

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

На правах рукописи



ФАХРЕЕВ НАИЛЬ НАСИХОВИЧ

РАЗРАБОТКА И ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ГАЗИФИКАЦИОННОЙ
УСТАНОВКИ ДЛЯ УТИЛИЗАЦИИ ОТХОДОВ ПТИЦЕВОДСТВА

4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса

Диссертация на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:
доктор технических наук,
профессор, профессор РАН
Зиганшин Булат Гусманович

Казань – 2023

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
ГЛАВА 1 АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ВОПРОСА.....	12
1.1 Перспектива развития малых птицеводческих предприятий в России и за рубежом.....	12
1.2 Исследование состояния полигонов размещения отходов птицеводства..	17
1.3 Анализ основных технологических процессов при выращивании птицы	25
1.4 Анализ газификационных установок.....	30
1.5 Аналитические исследования в области газификации.....	37
1.6 Численные подходы к моделированию газификационных установок.....	41
ГЛАВА 2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И ОБОСНОВАНИЕ РЕЖИМОВ ЭКСПЛУАТАЦИИ РАЗРАБАТЫВАЕМОЙ ГАЗИФИКАЦИОННОЙ УСТАНОВКИ.....	48
2.1 Модель расчёта количества образующегося отхода (помёта) для обоснования выбора характеристик газификационной установки.....	48
2.1.1 Обоснование конструкции газификационной установки для действующего птицеводческого предприятия.....	50
2.1.2 Методика расчёта.....	51
2.2 Моделирование газификации на основе химически равновесного состояния реагирующей системы	55
2.3 Термодинамический расчёт равновесия процесса газификации.....	61
2.4 Обоснование конструктивных параметров газификационной установки с новым газифицирующим агентом.....	63
2.5 Перспективные решения и математическое обоснование режимных параметров газификационной установки по газификации углеродсодержащих отходов птицеводства.....	68
2.6 Обоснование конструкции форсунки для газификационной установки...	72
2.7 Результаты численных исследований.....	75
ГЛАВА 3 ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	81
3.1 Программа экспериментальных исследований.....	81
3.2 Экспериментальное оборудование и приборы	82
3.3 Методика лабораторных исследований.....	84
3.3.1 Определение влажности ППМ и золы.....	84
3.3.2 Определение состава золы.....	85
3.4 Методика лабораторно-производственных испытаний.....	86
3.4.1 Исследование газификационной установки с паровым газифицирующим агентом.....	86
3.4.2 Порядок проведения испытаний на газификационной установке.....	87

3.5 Эксплуатационная схема газификационной установки на птицеводческом предприятии.....	88
ГЛАВА 4 РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОЦЕССОВ УТИЛИЗАЦИИ ПТИЦЕВОДЧЕСКИХ ОРГАНИЧЕСКИХ ОТХОДОВ В СИНТЕЗ-ГАЗ.....	92
4.1 Обоснование режима работы на контролируемых уравнениях реакции...	92
4.2 Результаты экспериментов по определению необходимого сечения форсунки.....	96
4.3 Результаты исследований влажности.....	98
4.4 Результаты исследований на воспламенение синтез-газа.....	100
4.5 Результаты экспериментальных исследований образца газификационной установки на отходах действующего птицеводческого предприятия.....	104
4.6 Анализ использования золы в сельскохозяйственных целях.....	108
4.7 Анализ работы газификационной установки при интеграции в технологическую линию переработки отходов.....	112
4.7.1 Расчёт количества вырабатываемого синтез-газа разработанной газификационной установкой для нужд птицеводческого предприятия.....	112
4.7.2 Расчёт количества секций газификационной установки.....	113
4.7.3 Режимная карта работы газификационной установки на реальном птицеводческом предприятии.....	117
4.7.4 Выбор вспомогательного оборудования.....	119
4.7.5 Обоснование мобильности разработанной газификационной установки.....	119
ГЛАВА 5 ЭКОНОМИЧЕСКАЯ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВНЕДРЕНИЯ ГАЗИФИКАЦИОННОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ УТИЛИЗАЦИИ ОТХОДОВ ПТИЦЕВОДСТВА.....	122
5.1 Расчёт предотвращенного экологического ущерба при длительном хранении помёта.....	126
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	128
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ.....	130
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	131
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	146
Приложение 1 Патент на изобретение «Установка для утилизации углеродсодержащих отходов».....	147
Приложение 2 Диплом победителя республиканского конкурса «50 лучших инновационных идей для Республики Татарстан.....	149
Приложение 3 Свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ «Программное обеспечение обработки массива данных для оценки экологической обстановки на полигонах органических отходов»....	150

Приложение 4 Программа расчёта суточного и годового образования помёта птицы на языке программирования С#.....	154
Приложение 5 Схемы расположения основного энергопотребляющего оборудования на птицеводческом предприятии.....	155
Приложение 6 Основное оборудование в системе жизнеобеспечения птичника.....	156
Приложение 7 Алгоритм расчёта автоматизированного образования помёта.....	157
Приложение 8 Результаты расчётов продуктов газификации.....	158
Приложение 9 Программа расчета выхода синтез-газа на языке программирования MatLab.....	164
Приложение 10 Технические характеристики основного оборудования и приборов.....	167
Приложение 11 Графики результатов расчёта.....	172
Приложение 12 Акт внедрения газификационной установки на предприятии.....	174
Приложение 13 Справка об использовании результатов исследований в учебном процессе.....	175

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы. Птицеводство является одной из важнейших и выгодных отраслей животноводства Российской Федерации, поскольку производство птицеводческой продукции отличается коротким циклом воспроизводства и быстрой окупаемостью вложенных средств. Однако при разведении птицы возникает проблема обеспечения экологической безопасности при утилизации отходов птицеводческих предприятий. В настоящее время помёт птицы при предварительной подготовке допускается использовать на сельскохозяйственных угодьях в качестве органо-минерального удобрения. Вместе с тем отходы птицеводства являются источником вторичных ресурсов, которые могут быть использованы для получения энергии. Для этих целей используют газификационные установки, работающие на различном сырье, а зола пригодна для использования в качестве минерального удобрения с высоким содержанием фосфора и калия.

Данная диссертационная работа соответствует основным положениям государственных программ:

1. Национальные цели и стратегические задачи развития Российской Федерации на период до 2024 года по направлению «Экология». Указом утверждены задачи, которые необходимо реализовать, в том числе по направлению «Экология», до 2024 года предприятиям, оказывающим негативное воздействие, что требует применения системы экологического регулирования, основанной на использовании наилучших доступных технологий при утилизации и переработке отходов и снижения выбросов в атмосферу.

2. Основы государственной политики в области экологического развития Российской Федерации на период до 2030 года. Документ предусматривает предупреждение и сокращение образования отходов, их вовлечение в повторный хозяйственный оборот посредством максимально полного использования исходного сырья и материалов, использования образовавшихся отходов путём переработки, регенерации, рекуперации и рециклинга.

3. Федеральный закон № 89-ФЗ «Об отходах производства и потребления» (в редакции от 28.11.2015). Юридические лица и индивидуальные предприниматели при эксплуатации объектов, связанных с обращением с отходами, обязаны внедрять малоотходные технологии на основе новейших научно-технических достижений, а также использовать наилучшие доступные технологии.

4. Часть исследований выполнена в рамках реализации гранта правительства Республики Татарстан «Алгарыш» в 2017 году по категории «Проектные группы» по направлению «Техносферная безопасность».

Степень разработанности темы. Методам проектирования технологий утилизации навоза и помёта с практическими рекомендациями по организации и проведению производственного экологического контроля систем переработки и использования навоза (помёта) посвящены работы Брюханова А.Ю. [7, 8].

Актуальным вопросам изучения использования отходов агропромышленного комплекса посвящены работы как российских, так и зарубежных специалистов. Как отмечает Лысенко В.П. в своих трудах, посвящённых технологиям переработки отходов птицеводства, динамичное развитие промышленного птицеводства ставит задачи надёжной защиты окружающей природной среды от загрязнения помётом, так как это может привести к экологической катастрофе не только в зоне влияния птицефабрики, но и соседних территорий, возникновению инфекционных болезней у людей, животных и птицы [41, 42]. Важные аспекты эколого-экономического подхода к проблемам утилизации отходов птицеводства рассматриваются также в исследованиях Щеткина Б.Н. [98].

Результаты, полученные на основе практических исследований, и потенциальные проблемы, связанные с газификацией в реакторе с псевдооживленным слоем для производства тепла и электроэнергии, представлены в работах Балтикова Д.Ф., Katsaros G., Silva J.D. и др. [11, 116, 125, 127]. Фактические материалы позволили сделать вывод, что большинство газификационных установок работают с использованием сложного по составу

газифицирующего агента – воздуха, что в результате приводит к ухудшению качества синтезируемого газа по экологическим и энергетическим показателям.

Наиболее перспективным является направление с использованием альтернативного вида газифицирующего агента, с помощью которого имеется возможность получения высококалорийного и более экологически чистого синтез-газа. Вопросы разработки газификационных установок с использованием отходов птицеводства с газифицирующим агентом (пар) по энергетическим и экологическим показателям не полностью раскрыты. Поэтому разработка газификационной установки с использованием отходов птицеводства с альтернативным видом газифицирующего агента (пара), направленного на обеспечение птицеводческих предприятий автономными источниками энергоснабжения и одновременным решением экологических проблем утилизации ежесуточно образующихся отходов является актуальной задачей.

Цель работы: разработка конструкции и технологических процессов газификационной установки, обеспечивающей снижение затрат на энергообеспечение птицеводческих предприятий.

Задачи исследования:

1. Анализ известных технологий и устройств для газификации помёта и развитие классификации газификационных установок.
2. Разработка конструкторско-технологической схемы и изготовление экспериментальной газификационной установки для птицеводческих предприятий.
3. Разработка математической модели процесса газификации, описывающей поддерживаемые реакции в объёме газификационной камеры с наилучшими экологическими и энергетическими показателями.
4. Проведение теоретических и экспериментальных исследований рабочего процесса газификационной установки в лабораторных и производственных условиях и определение её конструкторско-технологических параметров.
5. Выполнение оценки экономической и экологической эффективности разработанной газификационной установки.

Объект исследования. Установка для газификации углеродсодержащих отходов птицеводства.

Предмет исследования. Закономерности влияния газифицирующих агентов на состав синтез-газа.

Научная новизна:

1. Обоснованы закономерности режима работы газификационной установки из условий повышения экологической безопасности и энергетической эффективности.

2. Разработана математическая модель процесса газификации подстилочного помёта птицы с учётом воздействия на него альтернативного газифицирующего агента – водяного пара.

Теоретическая и практическая значимость работы

1. Предложено техническое решение, позволившее существенно повысить качество синтез-газа и снизить энергетические затраты на выпуск продукции.

2. Получены теоретические и экспериментальные закономерности, имеющие практическую значимость для предприятий топливно-энергетической отрасли и проектных организаций при создании новых газификационных установок.

3. Получены математические расчёты, позволяющие обосновать эффективные исходные параметры теплоносителя и агента в газификационных установках.

4. Разработана установка газификации углеродсодержащих отходов птицеводства на основе паровой газификации.

5. Разработана технологическая схема выработки синтез-газа с обоснованием объёмов и количества секций газификационной установки для птицеводческого предприятия.

6. Разработана методика проведения экспериментальных исследований процесса газификации с использованием альтернативного газифицирующего агента.

Новизна подтверждена патентом № 2754911 (Приложение 1).

Патент получил высокую оценку на конкурсе 50 лучших инновационных идей для Республики Татарстан в номинации «Патент года» (Приложение 2).

Полученные результаты исследования внедрены в крестьянско (фермерском) хозяйстве г. Тетюши Тетюшского муниципального района Республики Татарстан, в учебный процесс по дисциплинам «Экологический аудит в энергетике и промышленности» и «Техногенная безопасность» ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет».

Методология и методы исследований. В теоретических исследованиях применены методы математического моделирования, использованы основы метода химически равновесного состояния реагирующей системы с применением ЭВМ. Экспериментальные исследования проводились на основе ГОСТов и регрессионного анализа полученных данных с использованием программ EXCEL и MatLab, лабораторные анализы выполнялись в аккредитованной лаборатории с применением ГОСТов и ПНДФ.

Положения, выносимые на защиту:

1. Технологическая схема газификационной установки для получения синтез-газа из отходов птицеводства.

2. Результаты теоретических расчётов по обоснованию использования альтернативного газифицирующего агента для газификационной установки с использованием птицеводческих отходов.

3. Результаты экспериментальных исследований по обоснованию использования альтернативного газифицирующего агента в газификационной установке с использованием птицеводческих отходов.

4. Результаты технико-экономической оценки эффективности применения газификационной установки на новом газифицирующем агенте для птицеводства.

Апробация работы. Основные научные положения диссертационной работы доложены, обсуждены и одобрены на XV Международной научно-практической конференции «Наука – развитие сельского хозяйства, агропромышленного комплекса, экологии и энергетики» (SDAAI2022) (Уфа, 2022); XI-й Международной научно-технической конференции

«Инновационные машиностроительные технологии, оборудование и материалы – 2022» (Казань, 2022); III Международной научно-практической конференции «Вопросы современной науки: проблемы, тенденции и перспективы» (Новокузнецк, 2019); II Международной научно-практической конференции «Перспективы развития механизации, электрификации и автоматизации сельскохозяйственного производства» (Чебоксары, 2020); International conference on efficient production and processing, ICEPP 2020 (Prague, 2020).

Публикации. По материалам диссертации автором опубликовано 20 печатных работ, из них 5 статей в рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки России, 2 статьи в рецензируемых журналах наукометрической базы данных Scopus и Web of Science, 10 работ – в других изданиях и материалах конференций, а также 1 патент на изобретение, 2 свидетельства о регистрации программы для ЭВМ.

