рекомендации по комплектованию оборудования и устройств разработанной системы автономной когенерационной линии для децентрализованных К(Ф)Х при использовании в процессе доения и приготовления кормов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ Р 53790-2010. Нетрадиционные технологии. Энергетика биоотходов. Общие технические требования к биогазовым установкам. – Москва: Стандартинформ, 2011. – 15 с.
2. Адамец, О. Концепция биогазовых станций / О. Адамец. – Прага, 1987. – 9 с.
3. Агропромышленный комплекс Якутской АССР (социально-экономические проблемы) / Е.Д. Конников, Д.И. Сыроватский, Н.Н. Тихонов [и др.]; под ред. Тихонова. – Якутск: Як. кн. изд., 1988. – С. 190.
4. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю.П. Адлер, Е.В. Маркова, Ю.В. Грановский [и др.]. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва: Наука, 1976. – С. 280.
5. Алексеев, Г. Н. Общая теплотехника: учеб. пособ. / Г. Н. Алексеев. – Москва: Высшая школа, 1980. – 552 с.
6. Амерханов, Р. А. Совершенствование методов оценки сельскохозяйственных энергоустановок на основе возобновляемых источников энергии: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.14.08 / Р.А. Амерханов. – Москва, 2004. – С. 40.
7. Анаэробная биологическая обработка сточных вод // Тезисы докладов участников республиканской научно-технической конференции (15–17 ноября 1988 г.). – Кишинев, 1988.
8. Андрюхин, Т. Я. Опыт анаэробного сбраживания птичьего помета при различных температурных режимах / Т. Я. Андрюхин, В. С. Буренков // Тезисы докладов совещания «Биогаз-87». – Рига, 1987.
9. Афтени, И. Н. Использование биогаза для получения электроэнергии в агропромышленных комплексах / И. Н. Афтени // Политехнический молодежный журнал. – 2017. – №9
10. Баадер, В. Биогаз. Теория и практика / В. Баадер, Е. Доне, М. Бренндерфер; пер. с нем. и предисл. М. И. Серебряного. – Москва: Колос, 1982. – 148 с.
11. Баротфи, И. Энергосберегающие технологии и агрегаты на животноводческих фермах / И. Баротфи, П. Рафай; пер. с венг. Э. Шандора, А.И. Залепухина. – Москва: Агропромиздат, 1988. – 288 с.

12. Бесподстилочный навоз и его использование для удобрения / предисл. и пер. с нем. П. Я. Семенова. – Москва: Колос, 1978.
13. Биогаз-85. Проблемы и решения: материалы сов.-фин. симпоз. (4–6 февраля 1985 г.). – Москва; Хельсинки, 1985 – 279 с.
14. Биотехнология – сельскому хозяйству / А. Г. Лобанок, М. В. Залашко, Н. И. Анисимова [и др.]; под ред. А. Г. Лобанка. – Минск: Ураджай, 1988. – 199 с.
15. Биотехнология: учеб. пособ. для вузов / под ред. Н. С. Егорова, В. Д. Самуилова. – В 8 кн. Кн. 1. Проблемы и перспективы/ Н. С. Егоров, А. В. Олескин, В. Д. Самуилов. – М.: Высшая школа, 1987. – 159 с.
16. Большая советская энциклопедия. – 3-е изд. – В 30 т. Т. 6. – Москва: Сов. энциклопедия, 1971. – 244 с.
17. Брагинец, Н. В. Курсовое и дипломное проектирование по механизации животноводства / Н. В. Брагинец, Д. А. Палишкин. – 3-е изд., перераб. и доп. – Москва: Агропромиздат, 1991. – 191 с.
18. Броунштейн, Б. И. Гидродинамика, массо - и теплообмен в дисперсных системах / Б. И. Броунштейн, Г. А. Фишбейн. – Ленинград: Химия, 1977. – 280 с.
19. Вакула, В. Биотехнология: что это такое? / В. Вакула. – Москва: Молодая гвардия, 1989.
20. Васильева, А. С. Методика расчета экономической эффективности технологии анаэробной переработки животноводческих стоков с учетом фактора времени / А. С. Васильева, В. К. Евтеев, Ф. А. Васильев // Климат, экология, сельское хозяйство Евразии: материалы IV междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 70-летию Победы в Великой Отечественной войне (1941–1945 гг.) и 100-летию со дня рождения А.А. Ежевского (27–29 мая 2015 г.). – В 2 ч. Ч. 1. – Иркутск, 2015. – С. 127–131.
21. Васильев, Ф. А. Технология получения и сжигания биогаза в котельных АПК: магистерская дис. / Ф. А. Васильев.
22. Веденев А.Г., Веденева Т.А. Биогазовые технологии в Кыргызской Республике. – Бишкек: Евро, 2006. – 90 с.
23. Виестур, У. Э. Системы ферментации / У. Э. Виестур, А. М. Кузнецов, В. В. Савенков. – Рига: Зинатне, 1986. – 174 с.