Личный вклад автора. Вклад автора заключается в разработке газификационной установки, обеспечивающей бесперебойное энергоснабжение технологических процессов и утилизацию отходов птицеводства, теоретически и экспериментально обоснованы эффективные газифицирующие агенты и влияние балластных компонентов на качество синтез-газа. Приведён расчёт технико-экономической эффективности применения газификационной установки с электрогенератором на птицеводческой ферме. Все исследования выполнены лично автором.

Соответствие диссертации паспорту научной специальности. Результаты исследований, выносимые на защиту, относятся к следующим пунктам паспорта специальности 4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса: п.7 «Методы и средства изыскания, исследования альтернативных видов энергии, технические средства для их применения», п. 10 «Методы, технологии и технические средства обеспечения экологической безопасности, переработки и утилизации отходов сельскохозяйственного производства, эколого-реабилитационные процессы и технологии».

Достоверность результатов исследований подтверждается применением

адекватной математической модели, экспериментальными исследованиями в лабораторных условиях. Сходимость результатов теоретических и экспериментальных исследований при доверительном интервале 5 % достигала более 90 %.

Объём и структура диссертационной работы. Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы и приложений. Диссертационная работа изложена на 177 страницах машинописного текста и включает 50 рисунков, 27 таблиц и 13 приложений. Библиографический список включает 133 наименования цитируемых работ российских и зарубежных авторов.

ГЛАВА 1 АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ВОПРОСА

1.1 Перспектива развития малых птицеводческих предприятий в России и за рубежом

В декабре 2017 года Генеральная Ассамблея Организации Объединённых Наций провозгласила 2019 – 2028 годы Десятилетием семейных фермерских хозяйств ООН и рекомендовала всем государствам разрабатывать, совершенствовать и осуществлять государственную политику в сфере развития семейных фермерских хозяйств.

Для анализа были приняты критерии отнесения к небольшим коммерческим предприятиям с поголовьем птицы в диапазоне от 1500 до 40 000 голов птицы за цикл. На основе базы данных ряда стран был определён масштаб развития малых птицеводческих предприятий.

В базе данных производителей SARA (Южноафриканская ассоциация птицеводов) содержатся записи о 953 мелких птицеводческих хозяйствах и более 300 зарегистрированных предприятиях [125].

По Европейскому союзу данные о наличии малых предприятий значительно выше и в суммарном подсчёте составляют более 11 000 предприятий [113].

Согласно отчёту Федеральной службы государственной статистики, поголовье птиц в хозяйствах всех категорий в РФ за последние десять лет выросло с 473 252,921 до 519 778,5 тыс. голов это соответствует приросту поголовья на 8,95 %. Развитие птицеводства в РФ сопровождается расширением сети средних и крупных птицефабрик в близости к населённым пунктам и, что является объектом научных интересов, преследуемых автором [28, 76].

В структуре распределения птицеводческих предприятий в РФ (рисунок 1.1) наиболее крупными являются сельскохозяйственные организации, частные подворья, а также крестьянские (фермерские) хозяйства и индивидуальные предприниматели.

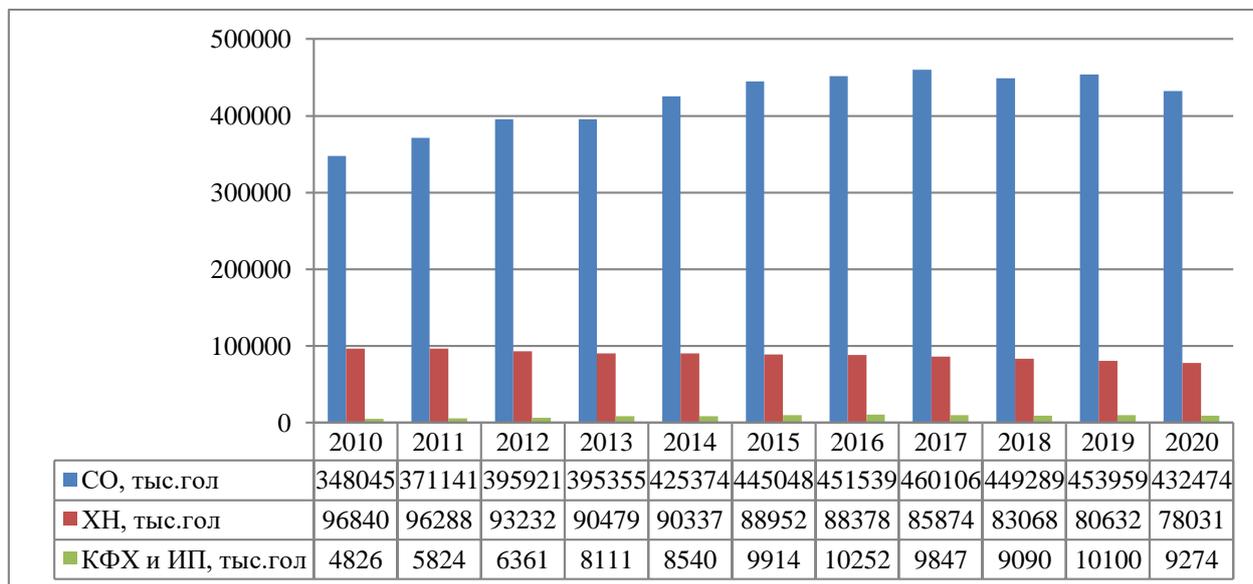


Рисунок 1.1 – Структура распределения птицеводческих предприятий в Российской Федерации: СО – сельскохозяйственные организации; ХН – хозяйства населения, крестьянские (фермерские) хозяйства и индивидуальные предприниматели

Из данной структуры особо выделяются такие крупные птицеводческие предприятия (таблица 1.1) со среднегодовым производством по яйцам до 1 млрд. штук и более 600 тонн мяса птицы, как «Роскар» и Петелинская птицефабрики [56, 78].

Таблица 1.1 – Крупные птицеводческие предприятия Российской Федерации

Наименование	Регион	Производительность
1	2	3
Птицефабрика «Роскар»	Ленинградская область	1 млрд. шт / год, 20 тонн мяса птицы
Птицефабрика «Северная»		250 тонн мяса птицы в год
Птицефабрика «Синявинская»		1,3 млрд. штук / год
Птицефабрика «Ударник»	Ленинградская область	99 млн. шт.
Челябинская птицефабрика	Челябинская область	210 тонн мяса
Межениновская птицефабрика	Томская область	1000 тонн колбасно-деликатесной продукции
Птицефабрика «Рефтинская»	Свердловская область	65,1 млн. тонн
Птицефабрика «Свердловская»		80 тыс. тонн мяса в год
Ярославская птицефабрика	Ярославская область	530 тонн мяса птицы в год
Птицефабрика «Оренбургская»	Оренбургская область	220 млн. шт.
Петелинская птицефабрика	Московская область	615 тонн мяса птицы в год
Птицефабрика «Ново-Петровская»		82 тонн мяса птицы в год
Птицефабрика «Пышминская»	Тюменская область	305 млн. шт. в год
Курская птицефабрика	Курская область	27,3 млн. штук в год; 106,1 тонн мяса птицы в год

В результате анализа Государственного доклада «О состоянии природных ресурсов и об охране окружающей среды Республики Татарстан в 2020 году» можно сделать вывод, что самыми крупными предприятиями в Республике Татарстан по поголовью птицы по муниципальным образованиям являются Холдинг «Агросила» и Холдинг «Ак барс» (таблица 1.2).

Таблица 1.2 – Количество голов птицы по муниципальным образованиям в Республике Татарстан

Муниципальный район	Количество птицы, голов
Азнакаевский	82200
Аксубаевский	4050
Актанышский	1577880
Альметьевский	10512
Апастовский	1600
Арский	15800
Бугульминский	19900
Буинский	12600
Верхнеуслонский	296
Высокогорский	54875
Дрожжановский	1100
Елабужский	49500
Заинский	72800
Зеленодольский	1281243
Кукморский	167600
Лаишевский	4161978
Лениногорский	318683
Мамадышский	22300
Менделеевский	31817
Мензелинский	95000
Муслимовский	734420
Нижнекамский	173024
Нурлатский	1050
Пестречинский	1661660
Рыбно-Слободский	4500
Сабинский	3300
Сармановский	1050
Спасский	2
Тетюшский	6400
Тукаевский	5089143
Черемшанский	30
Чистопольский	67051
Ютазинский	3000
Итого по Республике Татарстан	15 726 364

В связи с динамичным развитием отечественного агропромышленного сектора и реализацией программы импортозамещения увеличивается объём отходов в данном секторе экономики, что подтверждает необходимость акцентировать внимание на научно-технические достижения в переработке отходов для птицеводческой отрасли [77, 78]. К отходам птицеводства относятся отходы жизнедеятельности сельскохозяйственной птицы, а именно помет. Помет на птицеводческих предприятиях образуется беспостилочный при выращивании птицы в клетках и подстилочный при выращивании напольно. Внедрение перспективных инженерных решений по термоутилизации отходов призвано способствовать решению проблем рационального природопользования в регионах с учётом энергетических аспектов использования отходов птицеводства в качестве альтернативного топлива с одновременной ликвидацией помётохранилищ.

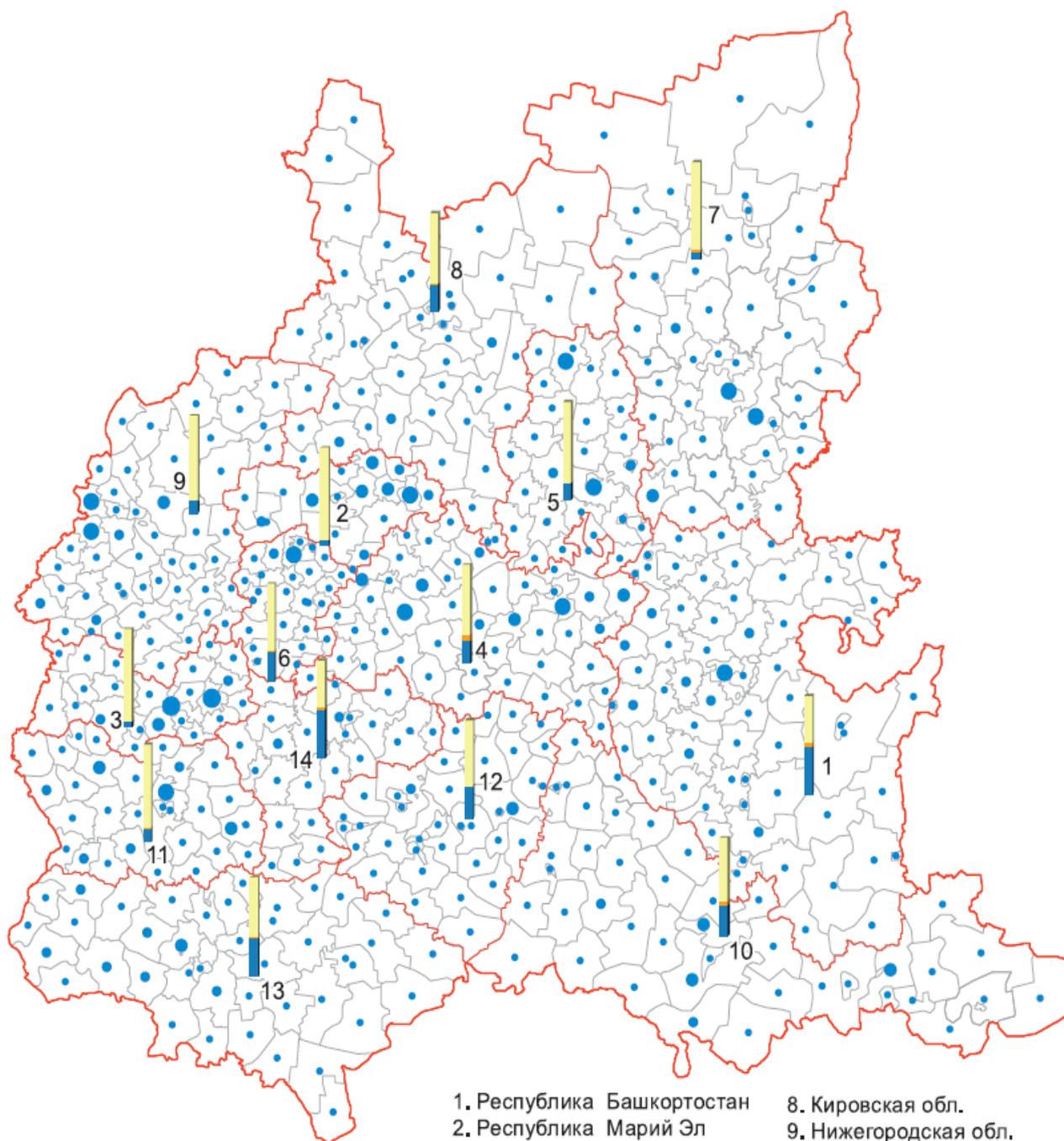
Итоги сельскохозяйственной переписи дают понимание о количественной характеристике предприятий по хозяйствам всех категорий в Приволжском федеральном округе (ПФО) (рисунок 1.2), являющихся потенциальными объектами внедрения перспективных инженерных решений [37].

В числе предприятий по разведению сельскохозяйственной птицы в Республике Татарстан имеются семейные фермерские хозяйства, которые вносят многоплановый вклад в обеспечение устойчивого развития региона.

По результатам анализа полученных на основании данной переписи выясняется, что в 32 районах Республики поголовье птицы не достигает и 300 тыс. голов, основными производителями из которых являются крестьянские (фермерские) хозяйства и частные подворья.

По состоянию на 02.11.2021 в Федеральной налоговой службе (ФНС) по Республике Татарстан в качестве крестьянских (фермерских) хозяйств зарегистрировано 166 предприятий [27].

По результатам анализа литературных данных составлена карта (рисунок 1.3), на которой отображены центры наибольшего образования отходов птицеводства [85].



Поголовье птицы в хозяйствах всех категорий, тыс. голов **

• 0,0–266,4 • 266,5–932,1 • 932,2–2156,8 • 2156,9–4125,6 • 4125,7–7705,4



Структура поголовья птицы по категориям хозяйств (%):*



сельскохозяйственные организации



крестьянские (фермерские) хозяйства и индивидуальные предприниматели



хозяйства населения

* в субъектах Российской Федерации

** в муниципальных районах и городских округах субъектов Российской Федерации

Рисунок 1.2 – Поголовье птиц в хозяйствах всех категорий в ПФО

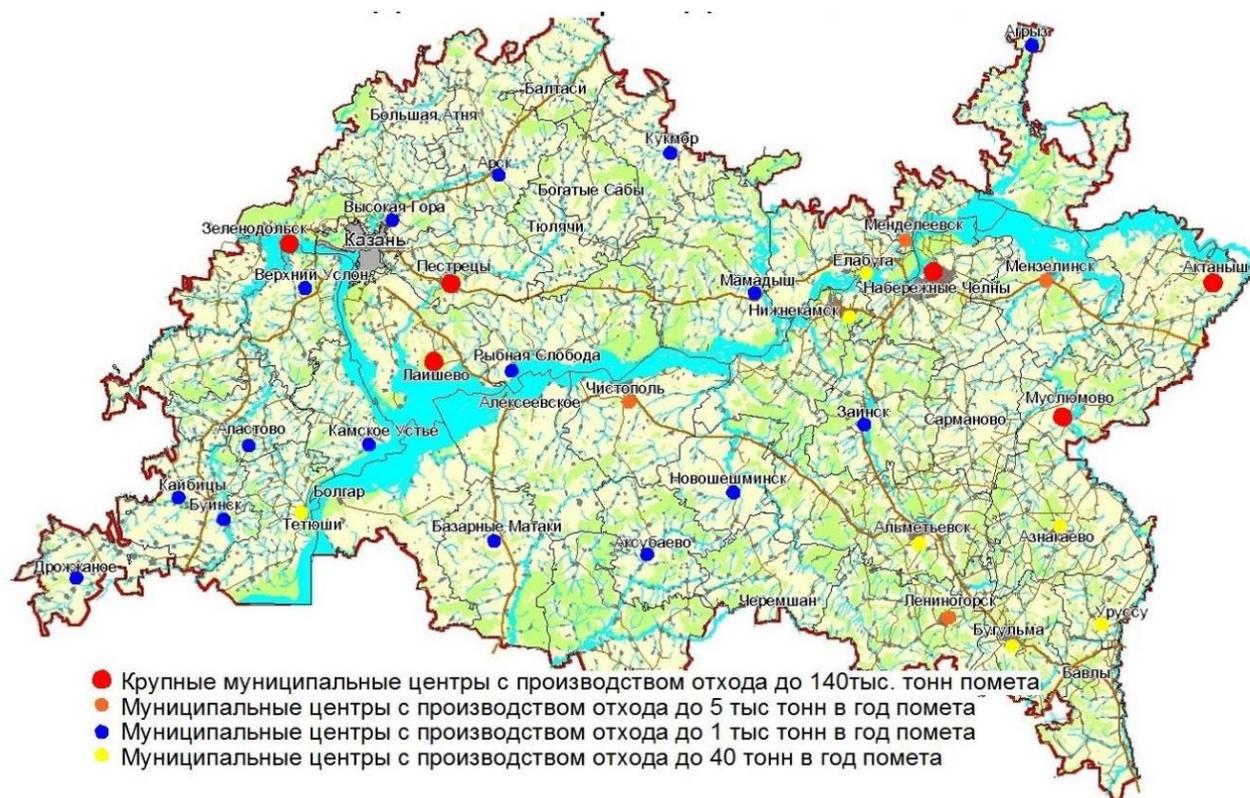


Рисунок 1.3 – Карта результатов оценки крупных центров образования отходов птицеводства

Несмотря на то, что птицеводческие предприятия обладают коротким циклом воспроизводства и быстрой окупаемостью, они являются серьёзным источником негативного воздействия на окружающую среду [4]. Так, при естественном разложении помёта птицы образуются парниковые газы: метан (CH_4), оксид азота (N_2O), углекислый газ (CO_2) и согласно документам Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК) должны быть инвентаризированы и приняты меры по их устранению.

Для количественного анализа эмиссии парниковых газов используются инструменты приборного измерения, а также расчётный метод.

1.2 Исследование состояния полигонов размещения отходов птицеводства

Основным источником негативного воздействия на окружающую среду являются отходы жизнедеятельности птицы – помет. Большинство

птицеводческих предприятий не имеют эффективных способов переработки и обеззараживания многотоннажных отходов, и после выгрузки из птичников отходы складываются на открытых площадях, занимая земли сельскохозяйственного назначения.

В отходах содержится патогенная микрофлора, гельминты и прочие загрязнители, со временем происходит накопление данных загрязнителей в почве и водоёмах.

Объём попадающих на поля отходов превышает возможности природы к самоочищению биохимическим методом.

Переработка и использование органосодержащих отходов птицеводства, образующихся на птицеводческих комплексах, является важным элементом, которые следует учитывать при разработке технологических регламентов на строительство и эксплуатацию птицеводческих комплексов [44].

Динамичное развитие птицеводческого сектора агропромышленного сектора (АПК) и повышающиеся с 2019 года коэффициенты за размещение отходов стимулируют предприятия к внедрению новых технологических регламентов по обращению с отходами и внедрению наилучших доступных технологий. Опыт крупных зарубежных птицеводческих предприятий показывает, что внедрение технологий по переработке отходов значительно снижает экологические платежи.

Для обоснования применения инженерных решений по утилизации подстилочного помёта (ПП) необходимо провести тщательные инструментальные исследования существующей ситуации на птицефабрике.

Задачи, решаемые в ходе исследований по главе:

1. Экспериментально провести мониторинговые исследования состояния воздушного бассейна на технологических площадках по переработке помёта и выявить закономерности метанообразования в буртах птицеводческих предприятий.
2. Разработать программу для компьютерного моделирования расчёта эмиссии метана в помётных буртах при длительном хранении [86].

Для решения *первой задачи* разработана методика измерений, которая апробировалась на реальном объекте – помётохранилище.

С 29.09.17 по 27.10.17 были проведены замеры воздуха на производственной площадке по переработке помёта птицефабрики методом буртования.

Объект исследования: помётные бурты (помётохранилища) (рисунок 1.4), расположенные на промышленной площадке птицефабрики.

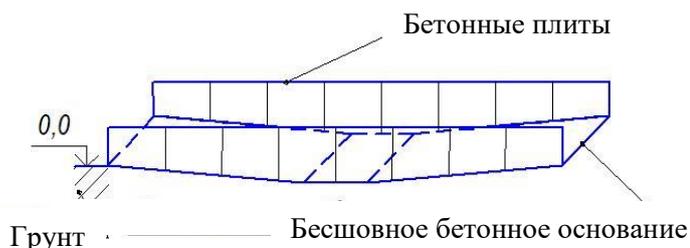


Рисунок 1.4 – Помётохранилище

Методика измерения состоит в том, что в бурте проделано отверстие диаметром 40 мм и глубиной 500 мм для снижения влияния климатических условий (выветривания). Далее в отверстие был помещён щуп, присоединённый к измерительному прибору «Комета-М», и производились замеры при включённом насосе в течение 2 – 3 минут. Далее проделывалось следующее отверстие на расстоянии от первого 40 см, и измерения повторялись (рисунок 1.5).

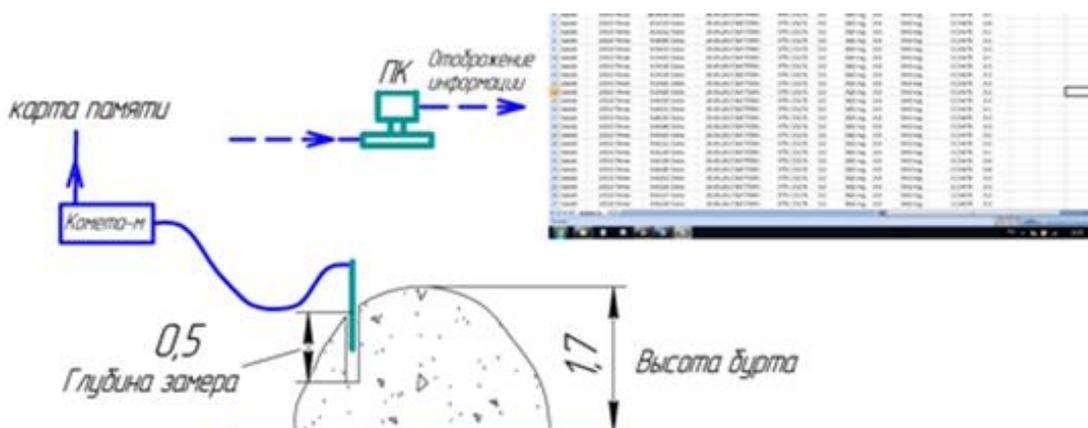


Рисунок 1.5 – Схема замеров метана в буртах

Измерения проводились в 5 точках бурта на протяжении 5 дней (рисунок 1.6). Результаты записывались ежеминутно на карту памяти установленный в корпус газоанализатора.

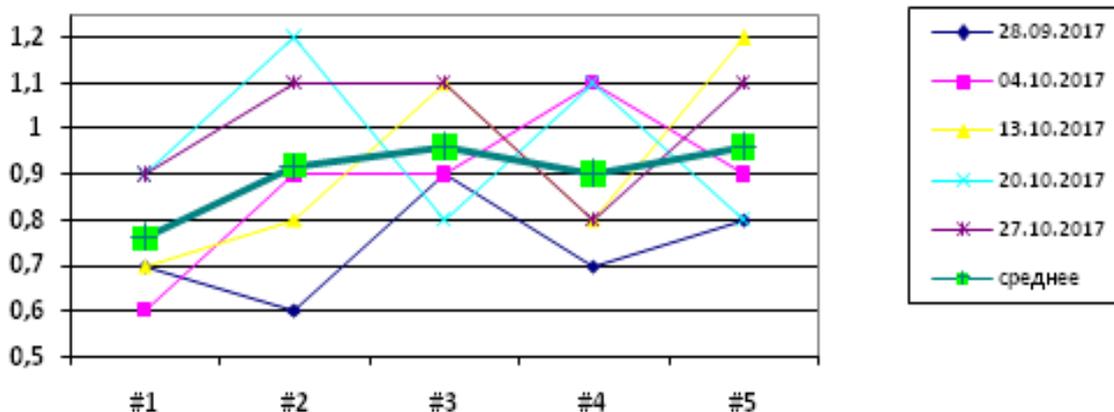


Рисунок 1.6 – Результаты проведённых полевых исследований по определению метана в буртах

На рисунке 1.6 по оси ординат отложены показания прибора в процентах объёма, по оси абсцисс 5 точек измерений.

Пять линий разного цвета отображают среднее значение прибора в 5 точках измерений, при 5 повторах, т.е. измерения проводились в течение 5 дней, полужирным изображено среднее значение для всего массива полученных данных [1].

Методикой расчёта по формулам (1.1) – (1.4) анализируется весь массив данных, полученный от прибора измерения.

Перевод показания прибора в натуральные величины произведён по формуле:

$$W = K \cdot (p_{\text{П}} / 10^{-4}), \quad (1.1)$$

где W – масса метана (CH_4) на 1 м^3 массы отхода, $\text{мг}/\text{м}^3$; K – переводной коэффициент, равный для метана 0,667; $p_{\text{П}}$ – показатель прибора, %;

Расчёт среднего значения по всем показателям произведён по формуле:

$$S = \Sigma p_{\text{П}} / n, \quad (1.2)$$

где S – среднее значение по всем замерам; n – количество повторов; $\Sigma p_{\text{П}}$ – сумма показателей прибора, %.

Эмиссия метана из суточного помёта рассчитана по формуле (1.3):

$$\text{CH}_4 = W \cdot (M \cdot 0,6) / 10^6, \quad (1.3)$$

где W – масса метана (CH_4) на 1 м^3 массы отхода, $\text{мг}/\text{м}^3$; M – объём образующегося помёта, $\text{т}/\text{сут.}$; $0,6$ – объёмная масса помёта.

Таким образом, экспериментальным путём определили количество эмиссии парниковых газов (CH_4) из суточного помёта в сутки.

Известно, что помёт хранится в буртах на протяжении 4 – 6 месяцев и с учётом всего поступившего за этот период помёта эмиссия метана составит:

$$\text{CH}_{4\text{полн}} = \text{CH}_4 \cdot 120, \quad (1.4)$$

где CH_4 – объём образования парниковых газов из суточного помёта, $\text{кг}/\text{сут.}$; 120 – продолжительность хранения помета в буртах, сут.

В результате проведённых исследований и проанализированных результатов полученных данных выявлена закономерность эмиссии парниковых газов, представленная в виде формулы:

$$\text{CH}_4 = f(M), \quad (1.5)$$

где CH_4 – эмиссия парниковых газов; M – масса образующегося помёта, $\text{т}/\text{сут.}$

Для решения *второй задачи* была написана программа в интегральной среде разработки (ИСП) Microsoft Visual Studio.NET, в которой доступны широкие возможности языка C# [87].

Учитывая, что для более достоверных результатов, измерения должны проводиться в достаточно длительный промежуток времени и при различных климатических условиях (температуры, влажности), прибор записывает огромное количество данных, которые необходимо проанализировать [79].