24. Виестур, У. Э. Биотехнология: Биологические аспекты, технология, аппаратура / У. Э. Виестур, И. А. Шмите, А. В. Жилевич. – Рига: Зинатне, 1987. – 263 с.

25. Власьевский, В. В. Гидродинамические закономерности потока в установке метанового сбраживания / В. В. Власьевский, В. К. Евтеев, В.Ю. Просвирнин // Тезисы докладов совещания «Биогаз-87». – Рига, 1987. – С. 32.

26. Вознесенский, В. А. Статистические методы планирования эксперимента в технико-экономических исследованиях / В. А. Вознесенский. – Москва: Статистика, 1974. – 192 с.

27. Животноводческие комплексы и охрана окружающей среды / Ю.И. Ворошилов, С.Д. Дурдыбаев, Л.Н. Ербанова [и др.]. – Москва: Агропромиздат, 1991. – 107 с.

28. Гераскин, Н. Н. Планировка и застройка фермерских усадеб / Н. Н. Гераскин. – Москва: Колос, 2000. – 160 с.

29. Гидравлика и гидравлические машины / З. В. Ловкис, В. Е. Бердышев, Э. В. Костюченко, В. В. Дейнега. – Москва: Колос, 1985. – 303 с.

30. Гидродинамика газо-жидкостных смесей в трубах / В. А. Мамаев, Г.Э. Одинария, Н.И. Семенов, А.А. Точигин. – Москва: Недра, 1969. – 208 с.

31. Горохова, Н. К. Состав молока и молочной продукции крупного рогатого скота Республики Саха (Якутия): 06.02.10: автореф. дис. ... канд. с./х. наук / Н. К. Горохова. – Якутск, 2010.

32. Горбунов, А. В. Центровывоз животноводческой продукции в агропромышленном комплексе / А. В. Горбунов. – Москва: Агропромиздат, 1988. – 110 с.

33. Гюнтер, Л. И. Метантенки / Л. И. Гюнтер, Л. Л. Гольдфраб. – Москва: Стройиздат, 1991. – 128 с.

34. Гура, Б. Производство биогаза из жидкого и твердого навоза на сельхозпредприятиях / Б. Гура. – Варшава, 1987. – 110 с.

35. Даянова, Г. И. Анализ эффективности использования земель сельскохозяйственного назначения: материалы из заседания научно-координационного совета ФГБНУ Якутский научно-исследовательский институт сельского хозяйства / Г. И. Даянова. – Якутск, 2015.