Обработка данных (массивов), которые могут достигать десятки тысяч строк, вручную практически невозможна, даже массив, состоящий из тысячи строк, может обрабатываться несколько дней [2].

С целью сокращения времени обработки результатов измерений и оперативного принятия мер по снижению предельных концентраций загрязняющих веществ, нами разработано программное обеспечение с помощью среды разработки VisualStudio 2015 на языке программирования C# (Приложение 4).

Программное обеспечение предназначено для обработки большого массива данных, представляемых газоанализатором Комета-М используемом нами в исследованиях, и перевода их значений в международную систему единиц СИ, а также расчёта годового выброса парниковых газов в атмосферу [87].

Работа программы обеспечивается поочерёдным выполнением действий по строго заданному алгоритму состоящий из 8 этапов (рисунок 1.7) и выдаёт безошибочный результат на экран компьютера [87].

Основным преимуществом данной программы является его уникальность и удобный для пользователя интерфейс.

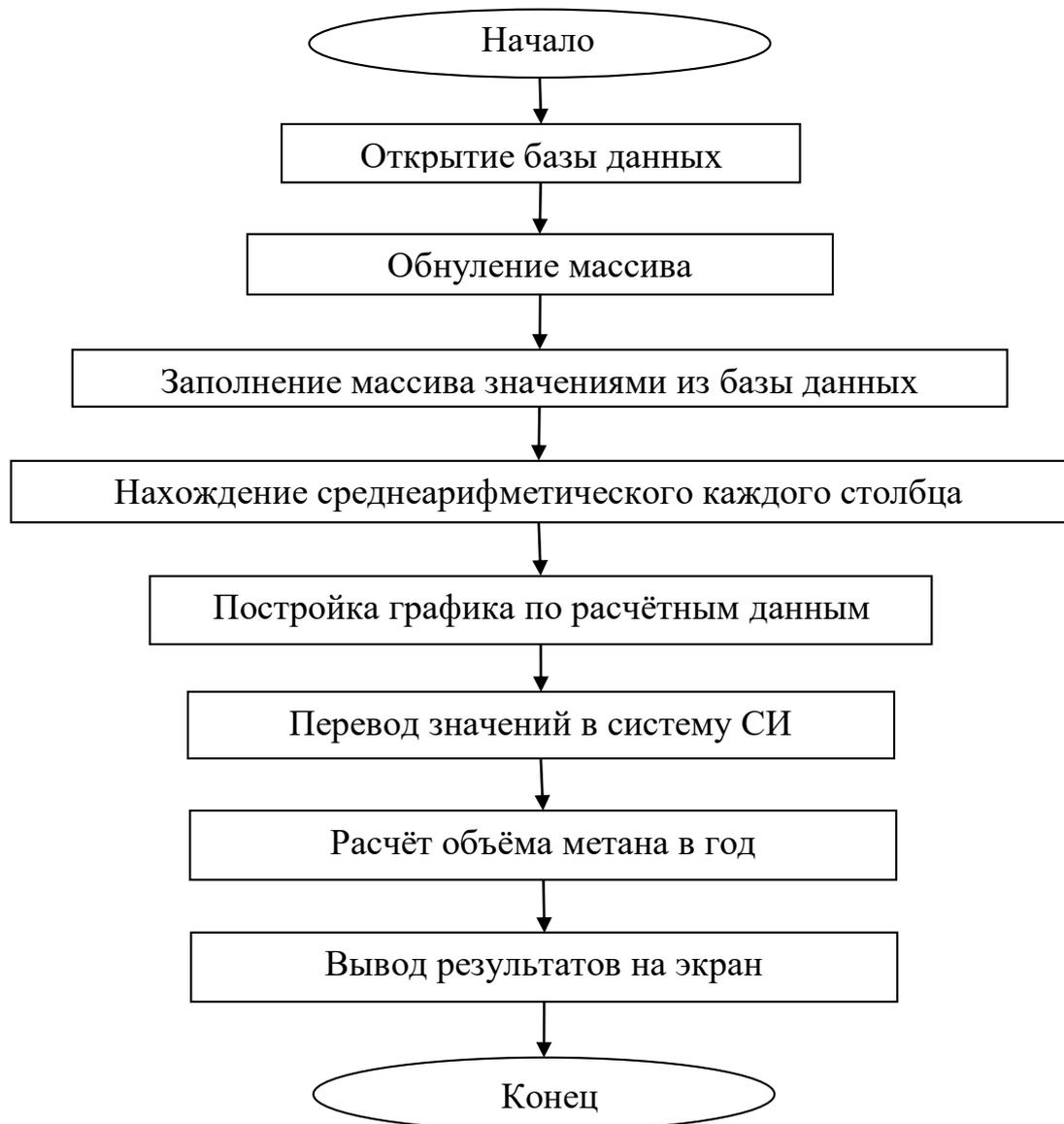


Рисунок 1.7 – Алгоритм работы программы

Расчёт выбросов парниковых газов с использованием данной программы позволит оценить экологическую обстановку в зоне влияния птицефабрик, а также выявить участки с высоким содержанием газов-загрязнителей, таких как метан, сероводород и т.д.

Как свидетельствуют данные из отчётов FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO / Продовольственная и сельскохозяйственная организация Объединённых Наций) на 2019 год количество парниковых газов от сельского хозяйства в целом по Российской Федерации составляет более 2 млн. м³ (рисунок 1.8).

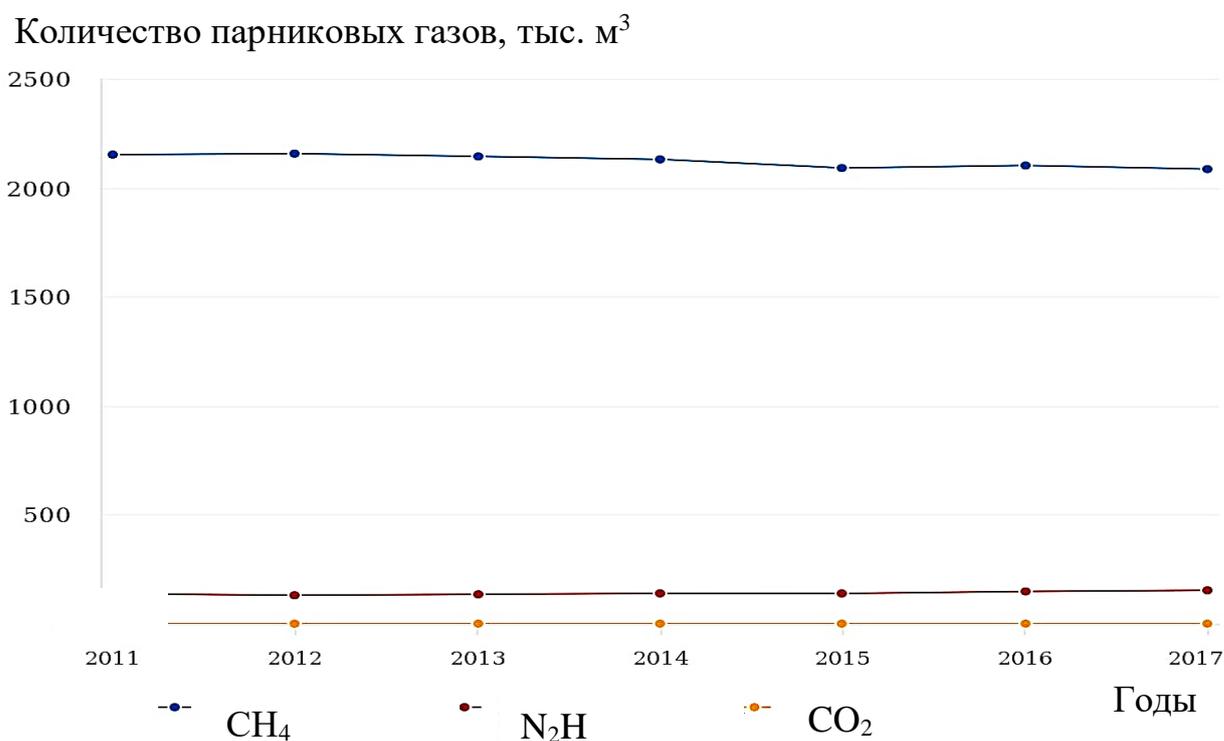


Рисунок 1.8 – Отчёт FAO по парниковым газам от сельского хозяйства

В сравнении с ведущими странами такими как Китай, Бразилия и Соединенные штаты Америки по эмиссии метана в сельском хозяйстве Российская Федерация привносит наименьший вклад в загрязнении окружающей среды по парниковым газам в сельском хозяйстве. Российская Федерация в данном рейтинге занимает 4 позицию (рисунок 1.9) и находится сразу после Китая. Лидером в данной статистике занимает Бразилия.

Количество парниковых газов, 10^5 м^3

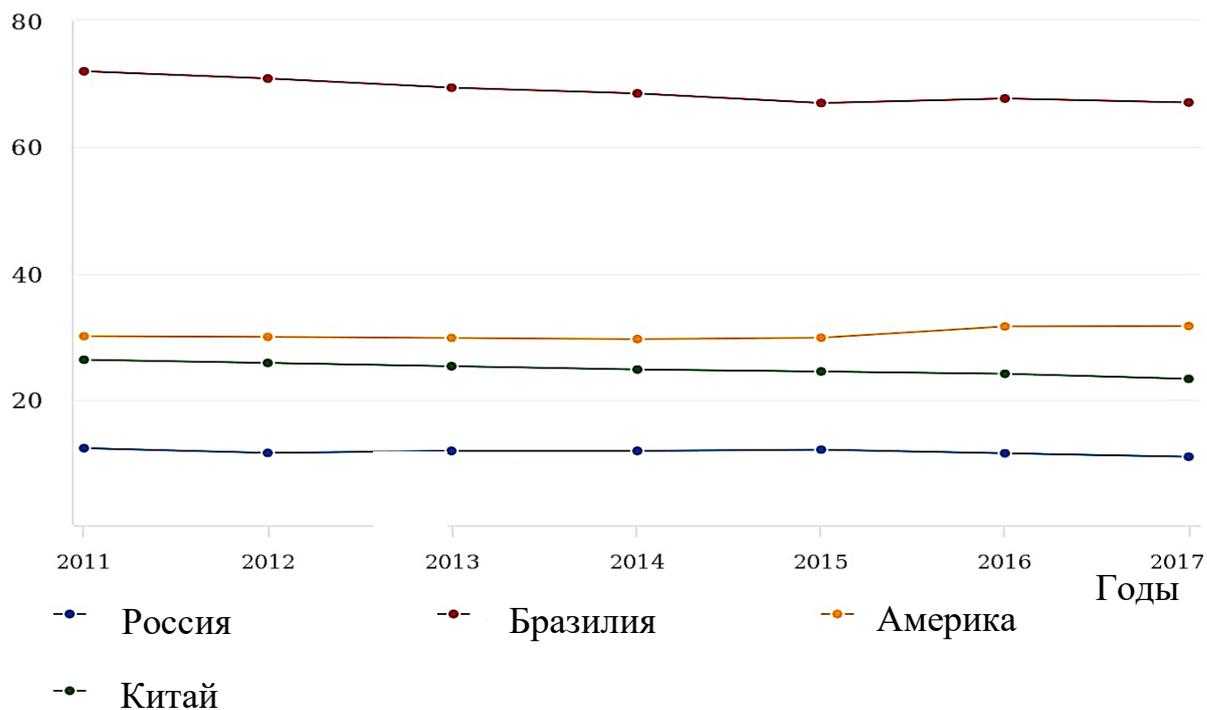


Рисунок 1.9 – Вклад ведущих стран по образованию парниковых газов

Как констатируют некоторые исследователи данного вопроса, существующие методы утилизации помёта сводятся к предварительной подготовке в буртах и при наличии достаточных сельскохозяйственных угодий дальнейшего их внесения в поля при выращивании культур сельскохозяйственного назначения [72], при этом уровень механизации производственных процессов должен достигать от 85 до 100 % [73]. Технологическое оборудование, обеспечивающее механизацию при утилизации помёта, должно соответствовать принципам комплексности переработки всего сырья и минимального расхода топливных энергетических ресурсов (ТЭР) на основе экологически чистых и ресурсосберегающих технологий [73].

В настоящее время некоторые крупные агрохолдинги на своём балансе имеют поля для выращивания сельскохозяйственных культур и, соответственно, располагают их площадями для реализации помёта в качестве удобрения. Что касается птицеводческих предприятий, не имеющих собственных сельхозугодий, то вопрос утилизации помёта для них остаётся проблемным и открытым.

Наиболее известным способом утилизации помёта птицы из справочника по наилучшим доступным технологиям ИТС НДТ-42-2017 утвержденный Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии является метод сжигания помёта. При непосредственном сжигании помёта с подстилкой можно достигнуть 2300 ккал тепловой энергии из 1 кг отходов [11, 29, 30, 33, 46, 47, 48], но при этом в ИТС вентилля НДТ-9-2020 представлен метод газификации, в принцип метода которого входит процесс термического разложения при температурах 1000 – 1200 °С с получением высококалорийного синтез-газа, в составе которого есть окись углерода и водород [36].

Обоснование применения термических методов утилизации с получением тепловой энергии, электрической энергии и механической энергии представляется только при аргументированном обосновании необходимости получаемой энергии на конкретном отдельно взятом птицеводческом предприятии.

1.3 Анализ основных технологических процессов при выращивании птицы

Получение исходной информации для решения вопросов совершенствования технологических процессов с целью снижения энергетических затрат и оптимизации структуры энергетического баланса предприятия путём выбора оптимальных направлений и способов использования подведённых и вторичных энергоресурсов является основной задачей, поставленной перед предприятиями, в том числе и птицеводческой отрасли [18].

Так, при выращивании птицы и комплексной механизации требуются различные энергоресурсы: электроэнергия – для систем освещения, электромеханических устройств и т.д.; тепловая энергия – на отопление птичников, хозяйственных корпусов и административных помещений, на подогрев воды, используемой в технологических процессах и в бытовом водоснабжении.

По надёжности электроснабжения птицеводческие предприятия относятся к I и II категории надёжности [73]. К предприятиям I категории надёжности следует отнести электроприёмники потребителя, перерыв электроснабжения которых может повлечь за собой значительный материальный ущерб, расстройство сложного технологического процесса и т.д. К предприятиям II категории надёжности следует отнести электроприёмники потребителя, перерыв электроснабжения которых приводит к массовому недоотпуску продукции, массовым простоям рабочих, механизмов и т.д. [70, 73].

Объекты первой категории не допускают перерыва в энергоснабжении более чем на 0,5 часа и согласно [43] вторым источником питания должна служить подстанция 35 – 110/10 кВ или другая секция шин 10 кВ той же двухтрансформаторной подсети напряжением 6, 10, 20 кВ, от которой осуществляется основное питание, или при технико-экономическом обосновании вторым источником питания может быть автономный источник резервного электропитания. В качестве автономного источника могут служить электростанции с двигателями поршневого типа потребляющие дизельное, бензиновое или газообразное топливо. Следовательно, потенциал использования помёта в качестве альтернативного топлива в птицеводстве заключается не только в снижении расхода природных ресурсов, но и в повышении надёжности энергоснабжения приёмников-потребителей I и II категории [92].

Для определения целесообразности применения альтернативных источников энергии выполнен анализ основных технологических процессов и энергопотребляющего оборудования на птицеферме по выращиванию 5000 голов птицы за цикл. Под циклом понимается выращивание птицы от посадки птенцов до удаления взрослой птицы из птичника. Энергопотребление птицефабрики представляет собой энергопотоки (рисунок 1.10) топливных ресурсов для целей отопления, электроэнергии, освещения, вентиляции, привода механизмов кормораздачи и помётоудаления. Для отопления и горячего водоснабжения может быть использована электрическая, тепловая энергия или газ [57, 58, 96, 126].

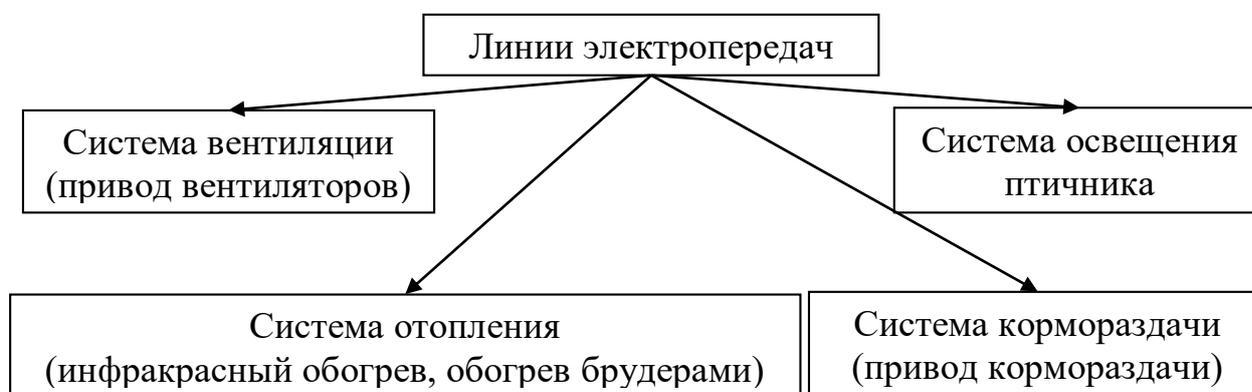


Рисунок 1.10 – Энергопотоки на типовом птицеводческом предприятии

На птицефабрике выращивается 5000 голов птицы (34 недели) при плотности посадки 1,5 голов на 1 м² и 12 000 молодняка (4 недели) при плотности посадки напольного содержания 3,0 головы на 1 м² и содержании птицы на подстилке из опилок, энергетический баланс предприятия в части энергопотребления (таблица 1.3) составляет 49 МВт. Расход энергии для птицефабрики поголовьем 5000 голов рассчитана по рекомендациям ГОСТ 27322-87 [17].

Таблица 1.3 – Структура потребления электроэнергии, кВт/ч

Наименование	Расход
Отопление	47 520
Освещение	840
Вентиляция	689,8
Раздача корма	22,4
Всего	49 072,2

Принципиальная схема расположения и основные характеристики действующего энергопотребляющего оборудования (Приложение 5) в птичнике на 5000 голов осуществляется от внешнего энергоисточника по одному вводу.

Энергоресурсы, поступающие на птицеферму, распределяются по следующим системам.

- Система отопления

Оптимальная температура в птичниках оказывает огромное влияние на

производительность и здоровье птицы [42, 45]. Для различных видов птицы согласно рекомендательным документам температура в помещениях птичников должна поддерживаться на уровне 22 °С при любых температурах окружающей среды [54, 55, 73, 82, 112].

- Система освещения

При выращивании цыплят большое значение имеет соблюдение оптимального светового режима. В течение суток в безоконных помещениях продолжительность освещения длится от 17,5 часов с последующим сокращением до 8 часов в сутки и считается основными затратами птицеводческого предприятия, особенно когда используются лампы накаливания.

- Система вытяжной вентиляции

Птичники оснащаются приточно-вытяжной вентиляцией для создания комфортных условий для жизнедеятельности птицы. Помёт, содержащийся в подстилке, подвержен естественному перегниванию и выделению вредных газов. Предельная допустимая концентрация вредных газов в птичнике принимается по диоксиду углерода – 0,25 % об., аммиаку – 15 мг/м², сероводороду – 5 мг/м² [51, 52, 53, 63, 73].

Для создания разрежения воздуха на стенках птичников устанавливаются стенные клапаны. Для более точного регулирования приточные клапаны оснащаются серводвигателями.

Для стабильного функционирования системы вентиляции на основе разрежения воздуха необходимы соответствующие вытяжные элементы, в том числе вентиляторы.

При минимальном количестве свежего воздуха, подаваемого в птичник, в самый тёплый период 7,0 м³ на 1 кг живой массы птицы при напольной системе содержания, для птичника с поголовьем 1000 голов необходимо 5000 м³ свежего воздуха [73].

- Системы кормления и поения

Основными системами напольного оборудования для выращивания птицы,

за исключением скребковых транспортёров помёта в крупных птичниках являются системы кормления и поения [35, 49, 50].

Основное оборудование в системе жизнеобеспечения птичника (Приложение 6) подключается к системе электроснабжения от внешнего энергоисточника.

- Система удаления помёта

Помещения птицеводческих предприятий, как правило, разделены на 2 блока: в блоке 1 содержится взрослая птица, в блоке 2 выращивается молодняк. При планировании дальнейших мероприятий необходимо рассчитать количество образующейся подстилочной помётной массы (ППМ) из каждого блока. При расчете количества помёта следует учесть, что количество подстилки в блоке взрослой птицы и молодняки отличается.

По разработанному авторами алгоритму автоматизированного расчёта образования помёта (Приложение 7) можно в кратчайшие сроки получить результат и приступить к поиску альтернативных решений по утилизации отходов. В конечном счёте образовавшаяся подстильно-помётная масса (таблица 1.4) из обоих блоков после удаления взрослой птицы и молодняка выносится одним потоком за пределы птичника для дальнейшей утилизации.

Таблица 1.4 – Количество образующейся подстильно-помётной массы

Блок 1	Блок 2
Помёт, т/год	
706,86	126,72
Подстилка, т/год	
200	18
Количество образующегося ППМ из птицефабрики – 1 051,58 т/год	
Усушка помёта составляет 20 %	
Количество утилизируемой ППМ – 841,264 т/год	

С момента удаления птицы из птичника по достижении 237-дневного возраста и отправки на убой в птичнике остаётся помёт с подстилкой 841 тонн за цикл [72, 74].

На предприятии подстилочный помёт из птичника удаляется механизированным способом (трактором) и загружается вручную в прицепы для дальнейшей утилизации. Снижение трудоёмкости процесса погрузки подстилочного помета возможно с применением ленточных конвейеров или трактора [60, 61, 62]. При образовании 841 тонны ППМ при погрузке ленточным конвейером понадобится 462 кВт·ч, а энергетический эквивалент применения тракторов составит 15,56 кВт·ч.

Альтернативой ручного труда может быть применение транспортёрной ленты наклонного конвейера, которая устанавливается вне помещения и является конечным маршрутом перемещения помётных масс. В птичниках с напольным содержанием помёт подводится к конвейеру механизированными средствами (трактором) и конвейер загружает помёт в прицеп для дальнейшей транспортировки к месту складирования или утилизации.

Очевидный выбор механизации производства только трактором требует индивидуального подхода к каждому объекту и технико-экономического обоснования.

1.4 Анализ газификационных установок

Актуальным вопросам энергетического использования помёта птиц посвящены исследования русских и зарубежных авторов. Изучение специальной литературы и опыт применения метода газификации подтверждает перспективность и экологичность его использования на практике по ряду критериев:

во-первых, использование данного метода считается более чистой технологией, поскольку среда сгорания благоприятствует низкому образованию оксидов азота и серы, которые являются основными загрязнителями воздуха;

во-вторых, продукт газификации может применяться как энергетический ресурс для производства тепловой и электрической энергии в двигателях внутреннего сгорания;

в-третьих, зола после газификационной установки является ценным минеральным удобрением в сельском хозяйстве [9, 13, 26, 75, 101, 102, 115, 103, 112, 106, 107, 114, 126, 127, 130, 131, 132].

В то же время существует и противоположное мнение относительно газификации как способа утилизации помёта. Так, в работах Хариш К. [112] отмечается не полная проработка экологического воздействия на окружающую среду данного метода газификации.

Вопросы экспериментального сопровождения процесса газификации помёта птицы в лабораторных установках при температурах до 800 °С рассмотрены в совместной работе Котана Ф. и других авторов, которые пришли к мнению, что вопросы оптимизации тепловых и химических процессов внутри газификатора остаются открытыми, их предстоит решить [102].

Изучение опыта отечественных и зарубежных специалистов по вопросу газификации помёта птицы позволило в рамках нашего исследования проанализировать и разработать авторскую классификацию установок по газификации углеродосодержащих отходов.

Наглядное представление классификации представлена на рисунке 1.11.



Рисунок 1.11 – Классификация установок для газификации помёта птицы

Так, газификационные установки можно классифицировать по трём критериям: по виду газифицирующего агента, включающий в себя

газифицирующие агенты: воздух, азот, кислород, дымовые газы и водяной пар; по конструктивным особенностям газификационные установки делятся на установки в которых процесс газификации протекает в слое сырья на неподвижной и подвижной поверхности, псевдоожиженном слое и нисходящем потоке; по источнику теплового воздействия газификационные установки делятся на конвективный подвод теплоты продуктами сгорания и кондуктивный подвод теплоты с помощью источника сверхвысокой частоты, плазмотроны и электронагреватели.

В диссертационной работе оценка проводится, отталкиваясь от различных значений коэффициента избытка воздуха, а в работе Бурра К.Г. оценка проводится как в зависимости от концентраций кислорода, так и от различных уровней температуры в реакторе [101].

Из исследований данного автора также известно, что из помёта с влажностью 70 % при газификации можно получить 5084 кДж/кг энергии, в то время как высушенный образец даёт 14 447 кДж/кг энергии. Полное сгорание было возможно для содержания влаги ниже 9 % (мас.).

По мнению Силва Дж., математические или численные модели для систем газификации являются важным средством проектирования, начиная с лабораторной установки и заканчивая промышленным образцом [124].

В результате проведённого в рамках нашего исследования анализа существующих способов газификации отходов агропромышленного комплекса, была отмечена перспектива использования установок с псевдоожиженным слоем. Рассмотрим более подробно каждый из газогенераторов отдельно.

Газогенератор обращённого типа

Преимуществом данного вида газогенератора является то, что температуры процесса термического разложения в нём поддерживаются и регулируются равномерно по всему объёму камеры газификации независимо от вида и качества древесного топлива (рисунок 1.12) [65].

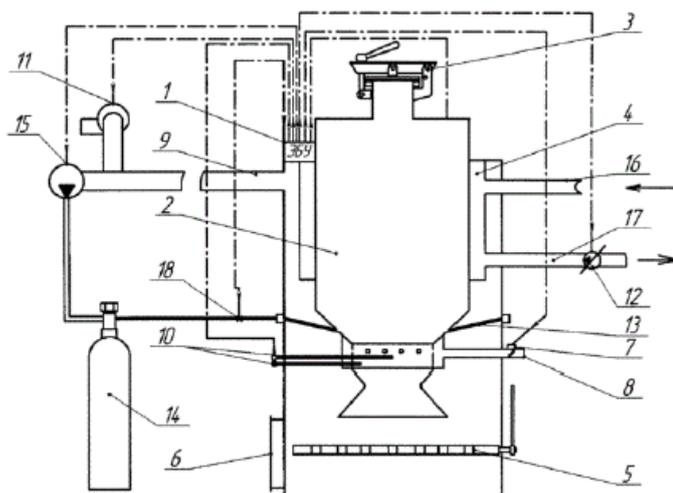


Рисунок 1.12 – Газогенераторная установка обратного процесса с локальным подогревом [11]: 1 – блок управления; 2 – топливный бункер; 3 – загрузочная дверца; 4 – водяная рубашка; 5 – колосниковая решётка; 6 – дверца зольной камеры; 7 – электроуправляемая заслонка; 8 – трубопровод подачи воздуха; 9 – канал отвода генераторного газа; 10 – датчики температуры; 11 – вентилятор отбора пиролизного газа; 12 – водяной насос; 13 – канал подвода пиролизного газа; 14 – баллон; 15 – компрессор; 16, 17 – каналы подвода и отвода теплоносителя водяного котла; 18 – электроуправляемый клапан

Проанализировали состав синтез-газа (таблица 1.5), включающий горючие компоненты и диоксид углерода. Также при анализе учитывалась температура, при которой происходит реакция.