36. Докучаев, Н. А. Удаление и использование навоза / Н. А. Докучаев, Л. А. Стома, В. М. Гогин. – Москва: Россельхозиздат, 1976. – 53 с.
37. Долгов, В. С. Гигиена уборки и утилизации навоза / В. С. Долгов. – Москва: Россельхозиздат, 1984. – 175 с.
38. Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта с основами статистической обработки результатов исследований / Б. А. Доспехов. – Москва: Агропромиздат, 1983. – 351 с.
39. Компактная автономная когенерационная установка с микропроцессорной системой управления / П. В. Дикарев, А. М. Макаров, И. В. Волков, В. В. Лазарев // Известия Волгоградского государственного технического университета. – 2016. – №8 (187). – С. 72–74.
40. Дрейпер, Н. Прикладной регрессионный анализ / Н. Дрейпер, Г. Смит; пер. с англ. – 2-е изд., перераб. и доп. – В 2 кн. Кн. 2. – Москва: Финансы и статистика, 1987. – 351 с.
41. Друзьянова, В. П. Параметры, характеризующие энергетическую сторону процесса анаэробного сбраживания в накопительной биоэнергетической установке / В. П. Друзьянова // Проблемы и перспективы подготовки специалистов для промышленно-хозяйственного комплекса: материалы республиканской научно-практической конференции (24 января 2003 г.). – Якутск, 2004. – С. 78–81.
42. Друзьянова, В. П. Утилизация навоза крупного рогатого скота в биогазовых установках / В. П. Друзьянова // Вузовская наука – основа подготовки агроспециалистов: материалы республиканской научно-практической конференции (27–28 марта 2003 г.). – Якутск: Урсун, 2003. – С. 98–99.
43. Друзьянова, В. П. Ресурсосберегающая технология утилизации бесподстилочного навоза крупного рогатого скота в условиях Республики Саха (Якутия): 05.20.01: дис. канд. техн. наук / В. П. Друзьянова. – Иркутск 2004.
44. Друзьянова, В. П. Энергосберегающая технология переработки навоза крупного рогатого скота: 05.20.01: дис. д-ра техн. наук / В. П. Друзьянова. – Улан-Удэ, 2015.

45. Дубровский, В. С. Метановое сбраживание сельскохозяйственных отходов / В. С. Дубровский, У. Э. Виестур. – Рига: Зинатне, 1988. – 204 с.

46. Друзьянова, В. П. Технология производства биогаза из органического сырья в условиях Якутии: монография / В. П. Друзьянова, С. А. Петрова. – Якутск, 2014. – 171 с.

47. Евтеев, В. К. Оценка биогаза как топлива / В. К. Евтеев // Пути повышения эффективности электротепловых процессов в сельскохозяйственном производстве Восточной Сибири: сб. науч. трудов. – Иркутск: ИСХИ, 1989. – С. 36–40.

48. Евтеев, В. К. Имитационное моделирование энергоснабжения при анаэробном сбраживании птичьего помета / В. К. Евтеев, В. Ю. Просвирнин // Пути повышения эффективности электротепловых процессов в сельскохозяйственном производстве Восточной Сибири: сб. науч. трудов. – Иркутск: ИСХИ, 1989. – С. 40–48.

49. Евтеев, В. К. Особенности механизации животноводства в Республике Саха (Якутия) / В. К. Евтеев, В. П. Друзьянова // Матер. регион. науч.-практ. конф. «Актуальные проблемы АПК». – Ч. 3. Механизация с.-х. пр-ва. – Иркутск: ИрГСХА, 2001. – С. 14–15.

50. Егорова, Е. Н. Обоснование параметров метантенка малого объема с перемешивающим устройством для условий Республика Саха (Якутия): 05.20.01: дис. канд. техн. наук / Е. Н. Егорова. – Якутск, 2017

51. Показатели работы биоэнергетической установки / А. Ермоленков, В. Н. Павличенко, Г. Е. Мовсесов, В.К. Маслич // Мех. и эл. с/х-ва. – 1987. – №11 – С. 62–63.

52. Влияние различных способов предобработки навоза КРС на интенсивность его метанового сбраживания / С. С. Зацепин, В. И. Скляр, С. В. Калужный [и др.] // Тезисы докладов совещания «Биогаз-87». – Рига, 1987. – С. 47.

53. Метод оценки составляющих энергетического баланса при культивировании микроорганизмов в лабораторных метантенках / Б. И. Иванов, У. Э. Виестур, Ю. Э. Швинка, Л. А. Бабурин // Изв. АН Латв. ССР – 1984. – №3. – С. 91–95.