Преимуществом установки является температура при которой протекает реакция.

Таблица 1.5 – Состав синтез-газа

Характеристики	Значение
Температура реакции, °С	650
Оксид углерода (CO), %	22 – 24
Метан (CH ₄), ppm	810 – 840
Углекислый газ (CO ₂), %	10 – 12
Водород (H ₂), %	8 – 9

Топливо, находящееся в топливном бункере 2, постепенно передвигаясь в зону пиролиза за счёт догорания нижнего слоя, подогревается и попадает в зону камеры газификации, где происходит его химико-термическое разложение на газовые составляющие при недостаточном окислении кислородом воздуха,

который подаётся по трубопроводу 8 в камеру газификации за счёт вентилятора 11 отбора пиролизного газа. Блок управления 1 получает сигналы от датчиков 10 температуры как с центра, так и с края камеры газификации. При этом блок управления 1 подаёт сигнал на электроуправляемый клапан 18, тем самым подаёт пиролизный газ через канал 13 с баллона 14, заранее закаченный компрессором 15.

Многозональный газификатор

Преимущество многозонального газификатора заключается в равномерности процесса газификации. В газификаторе данной конструкции первая зона окисления работает при температуре, по меньшей мере, 1000°C , в то время как зона восстановления работает при температуре между 600 и 900°C (более предпочтительно при температуре 850°C), и вторая зона окисления работает при температуре между 700 и 800°C (более предпочтительно при температуре примерно 750°C) (рисунок 1.13).

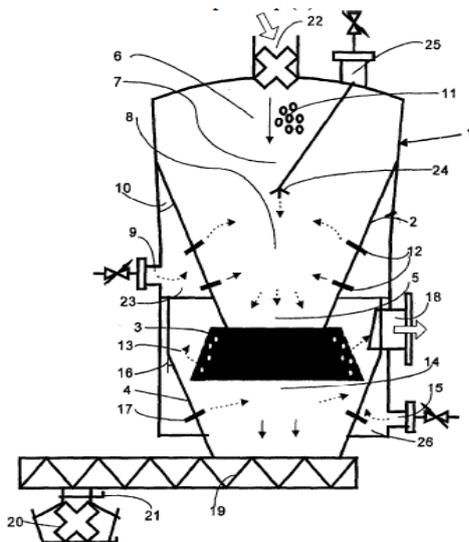


Рисунок 1.13 – Газогенератор с многозональной газификацией [24]: 1 – газификатор; 2 – горловина 1; 3 – перфорированная часть; 4 – горловина 2; 5 – зона восстановления; 6 – хранение и сушка топлива; 7 – зона пиролиза; 8 – зона окисления; 9 – клапан воздухозаборника первичного воздуха; 10 – датчик; 11 – топливо; 12 – сопла воздухозаборника; 13 – продуктивный газ; 14 – зона окисления; 15 – клапан воздуха; 16 – наклон; 17 – воздушные сопла; 18 – выпуск газа; 19 – шнек; 20 – поворотный клапан; 21 – клапан со скользящей заслонкой; 22 – клапан; 23 – кольцевой канал; 24 – воздухозаборник; 25 – клапан

Изучив технологию с многозональным газификатором по конструктивным особенностям, далее проанализировали состав синтез-газа (таблица 1.6), включающий горючие компоненты и диоксид углерода. Также при анализе учитывалась температура, при которой происходит реакция.

Таблица 1.6 – Состав синтез-газа

Характеристики	Значение
Температура реакции, °С	850
Оксид углерода (СО), %	14,32
Метан (СН), ppm	2,04
Углекислый газ (СО ₂), %	13,22
Водород (Н ₂), %	0,07

Дополнительным преимуществом такой конструкции является то, что в установке вырабатывается газ с низким содержанием жидкого продукта и воды, а также устройство для удаления налипшей золы образующаяся в зоне окисления.

Газификаторы с подвижными элементами

Преимуществом такой конструкции является обеспечение равномерной фильтрации газов и паров через колонну реактора. В ней по оси на всю высоту размещены рыхлители лопастного типа. Медленным вращением лопастей рыхлителя предотвращается комкование твёрдой фазы, а также её напорное перемещение сверху вниз по всей высоте колонны реактора. Такое перемешивание обеспечивает гомогенные гидродинамические условия для фильтрации газов и взаимодействия реагентов по всему пространству реакционных зон, а также однородность процессов сушки в верхней части реактора (рисунок 1.14).

Продукты пиролиза поступают в зону газификации и восстановления, где в интервале температур 610 – 1100 °С образуются компоненты синтез-газа.

Благодаря созданию над зоной горения, протяжённой по высоте реактора,

зоны парового пиролитического воздействия в присутствии оксида углерода (CO) происходит интенсивное восстановление водорода (H_2) из паровой фазы воды (H_2O), что позволяет получить водород с концентрацией порядка 35 – 47 мас. %.

Роторная центрифуга 1 со шнековым транспортёром 2 подают сырьё в реактор 3. Приводной двигатель 4 смонтирован на крышке 11 с технологическим люком 5, который соединён приводным валом 12. Двигатель подаёт вращательное движение рыхлителю 6 через вал 12. Воздух подаётся по воздухоподводящим каналам 10. Выгрузку золы 18 осуществляет шнековый транспортёр 7. Подача пара, отбор синтез-газа и рециркуляция происходит через газопроводы 13, 14, 15. Газопроводом 16 происходит отбор к котлу газогенератора 8.

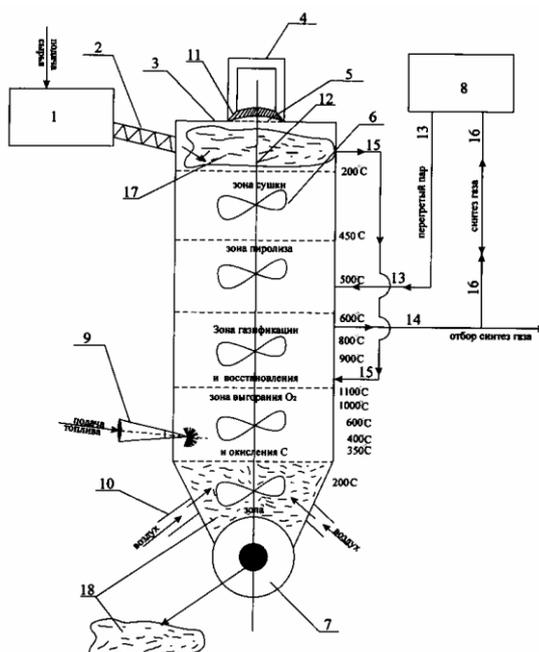


Рисунок 1.14 – Газогенератор с вращающимся механизмом [23]: 1 – роторная центрифуга; 2 – шнековый транспортёр; 3 – реактор; 4 – двигатель; 5 – технологический люк; 6 – рыхлитель; 7 – шнековый транспортёр; 8 – топка котла газогенератора; 9 – горелки; 10 – воздухоподводящие каналы; 11 – крышка; 12 – вал; 13 – 16 – газопровод; 17 – сырьевая масса; 18 – зола

Газогенератор запускается от горелки 9, при этом воздух от воздухоподводящих каналов 10 поддерживает горение. Далее сырьевая масса 17 проходит стадию сушки, пиролиза и газификации.

Изучив технологию газификации с реактором, в котором находятся вращающиеся элементы по конструктивным особенностям, далее проанализировали состав синтез-газа (таблица 1.7), включающий горючие компоненты и диоксид углерода. Также при анализе учитывалась температура, при которой происходит реакция.

Таким образом, все рассмотренные газогенераторы способны выработать генераторный синтез-газ, пригодный для использования в качестве топлива в котельных и двигателях внутреннего сгорания [66].

Таблица 1.7 – Состав синтез-газа

Характеристики	Значение
Температура реакции, С	610 – 1100
Оксид углерода (СО), %	24-32
Метан (СН), ppm	0,5 – 0,9
Углекислый газ (СО ₂), %	6 – 16
Водород (Н ₂), %	15 – 25

Вместе с тем наиболее перспективным для использования в двигателе внутреннего сгорания (ДВС) с электрогенератором по выработке различных видов энергии (тепловой, электрической и механической) являются газогенераторы, осуществляющие реакцию парового риформинга.

1.5 Аналитические исследования в области газификации

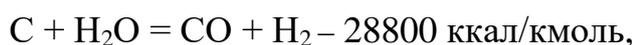
В процессе выполнения диссертационного исследования нами была разработана новая газификационная установка, которая направлена на повышение эффективности выработки синтез-газа.

Перед нами ставилась задача по созданию такой установки, где в одном объёме при помощи альтернативного газификационного агента происходит подсушивание и термическая деструкция загруженного сырья. Основным обоснованием использования альтернативного газифицирующего агента для газификации подстилочного помёта птицы в разрабатываемой установке

является реакция водяного газа, при котором увеличивается количество водорода, а содержание окиси углерода уменьшается.

Теоретические подходы основ процесса газификации, в частности, использования пара в качестве газифицирующего агента, рассматриваются в ранних исследованиях Токарева Г.Г. В своей работе Токарев Г.Г. экспериментально доказывает значимость влияния водяного пара на эффективность газификации [83].

Реакция газификации углерода при добавлении водяного пара протекает при реакции с получением первого компонента синтез-газа:



где 28800 ккал/кмоль – это количество тепла, затрачиваемое на образование оксида углерода (CO) и водорода (H₂).

Следовательно, для осуществления реакции необходим подвод тепла извне.

Также Токарев Г.Г. отмечает возможность получения дополнительного тепла за счёт сжигания части полученного синтез-газа в котельных агрегатах и использования его на собственные нужды отопления производственных помещений и т.д.

Второй компонент синтез-газа водорода (H₂) при реакции с водяным паром получается из реакции:



Схема процесса газификации (рисунок 1.15) на начальном этапе учитывает основные компоненты топлива и газифицирующего агента. На промежуточном этапе учитываются все реакции, участвующие в разложении углеродного составляющего сырья и на выходе компонентов синтез-газа. Выделенные компоненты синтез-газа включает в себя: водород, оксид углерода, монооксид углерода, метан, углеводороды и смолы, молекулярные кислород и азот.

Из рисунка 1.15 видно, что автором [83] не учтены реакции и потенциал сконденсированного углерода который остается после процесса газификации на дне установки. Данный вопрос будет описан нами в последующих главах настоящей диссертации.

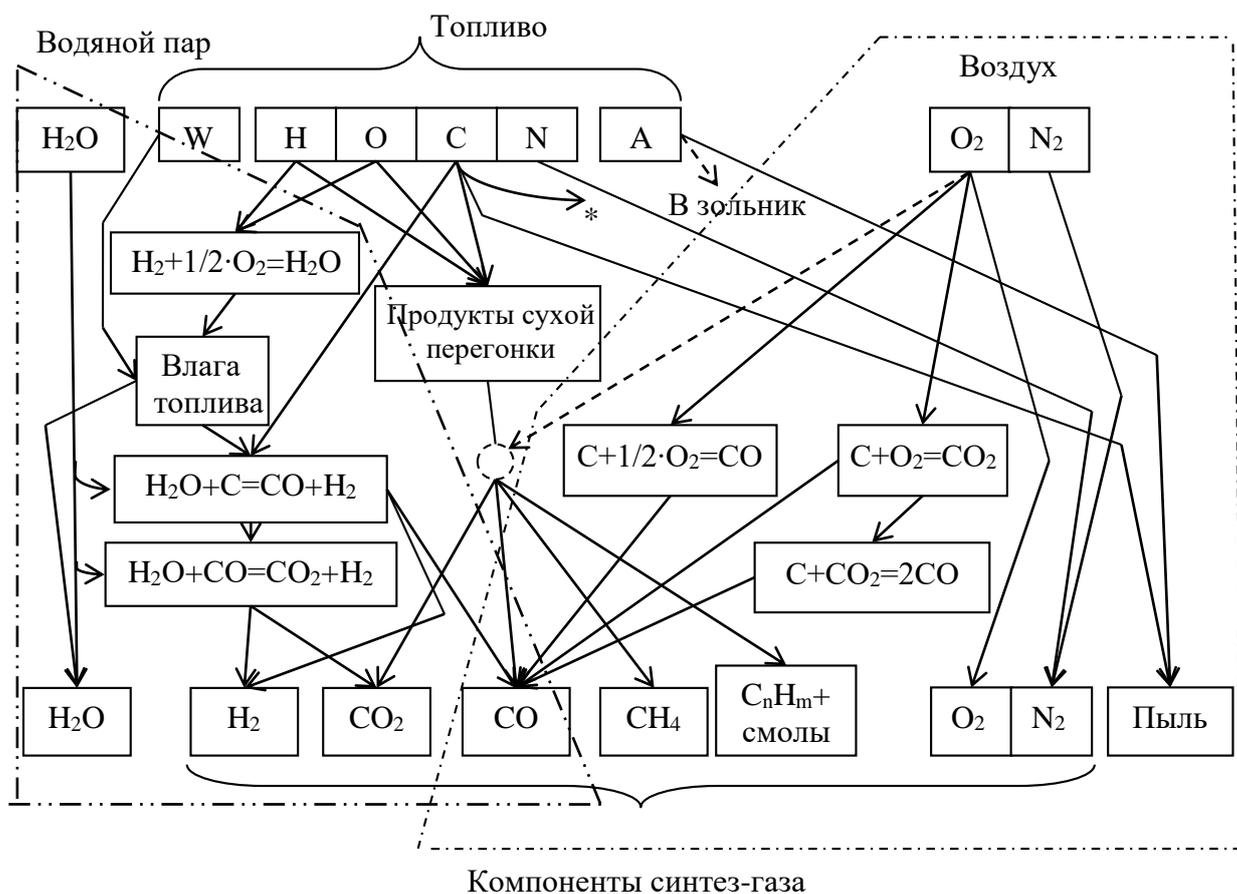


Рисунок 1.15 – Схема процессов газификации

Токарев Г.Г. по результатам проведенных экспериментальных исследований доказывает, что паровая газификация эффективна. Водяные пары реагируют с углеродом, обогащают синтез-газ образующимся при этом водородом (рисунок 1.16). На рисунке просматривается ярко выраженный экстремум по оксиду углерода (CO) и водорода (H₂). Значение максимума (для всех режимов двигателя) соответствует расходу 0,4 кг водяного пара на 1 кг топлива. Подача водяного пара в зону газификации снижает температуру процесса газификации, в результате чего уменьшается образование шлака, так как некоторая часть золы не плавится. Структура шлака становится более пористой, и уменьшается сопротивление шлаковой подушки, что способствует проходу газифицирующего агента.

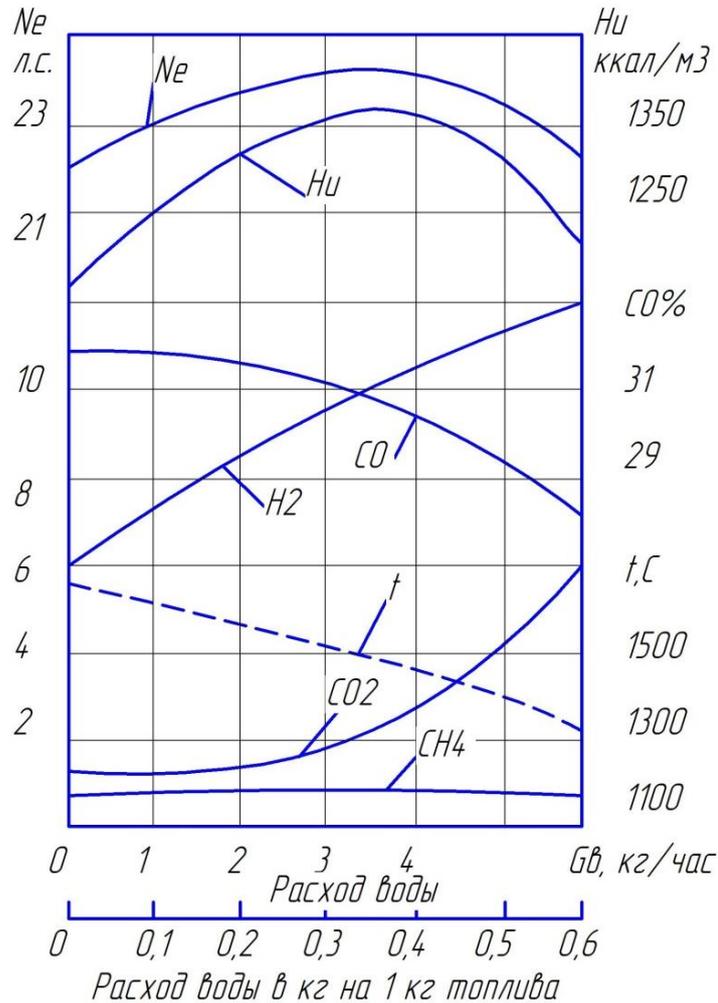


Рисунок 1.16 – Изменение качества синтез-газа, мощности двигателя и температуры в активной зоне газификационной установки, работающей на антраците, в зависимости от количества подаваемого водяного пара

Водяной пар влияет на сопротивление газифицирующей установки (рисунок 1.17).

Из рисунка 1.17 видно, что при работе без газифицирующего агента водяного пара шлак образующийся в процессе газификации сырья растекается по колосниковой решётке и плотно пристаёт к ней и через 1,5 – 2 ч прекращает доступ газифицирующего агента. Очистка камеры газификации при этом становится затруднительной.

При подаче водяного пара в количестве 5,5 кг/ч (36 % расхода топлива) шлак образуется в виде отдельных кусков (агломератов) и, накапливаясь, не препятствует прохождению газифицирующего агента в камеру газификации. Шлак при этом легко удаляется.

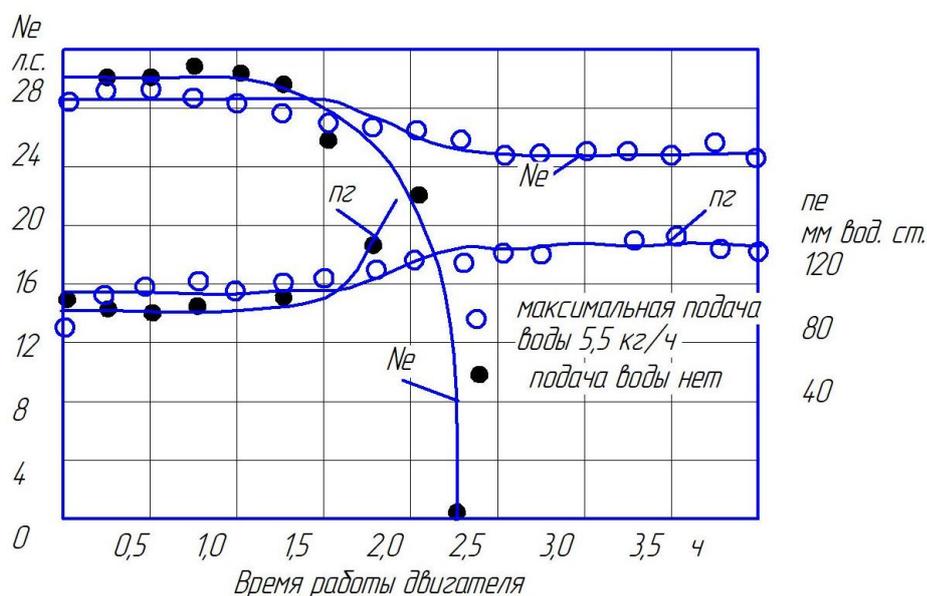


Рисунок 1.17 – Влияние водяного пара в газогенераторе на сопротивление и мощность двигателя по сравнению с работой на сухом дутье (h – разряжение после газогенератора)

Данная работа Токарева Г.Г. на примере газификации антрацита наглядно показывает необходимость подачи водяного пара при работе на шлакующихся топливах с высокой концентрацией углерода.

1.6 Численные подходы к моделированию газификационных установок

Последние достижения физико-химической характеристики при газификации птичьего помёта подробно рассмотрены в работе Фон-Пальма К. [108]. Экономическая и техническая целесообразность производства энергии из птичьего помёта проработаны и систематизированы в исследованиях Кирубакаран В. [117]. Технология многократного использования куриного помёта в качестве источника биомассы стала предметом специальных разработок Рирдон И.П. [123], Уайтли Н. [129] и нашли место в публикациях Антарес Групп [99].

Все эти работы объединяет одна методика и математический подход к анализу и моделированию. Так, в работах Крюкова В.Г. и Фон-Пальма К. [39, 107] при исследовании термопреобразования модели включают в себя изучение механизма и кинетики. Параметры кинетики термопреобразования определяются

при помощи дифференциальных уравнений.

В работах Силва Д. и Каушал П. проведена математическая оценка газификаторов с неподвижной колосниковой решёткой [116, 124]. В работе Силва Д. модели применяют балансовые уравнения энергии и массы. Из этих уравнений можно получить адекватные модели параметров, которые служат для характеристики процесса газификации в установке. Знание этих параметров делает проект оборудования технически жизнеспособным для промышленного масштаба. При разработке данной модели были выдвинуты следующие гипотезы:

- а) потоки одномерны;
- б) жидкая фаза сжимаема;
- в) все частицы имеют одинаковое измерение;
- г) нерегулярное движение и столкновение частиц игнорируются;
- д) трение на стене игнорируется.

В работе Ваэзи разработана численная модель для моделирования процессов газификации биомассы. Подход, основанный на равновесии константы, является преимуществом при моделировании уравнений термодинамического равновесия. Сочетание законов сохранения энергии в открытой системе сохранения атомных видов и законов химического равновесия обеспечивают численный алгоритм, который может быть использован для прогнозирования состава синтез-газа и исследования влияния важных переменных на характеристики газификации. Данная модель преследует следующую цель: расчёт желаемых основных показателей синтез-газа при газификации биомассы, таких как максимальная эффективность, теплотворная способность, оптимальная температура газификации и т.д. [128]. Для того чтобы рассчитать высшую теплоту сгорания по формуле (2.3), учитываются три эмпирических отношения, основанные на составе основных элементов углерода (С), водорода (Н) и кислорода (О) (в мас. %):

$$Q_B^P \text{ (МДж/кг)} = 3,55C^2 - 232C - 2230H + 51,2C \cdot H + 131N + 20600. \quad (2.3)$$

К основному недостатку, требующему доработки методики, относится то,

что ни один из загрязнителей биомассы, включая серу (S), азот (N), хлор (Cl), не были приняты во внимание в модели, также не рассмотрены такие соединения, как оксиды серы (SO_x) и оксиды азота (NO_x), что недопустимо при политике «зелёных» технологий и развития «зелёной» энергетики.

На птицеводческих предприятиях мясного направления выращивание птицы осуществляется на подстилке, зачастую это опилки хвойных пород деревьев с высотой засыпки 7 – 20 см. После окончания сроков выращивания (37 – 42 суток) образуются многотоннажные отходы в виде подстилично-помётной массы [19]. Проанализированная ППМ, в сравнении с чистым помётом и древесными опилками, показала теплотворную способность (таблица 1.8), близкую к аналогичному показателю по опилкам.

Таблица 1.8 – Теплотворная способность органических отходов

Наименование топлива	Теплотворная способность при сгорании 1 кг абсолютно сухого вещества, ккал
Бесподстилочный помёт от кур, содержащийся в клеточных батареях	2560
Подстилочный помёт от бройлеров	3932
Опилки хвойных пород деревьев	4188

В работе Рамос А. обобщены многолетние работы авторов по методам математического моделирования процессов газификации отходов различного происхождения и определены главные свойства надёжной математической модели [122], это:

- обеспечение набора оптимальных условий эксплуатации;
- обозначение системных опасностей и ограничений;
- предсказывание результатов экспериментов по газификации и результаты для набора переменных для эксплуатации, включая различные виды сырья;
- помогают понять и объяснить результаты эксперимента;
- подходят для экспериментов с масштабированием.

Моделирование процесса газификации может быть достигнуто с помощью различных стратегий, а именно с помощью кинетических моделей, моделей термодинамического равновесия, вычислительной динамики жидкости и искусственных нейронных сетей.

Автор Бехешти С.М. [100] при проектировании математической модели принимает, что реактор-газификатор работает по принципу кипящего слоя и предполагает идеальное смешение со следующим списком реакций:

1. $\text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO} + 3\text{H}_2$;
2. $\text{C} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO} + \text{H}_2$;
3. $\text{C} + \text{CO}_2 \rightarrow 2\text{CO}$;
4. $\text{CH}_4 + 3/2\text{O}_2 \rightarrow \text{CO} + 2\text{H}_2\text{O}$;
5. $\text{C}_2\text{H}_4 + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{CO} + 2\text{H}_2$;
6. $3\text{C}_7\text{H}_8 + \text{H}_2 \rightarrow \text{C}_{10}\text{H}_8 + 3\text{CH}_4 + \text{C}_2\text{H}_6 + 6\text{C}$;
7. $\text{C}_{10}\text{H}_8 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 3\text{CH}_4 + 2\text{CO} + 5\text{C}$;
8. $\text{C}_{10}\text{H}_8 + 9\text{C} \rightarrow 1/6\text{C}_6\text{H}_6 + 7/2\text{H}_2$;
9. $\text{C}_6\text{H}_6\text{O} \rightarrow \text{CO} + 0.4\text{C}_{10}\text{H}_8 + 0.15\text{C}_6\text{H}_6 + 0.1\text{CH}_4 + 0.75\text{H}_2$;
10. $\text{CH}_{1.522}\text{O}_{0.0228} + 0.867\text{O}_2 \rightarrow \text{CO} + 0.761\text{H}_2\text{O}$;
11. $\text{C}_n\text{H}_m + 0.5n\text{O}_2 \rightarrow n\text{CO} + 0.5m\text{H}_2$.

В своей исследовательской работе Beheshti S.M. описывает основные условия эффективной газификации: расход, тип и свойства биомассы; расход воздуха (коэффициент избытка воздуха); расход пара; профиль температуры газификации. Температура газификации является одним из наиболее влиятельных факторов, влияющих на состав и свойства получаемого газа. Более высокая температура приводит к увеличению выхода газа из-за более высокой конверсии. Поскольку реакции (уравнения 1 – 5) происходят одновременно, содержание и отношения водорода (H_2), оксида углерода (CO), углекислого газа (CO_2) и метана (CH_4) в газообразном продукте зависят от температуры и парциальных давлений реагентов [100].

При температурах 750 – 800 °С эндотермический характер реакций получения водорода (H_2) (парриформинг и реакции вода-газ) приводят к

увеличению содержания водорода (H_2) и уменьшению содержания метана (CH_4) с повышением температуры. При температуре 850 – 900 °C как паровой риформинг, так и Реакции Будуара (реакция 3) доминируют, что приводит к увеличению содержания оксида углерода (CO). Высокая температура также способствует уничтожению и реформированию смолы (реакции 4 – 5) что приводит к снижению содержания смолы и увеличению выхода газа [100]. Также авторы наблюдали значительное увеличение водорода (H_2) при температуре выше 800 °C для S / В от 0,5 до 1,08 [14].