54. Калюжный, С. В. Биогаз: проблемы и решения / С. В. Калюжный, А. Е. Пузанков, С. Д. Варфоломеев // Биотехнология. – Т. 21. – М., 1988. – 180 с.
55. Реактор непрерывного действия с иммобилизи-рованными метанообразующими бактериями / С.В. Калюжный, М.А. Столяров, С.Д. Варфоломеев [и др.] // Тезисы докладов республиканской конференции. – Кишинев, 1988. – С. 32–36.
56. Касаткин, А. Г. Основные процессы и аппараты химической технологии / А. Г. Касаткин. – Москва: Химия, 1971. – 784 с.
57. Кафаров, В. В. Основы массопередачи: учебное пособие для вузов / В. В. Кафаров. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва: Высшая школа, 1972. – 496 с.
58. Кенжаев, И. Г. Энергоустановки на базе двигателя Стирлинга / И. Г. Кенжаев, И. А. Турсунбаев, А.Дж. Обозов. – Бишкек: Илим, 2006. – 149 с.
59. Келов К. Разработка научных основ технологии метанового сбраживания отходов животноводства и создание биогазовых установок с использованием солнечной энергии: дис. ... д-ра техн. наук / К. Келов. – Ашхабад, 1990. – 330 с.
60. Кигель, Е. М. Эксплуатация канализационных очистных сооружений / Е. М. Кигель. – Киев: Будивельник, 1978. – 144 с.
61. Ковалев, А. А. Повышение энергетической эффективности биогазовых установок: 05.20.01: автореф. дис. ... канд. техн. наук / А. А. Ковалев. – М., 2014
62. Ковалев, А. А. Технологии и технико-энергетическое обоснование производства биогаза в системах утилизации навоза животноводческих ферм: дис. ... д-ра техн. наук / А. А. Ковалев. – Москва: ВИЭСХ, 1998. – 330 с.
63. Ковалев, А. А. Результаты исследований экспериментальной биогазовой установки / А. А. Ковалев, В. П. Лосяков // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1987. – №11. –С. 60–62.
64. Коваленко, В. П. Механизация обработки бесподстилочного навоза / В. П. Коваленко. – Москва: Колос, 1984. – 159 с.
65. Кобякова, Е. Н. Перспективы применения продуктов биогазовой технологии в агропромышленном секторе РС (Я) / Е. Н. Кобякова, С. С. Ямпиров, В.П. Друзьянова // Вестник Бурятской

государственной сельскохозяйственной академии имени В. Р. Филиппова. – 2014. – № 2 (35). Апрель–июнь. – С. 56–61.

66. Комплекс мероприятий по биологическому обеззараживанию и переработке навоза и птичьего помета в условиях Якутии: методические рекомендации / РАСХН. Сиб. отделение НПО «Якутское». Якут. НИИСХ. – Новосибирск, 2000. – 16 с.

67. Кормановский, Л. П. Опыт ЧСФР по производству биогаза из твердого навоза / Л. П. Кормановский, О. С. Марченко // Механизация животноводческих ферм. Научно-техн. информ. сборник Информагротех. – 1990. – Вып. 4. – С. 1–5.

68. Кузьмин, А. Е. Гидравлическая характеристика доильных установок / А. Е. Кузьмин. – Иркутск: Изд-во Иркут. ун-та, 1997. – 176 с.

69. Лариков, Н. Н. Теплотехника: учеб. для вузов / Н. Н. Лариков. – 3-е изд., перераб. и доп. – Москва: Стройиздат, 1985. – 432 с.

70. Лер, Р. Переработка и использование сельскохозяйственных отходов / Р. Лер; пер. с англ. В. В. Новикова; под ред. и с предисл. А. Н. Шимко. – Москва: Колос, 1979. – 415 с.

71. Лукьяненко, И. И. Перспективные системы утилизации навоза (в хозяйствах Нечерноземья) / И. И. Лукьяненко. – Москва: Россельхозиздат, 1985. – 176 с.

72. Марченко, В. И. Фактор интенсификации процесса анаэробного сбраживания помета / В. И. Марченко // Тезисы докладов республиканской конференции. – Кишинев, 1988.

73. Метантенк: А. с. 1161488 СССР / В. В. Крикис, А. А. Абеле, В. Д. Прокопенко [и др.]. – 1985. – №22. – С. 109.

74. Методические указания по оценке технологического уровня и качества промышленного продукта. РД 50-149-79; утв. Постановлением Госстандарта – 1979-04-17. – Москва: Изд-во стандартов, 1979.

75. Методика расчета выделений (выбросов) загрязняющих веществ в атмосферу от животноводческих комплексов и звероферм (по величинам удельных показателей). Научно-исследовательский институт охраны атмосферного воздуха (НИИ Атмосфера). – Санкт-Петербург: Интеграл, 1999. – 32 с.

76. Мельников, С. В. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов / С. В.

Мельников, В. Р. Алешкин, П. М. Рощин. – 2-е изд., перераб. и доп. – Ленинград: Колос, Ленинградское отд-ие, 1980. – 168 с.

77. Механизация уборки и утилизации навоза / В. М. Новиков, В. В. Игнатова, Ф. Ф. Костанди [и др.]. – Москва: Колос, 1982. – 285 с.

78. Шаробаро, И. Д. Состояние и перспективы развития биогазовых установок: обз. Информация / И. Д. Шаробаро. – Москва: ЦНИИТЭИ, 1986. – 38 с.

79. Мовсесов, Г. Е. Исследования экологической эффективности БЭУ / Г. Е. Мовсесов, В. Н. Павличенко // Тезисы докладов республиканской конференции. – Кишинев, 1988. – С. 67–70.

80. Мишунин, И. Ф. Этюды о биотехнологии / И. Ф. Мишунин, М. И. Шевченко; отв. ред. В. К. Лишко. – Киев: Наук. думка, 1989. – 152 с.

81. Муромцев, Г. Сельскохозяйственная биотехнология: состояние, перспективы развития / Г. Муромцев // Международный сельскохозяйственный журнал. – 1986. – №3 – С. 56–61.

82. Навозохранилище для ферм и комплексов крупного рогатого скота Республики Саха (Якутия): методические рекомендации / РАСХН. Сиб. отд-ие НПО «Якутское». Якут. НИИСХ. – Якутск, 1993. – 12 с.

83. Налимов, В. В. Теория эксперимента / В. В. Налимов. – Москва: Наука, 1971. – 207 с.

84. Некрасов, В. Г. Выбор оптимальной конструкции биогазовых метантенков / В. Г. Некрасов // Мех. и электр. сель. хоз-ва. – 1987. – №11. – С. 57–59.

85. Новые технические разработки сельскохозяйственных биогазовых установок. Technische Neuentwicklungen landwirtschaftlicher Biogasanlagen // Korrespondenz Abwasser. – 1983, №6. – С. 406–414.

86. Обработка и удаление осадков сточных вод / пер. с англ. Т. А. Карюхиной, И. Н. Чурбановой, И. Х. Заена. – В 2 т. Т. 1. Обработка осадков. – М.: Стройиздат, 1985. – 236 с. – Перевод изд.: Sludge Treatment and Disposal. V.1. Sludge Treatment. – Cincinnati, Ohio, 1978.

87. О состоянии агропромышленного комплекса Республики Саха (Якутия) за 1990–1999 годы: статистический сборник / Госкомстат Республики Саха (Якутия). – Якутск, 2000. – 105 с.

88. Операционная технология откорма крупного рогатого скота / сост. Е.А. Машков. – Москва: Росагропромиздат, 1988. – 220 с.

89. Орецов, А. А. Опыт Белгородской области по строительству биогазовых комплексов на отходах животноводства /

А. А. Орецов // Международная биоэнергетика. – URL: http://www.infobio.ru/sites/default/files/Oreckhov_Alexsey_biogas.pdf

90. Остроумов, С. А. Введение в биохимическую экологию / С. А. Остроумов. – Москва: Изд-во МГУ, 1986. – С. 176.

91. Осмонов, О. М. Научно-технические основы создания автономных биоэнергетических установок для крестьянских (фермерских) хозяйств в горных районах Киргизии: 05.20.01: дис. ... д-ра технических наук / О. М. Осмонов. – Москва, 2012

92. Отчет о реализации государственной программы Республики Саха (Якутия). «Развитие сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия на 2020–2024 годы» за 2020 год. – URL: <https://minsel.sakha.gov.ru/uploads/83/5dadf11279589b6f99471745d9ea6434ed0ae8f6.doc>

93. Официальный сайт Государственного собрания (Ил Тумэн) Республики Саха (Якутия). – URL: <https://iltumen.ru/news/19257/print>

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

95. Петров, Н. В. Обеспечение работоспособности бензиновых двигателей внутреннего сгорания сельскохозяйственной техники при переводе на биогаз корректированием регулировочных параметров двигателя: дис. канд. техн. наук / Н. В. Петров. – Улан-Удэ, 2013. – 194 с.

96. Попов, Н. Т. Состояние земледелия Якутии и пути выхода из кризиса / Н. Т. Попов // Аграрный сектор Якутии и пути выхода из кризиса. – Москва: Изд-во МСХА, 1998. – С. 72–74.

97. Просвирнин, В. Ю. К описанию процесса анаэробного сбраживания в динамическом режиме / В. Ю. Просвирнин, В. К. Евтеев // Механизация и электрификация с.-х. производства Восточной Сибири: сб. науч. трудов. – Иркутск: ИСХИ, 1996. – С. 68–76.

98. Просвирнин, В. Ю. Ресурсосберегающая природоохранная технология утилизации птичьего помета: автореф. дис. ... канд. техн. наук / В. Ю. Просвирнин. – Иркутск, 1991. – 194 с.

99. Проспект с/х кооператива «Дожа». – Венгрия, 1984. – 10 с.

100. Пузанков, А. Г. Обеззараживание стоков животноводческих комплексов / А. Г. Пузанков, Г. А. Мхитарян, И. Д. Гришаев. – Москва: Агропромиздат, 1986. – 175 с.

101. Районирование и мелиорация мерзлотных почв Якутии. – Новосибирск: Наука, 1978. – 176 с.

102. Ридер, Г. Двигатели Стирлинга / Г. Ридер, Ч. Хупер; пер. с англ. – Москва: Мир, 1986. – 464 с.

103. Ресурсосберегающая технология производства экологически чистых органических удобрений / В. П. Друзьянова, С. А. Петрова, М. К. Охлопкова, Ю. А. Сергеев // Дуна. – 2018. – Т. 93. №4. – С. 398–403.

104. Российская Академия наук. Сибирское отделение. Якутский институт биологии. Отчет к договору на проведение работы (I часть). «Разработка технологии получения биогаза в сельских районах Республики Саха» (1995–1996 год).

105. Савватеева, И. А. Когенерация биогаза в электрическую энергию для организации летних ферм в Якутии / И. А. Савватеева, В. П. Друзьянова // Транспортные системы: безопасность, новые технологии, экология: сборник трудов II международной научно-практической конференции. – 2020. – С. 47–51.

106. Савватеева, И. А. Электроэнергия из биогаза / И. А. Савватеева, В. П. Друзьянова Актуальные вопросы аграрной науки. – 2020. – №34. – С. 27–37.

107. Электроэнергия из биогаза / И. А. Савватеева, И. Ю. Александров, В. П. Друзьянова [и др.] // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2020. – №5 (187). – С. 139–145.

108. Сельское хозяйство Республики Саха (Якутия): стат. справ. / Госкомстат Республики Саха (Якутия). – Якутск, 2000. – 27 с.

109. Сидоренко, О. Д. Биологические технологии утилизации отходов животноводства / О. Д. Сидоренко, Е. В. Черданцев. – Москва: Изд-во МСХА, 2001. – 75 с.

110. Система ведения агропромышленного производства Республики Саха (Якутия) до 2005 г. / РАСХН. Сиб. отд-ние. Якут. НИИСХ. – Новосибирск, 1999. – 304 с.

111. Система ведения сельского хозяйства в Республике Саха (Якутия) на период 2016–2020 годы: методическое пособие / Якутский НИИСХ. – Якутск, 2016.

112. Состав и питательность кормов (союзные республики, экономические районы РСФСР): справочник / И. С. Шумилин, Г. П. Державина, А. М. Артюшин [и др.]; под ред. И. С. Шумилина. – Москва: Агропромиздат, 1986. – 303 с.

113. Справочник по ресурсам возобновляемых источников энергии России и местным видам топлива: показатели по территориям. – Москва: «ИАЦ Энергия», 2007. – 272 с.

114. Статистическое моделирование и прогнозирование: учеб. пособие / Г. М. Гамбаров, Н. М. Журавель, Ю. Г. Королев [и др.]; под ред. А. Н. Гранберга. – Москва: Финансы и статистика, 1990. – 383 с.

115. Становление и зрелость сельскохозяйственной науки Якутии и пути её развития в условиях рынка: сб. материалов науч.-практ. конф., посвящ. 60-летию организации в Якутии гос. селекц. и респ. животновод. опыт. Станции (Якутск, 2 нояб. 1999 г.) / РАСХН. Сиб. отд-ние. Якут. НИИСХ. – Новосибирск, 2000. – С. 269–275.

116. Стратегия и тактика исследований в земледелии на основе теории планирования эксперимента: метод. рекомендации / РАСХН. Сиб. отд-ие; подгот. А. Я. Жежер, А. М. Криков, А. Н. Власенко, О. Д. Сорокин. – Новосибирск, 1999. – 110 с.

117. Методика расчета энергетических затрат на животноводческих комплексах и фермах крупного рогатого скота – институт «Гипронисельхоз», утверждена Подотделом проектных организаций Госагропрома СССР 20 февраля 1987 г. / А. А. Старков, С. С. Шевченко, Г. И. Архипов [и др.].

118. Степанова, В. Э. Возобновляемые источники энергии на сельскохозяйственных предприятиях / В. Э. Степанова. – Москва: Агропромиздат, 1989. – 112 с.

119. Тархаев, П. О. Организационно-технологические и технические основы механизации процессов приготовления и раздачи кормов на фермах крупного рогатого скота Якутии: автореф. дис. ... канд. техн. наук / П. О. Тархаев. – Новосибирск: РПО СО РАСХН, 1983. – 32 с.

120. Российская книжная палата: сайт. – URL: iknet.com.ua/ru/articles/useful-to-know/biogas-production

121. Теплотехника: учеб. для вузов / А. П. Баскаков, Б. В. Берг, О. К. Витт [и др.]; под ред. А. П. Баскакова. – 2-е изд., перераб. – Москва: Энергоатомиздат, 1991. – 224 с.

122. Теплотехника: учеб. для вузов / В. Н. Луканин, М. Г. Шатров, Г. М. Камфер [и др.]; под ред. В. Н. Луканина. – 3-е изд., испр. – Москва: Высш. шк., 2002. – 671 с.

123. Теплоэнергетика и теплотехника: общие вопросы: справочник / под общ. ред. чл.-корр. РАН А. В. Клименко и проф. В. М. Зорина. – 3-е изд., перераб. – Москва: Изд-во МЭИ, 1999. – 528 с.

124. Теоретические основы теплотехники. Теплотехнический эксперимент: Справочник / под общ. ред. чл. - корр. РАН А. В. Клименко и проф. В. М. Зорина. – 3-е изд., перераб. и доп. – Москва: Изд-во МЭИ, 2001. – 564 с.

125. Третьякова, Е. И. Разработка системы электроснабжения «Межениновской птицефабрики»: магистерская дис. / Е. И. Третьякова.

126. Интенсификация процесса анаэробной биологической очистки животноводческих сточных вод / Д. В. Унгурияну, И. Г. Ионец, М. А. Санду, Р. М. Лозон // Тезисы докладов республиканской конференции. – Кишинев, 1988. – С. 40–44.

127. К вопросу анаэробной биологической очистки сточных вод свиноводческих комплексов / Д. В. Унгурияну, И. Г. Ионец, А. Г. Чеботарева, А. Г. Фуртунэ // Тезисы докладов республиканской конференции. – Кишинев, 1988. – С. 44–48.

128. Численные методы / Н. И. Данилина, Н. С. Дубровская, О. П. Кваша [и др.]. – Москва: Высшая школа, 1976. – 368 с.

129. Определение параметров и режимов работы биогазовой установки для крестьянских (фермерских) хозяйств / Ю. А. Шекихачев, А. Г. Фиापшев, О. Х. Кильчукова, М. М. Хамоков // Технология колесных и гусеничных машин. – 2014. – № 4. – С. 16–24.
130. Шрамков, В. М. Купите биогазовую установку / В. М. Шрамков // Энергия: экономия, техника, экология. – 1987. – №8. – С. 47–48.
131. Федеральный закон от 10 января 2002г. № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды».
132. Фёрстер Э. Методы корреляционного и регрессионного анализа: руководство для экономистов / Э. Фёрстер, Б. Рёнц; пер. с нем. и предисл. В.М. Ивановой. – Москва: Финансы и статистика, 1983. – 302 с.
133. Физические величины: справочник / А. П. Бабичев, Н. А. Бабушкина, А. М. Братковский [и др.]; под ред. И. С. Григорьева, Е.З. Мейлихова. – Москва: Энергоатомиздат, 1991. – С. 214.
134. Физическая энциклопедия / гл. ред. А. М. Прохоров. ред. кол. Д. М. Алексеев, А. М. Балдин, А. М. Бонч-Бруевич [и др.]. – Т. I. Ааронова – Бома эффект – Длинные линии. – Москва: Сов. Энциклопедия, 1988. – С. 436.
135. Фрумкин, Б. Е. Развитие биотехнологии для сельского хозяйства и сотрудничества стран-членов СЭВ в этой области / Б. Е. Фрумкин // Достиж. персп. – 1984. – №35. – С. 12–15.
136. Экологическая биотехнология / пер. с англ.; под ред. К. Ф. Форстера, Д.А. Дж. Вейза. – Л.: Химия, 1990. – Пер. изд.: Великобритания, 1987. – 384 с.
137. Янко, В. Г. Обработка сточных вод и осадка в метантенках / В. Г. Янко, Ю. Г. Янко. – Киев: Будивельник, 1978. – 120 с.
138. Colleran E. Gnubal Anaerobic Sludge: G Lettinge et al. (eds) / 1988 Pudros, Wageningen (the Netherlands).
139. Comerford J.M., Picken D.J. Free – convective mixing within an anaerobic digester // Biomass. 1985. Vol. 6. Pp. 235–245.

ПРИЛОЖЕНИЕ

САХА РЕСПУБЛИКАТЫН
БҮЛҮҮ УЛУУХУН (ОРОЙУОНУН)
«БАСТАКЫ ТОҔУС НЭҢИЛИЭГЭ»
МУНИЦИПАЛЬНАЙ ТЭРЛИИТИН
ДЬАҤАЛТАТА



АДМИНИСТРАЦИЯ
МУНИЦИПАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ПЕРВЫЙ ТОГУССКИЙ НАСЛЕГ»
«ВИЛОЙСКОГО УЛУСА (РАЙОНА)»
РЕСПУБЛИКА САХА (ЯКУТИЯ)

678216, Бүлүү улууһа Тыымпы с.
Коммунар, уулусса 8/1
Тел/факс: 8(41132) 33-1-33, 33-2-33
E-mail: tyumpy@mail.ru

678216 с. Тымпы Вилюйского улуса
ул. Коммунаров, 8/1
Тел/факс: 8(41132) 33-1-33, 33-2-33
E-mail: tyumpy@mail.ru

АКТ-СПРАВКА о внедрении результатов исследований

По итогам результатов теоретических и экспериментальных исследований старшего преподавателя ФГАОУ ВО Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова Савватеевой Ирины Аркадьевны, сооружена и запущена пилотная когенерационная линия в фермерском хозяйстве Егорова А.В. с. Тымпы Вилюйского района РС(Я).

Положительные результаты по разработке технологии когенерации биогаза вносит значительный вклад в решении энергетических проблем в отдаленных сельских районах РС(Я). Данная технология может быть рекомендована для широкого внедрения в условиях децентрализованного электроснабжения.

Глава администрации
МО «Первый ТогуССкий наслеґ»



А.А. Михайлов

Научное электронное издание

Савватеева Ирина Аркадьевна
Алексеева Анастасия Валериевна
Друзьянова Варвара Петровна

**ГЕНЕРАТОРНОЕ ТОПЛИВО
С АЛЬТЕРНАТИВНОГО ИСТОЧНИКА**

Монография

Чебоксары, 2025 г.

Компьютерная верстка *Е. В. Кузнецова*

Подписано к использованию 20.06.2025 г.

Объем 3,96 Мб. Тираж 20 экз.

Уч. изд. л. 4.33.

Издательский дом «Среда»
428023, Чебоксары, Гражданская, 75, офис 12
+7 (8352) 655-731
info@phsreda.com
<https://phsreda.com>