Кумар А. по результатам изучения термохимической газификации биомассы сделал вывод, что повышение температуры при заданной температуре печи с 750 до 850 °C, привело к увеличению КПД конверсии и процентного содержания водорода (H_2) в составе газа [99].

Отечественные исследователи, изучающие вопросы особенностей сжигания подстилочного помёта в твёрдо-топливных котлах на базе фактических материалов сделали практический вывод, что при более высоких температурах (от 700 до 950 °C) увеличился выход и общее энергосодержание газа [19, 34]. С увеличением температуры печи с 750 до 950 °C, водород (H_2) увеличился с 31 до 45 %, в то время как метан (CH_4) и оксид углерода (CO) оставались довольно постоянными, углекислый газ (CO_2) снизился и выход газа увеличился [38]. Таким образом, автор исследования пришёл к выводу, что при увеличении температуры газификации от 700 до 800 °C, выход газа, газовая теплотворная способность, энергоэффективность, эффективность конверсии углерода и содержание водорода (H_2) увеличилось, а содержание метана (CH_4), оксида углерода (CO) и углекислого газа (CO_2) уменьшилось. Снижение содержания оксида углерода (CO) могло быть из-за сравнительно более низкой температуры (850 – 900 °C) для реакции Будуара.

Вычислительная термодинамика (или термодинамическое моделирование) успешно используется для разработки, исследования и оптимизации процессов химических реакций в течение многих лет. Основная концепция термодинамического моделирования – это термодинамическое равновесие, при

котором конечное состояние каждой точки в системе существует в тепловом, механическом и химическом равновесии, и через границы системы нет потоков. На практике это требование означает, что процессы, приводящие к термодинамическому равновесию, должны происходить быстрее, чем изменения границ системы. Например, когда исследуется термодинамическое равновесие процессов горения, обычно предполагается адиабатическое горение, и когда моделируются процессы в химическом реакторе, предполагается, что скорости химической реакции намного превышают скорость потока, и, таким образом, существует достаточное время для достижения химического равновесия.

Три стадии газификации подразделяются на пиролиз биомассы (без доступа кислорода), реакции «уголь-газ» и газофазные реакции. На стадии пиролиза летучие вещества и гудрон в биомассе полностью и самопроизвольно превращаются в пять газообразных компонентов (оксид углерода (CO), углекислый газ (CO₂), метан (CH₄), водород (H₂) и вода (H₂O)).

Исходя из вышеизложенного можно сделать следующие выводы:

1. В ближайшее десятилетие намечены планы развития малых сельскохозяйственных производств, в том числе предприятий по разведению сельскохозяйственной птицы и остро стоит вопрос утилизации образующихся отходов.

2. Основным условием успешной работы птицеводческих предприятий является бесперебойное энергоснабжение, так как даже получасовое отключение электроэнергии может привести к крупным финансовым потерям.

3. В результате литературного обзора была определена линия поведения в поиске наилучших инженерных решений для утилизации многотоннажных углеродсодержащихся отходов птицеводства, которой является газификация данных отходов с получением высококалорийного синтез-газа для энергообеспечения предприятия.

4. Разработана уточнённая классификационная схема существующих на сегодняшний день газификационных установок, которая послужит для

разработки новых и оценке и модернизации существующих газификационных установок. Газификационные установки разбиты на 3 группы: по виду газифицирующего агента, по конструкции и по источнику теплового воздействия. Для работы принята группа газификационных установок, в которых отмечается не полная проработка процессов и конструкций.

5. Выявлено, что наилучшим направлением получения высококалорийного синтез-газа из углеродсодержащих отходов птицеводства являются газификационные установки, реализующие реакцию парового риформинга в связи с тем, что реакция, протекающая в присутствии водяного пара, приводит к образованию высококалорийных компонентов оксида углерода (CO) и водорода (H_2).

6. В идеальных реакциях процесса газификации отсутствует азот (N_2) ввиду того, что азот является балластовым газом и требует удаления из топливного синтез-газа.

7. Таким образом, утилизация помёта и внедрение предлагаемых инженерных решений является весьма актуальной, так как происходит разрыв цепочки при производстве продукции от сырья до образования отхода с появлением нового звена. При включении в технологическую линию установки для получения топливного синтез-газа из отхода на стадии ее образования, даёт предприятию наилучшие характеристики по энергетическим показателям, за счёт обеспечения бесперебойности в энергоснабжении потребителей 1 и 2 категории, а также улучшает экологические показатели, связанные со снижением эмиссии парниковых газов. Это позволит птицеводству перейти на экономику замкнутого цикла, а авторская идея внедрения установки соответствует Национальному проекту «Экология» по направлению: утилизации и переработки отходов и снижения выбросов в атмосферу.

ГЛАВА 2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И ОБОСНОВАНИЕ РЕЖИМОВ ЭКСПЛУАТАЦИИ РАЗРАБАТЫВАЕМОЙ ГАЗИФИКАЦИОННОЙ УСТАНОВКИ

2.1 Модель расчёта количества образующегося отхода (помёта) для обоснования выбора характеристик газификационной установки

Повышение экологической безопасности животноводческой и птицеводческой отраслей связано, прежде всего, с рациональным использованием основных отходов – естественных выделений животных и птицы. Как указывается в рекомендациях по организации и проведению производственного экологического контроля систем переработки и использования помёта, надо иметь в виду, что объём помёта, образующегося на птицеводческом предприятии, существенно изменяется в зависимости от способов содержания птицы, системы удаления помёта, временного хранения, подготовки для дальнейшего использования, транспортировки к месту использования, непосредственного использования [7, 8].

Естественные выделения (экскременты), в данном случае их объём, зависят, как известно, от ряда технологических процессов. Например, интенсивности кормления, поения и рациона птицы.

В связи с этим актуальной становится разработка программного обеспечения, которое позволит точно рассчитать суточное и годовое образование помёта.

Программное обеспечение должно основываться на алгоритме оценки количественных характеристик образования как отходов в виде помёта и подстилки, так и с учётом исходной влажности этих отходов.

Предлагаемая ниже методика расчёта количества образовавшегося отхода для данного объекта при напольном подстилочном содержании птицы основана на данных практического руководства по определению энергозатрат и энергоёмкости производства продукции, а также потребностей в энергоресурсах [69, 70].

Количество образования отхода определяется по формуле:

$$V = C \cdot A \cdot G, \quad (2.1)$$

где V – количество образования помёта, тонн за один повтор (период выращивания птицы); C – период выращивания птицы, сут.; A – заданная производительность предприятия за один повтор, голов; G – выход помёта от одной птицы (таблица 2.1).

Таблица 2.1 – Расчётное среднесуточное количество, влажность и объёмная масса отходов для птицеводческого предприятия с подстилочным содержанием птицы

Виды и возрастная группа птицы	Выход помёта на голову в сутки, г	Расчётная влажность помёта, %
Взрослая птица		
Куры	175 – 300	71 – 73
Гуси	594	80 – 82
Молодняк на мясо		
Цыплята-бройлеры в возрасте 1 – 9 недель (напольное)	158	66 – 74
Гуси в возрасте до 9 недель	480	76 – 78
Примечание: усушка помёта (взрослых и молодняка при напольном содержании) составляет 50 %. При содержании птицы на подстилке в птичниках с помётными коробами следует считать: в коробах – на подстилке – 40 % помёта.		

Для определения итогового объёма образования подстильно-пометной массы необходимо учесть способ содержания птицы, а именно наличие подстилки. В качестве подстилки используется опилки из хвойных пород деревьев. Общее количество образования помёта с подстилкой после завершения одного периода включающий посадку, выращивание птицы и удаление птицы из птичника рассчитывается по формуле:

$$M = A \cdot P / 1000 + V \cdot K, \quad (2.2)$$

где M – общий объём образования подстильного помёта, тонн; A – заданная

производительность предприятия за один повтор, голов; P – количество опилок на 1 птицу, кг; V – объём образования помёта, тонн за один повтор; K – коэффициент усушки.

Заданная производительность предприятия A за один повтор и количество опилок в птичнике на 1 птицу P , принятое в соответствии с «Методическими рекомендациями по технологическому проектированию птицеводческих предприятий» РД-АПК 1.10.05.04-13, составляет 0,9 кг. Коэффициент усушки помёта путём естественной циркуляции воздуха в самом птичнике при подстилочном содержании птицы оставляет 40 % объёма.

Все расчёты выполнены в LabVIEW (Laboratory Virtual Instruments Engineering Workbench), преимуществом которого является возможность задания входных параметров в режиме реального времени. Результаты, соответственно, получаем также в режиме реального времени, не считая задержки вычисления, которая зависит от сложности алгоритма.

На данную модель получено Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ (см. Приложение 3) № RU 2017618319, 27.07.2017 [84, 85].

2.1.1 Обоснование конструкции газификационной установки для действующего птицеводческого предприятия

Во избежание комкования и для равномерного распределения температур в объёме газификационной установки предполагается механизировать процесс газификации с помощью мешалок.

Целью перемешивания является получение однородной смеси, а также интенсификация процессов тепло-массообмена как физического, так и в сочетании с химическими реакциями [80, 94, 95].

Конструктивное исполнение смесителей очень разнообразное. Смесители можно классифицировать на основе так называемой α -, β -, γ -классификации, где α – некоторый независимый классификационный признак, β – видовые группы объектов по α -признаку, γ – внутривидовая дифференциация конструкции

внутривидовой группы.

Последний признак характеризует конструктивные отличия модели одной видовой группы (таблица 2.2) [20, 81].

Таблица 2.2 – Классификация смесителей

Классификационный признак	Видовые группы объектов
Способ воздействия	Гравитационное
	Центробежное
	С псевдооживлением
Механизм смешивания	Конвекционный
	Диффузионный
	Смешанный
Организация потока частиц	Циркуляционная
	Хаотическая
Скоростной режим смесителя	Тихоходный
	Скоростной
Непрерывность рабочего процесса	Периодического действия
	Непрерывного действия
Принцип загрузки	Верхний
	Горизонтальный
	Оборотной ёмкостью
Принцип разгрузки	Горизонтально непрерывный
	Нижний цикловой или непрерывный
	Со съёмной ёмкостью
Вид и количество активных органов	Лопастные
	Ленточные
Способ загрузки / разгрузки	Ручной
	Механизированный
	Автоматизированный

Для обоснования конструктивных характеристик газификационной установки и механического смешивающего устройства (смесителя) проведён расчёт по следующей методике.

2.1.2 Методика расчёта

Расчёт обоснования конструкции газификационной установки проводится по следующей методке. В первую очередь требуется задаться следующими условиями:

А) Расход подстильно-пометной массы рассчитывается из того соображения, что необходимо утилизировать весь объём образующегося помёта с подстилкой, не нарушая требований экологического законодательства о сроках хранения для дальнейшей утилизации, который по законодательству РФ составляет 11 месяцев [88, 89].

Б) При эксплуатации газификационной установки предусмотрено планомерное в течение 11 месяцев утилизация всего объёма образованного отхода. Одним из важных показателей для обеспечения данного условия является режим работы: производительность установки (5 кг/ч), которая была принята в качестве основного.

Методика расчёта:

1. Определение ёмкости одной загрузки определяется по формуле:

$$V_K = \Pi / z_p, \quad (2.3)$$

где Π – производительность, м³/ч; z_p – число загрузок установки сырьём в час.

Число загрузок определяется по формуле:

$$z_p = 60 / t_{\text{общ}}, \quad (2.4)$$

где $t_{\text{общ}}$ – время цикла, включающее время загрузки, перемешивания и выгрузки,

$$t_{\text{общ}} = t_{\text{загр}} + t_{\text{пер}} + t_{\text{выгр}}, \quad (2.5)$$

где $t_{\text{загр}}$ – время загрузки, ч; $t_{\text{пер}}$ – время процесса, ч; $t_{\text{выгр}}$ – время выгрузки, ч.

2. Определение размеров корпуса газификационной установки

При расчете учитывается смешивающее устройство и его геометрические характеристик.

Радиус корпуса газификационной установки определяется по формуле:

$$R = 3\sqrt{V} / (\cos\varphi \cdot \psi \cdot 2 \cdot i_{\text{л}}), \quad (2.6)$$

где $\varphi = 45^\circ$ – угол наклона лопастей к горизонту; ψ – коэффициент наполнения корпуса газификационной установки; $i_{\text{л}}$ – число лопаток на валу.

Ширина корпуса рассчитывается по формуле:

$$B = R \cdot (\cos\varphi + 1), \quad (2.7)$$

где R – радиус корпуса газификационной установки, м.

Рабочая длина корпуса рассчитывается по формуле:

$$L = 0,14 \cdot i_{\text{д}} \cdot B, \quad (2.8)$$

где B – ширина корпуса, м.

Высота корпуса рассчитывается по формуле:

$$H = 2,0 \cdot R, \quad (2.9)$$

где R – радиус корпуса газификационной установки, м.

3. Число оборотов вала смесителя определяется по формуле:

$$n_B = (96 / G) + 52, \quad (2.10)$$

где G – весовая ёмкость газификационной установки,

$$G = 10 \cdot V_K \cdot \delta_0, \quad (2.11)$$

где δ_0 – объёмная масса загруженного сырья, т/м³; V_K – ёмкости одной загрузки.

4. Передаточные отношения редуктора рассчитываются по формуле (2.12)

$$i_{\text{ред}} = n_B / n_{\text{дв}}, \quad (2.12)$$

где n_B – число оборотов двигателя, мин⁻¹; $n_{\text{дв}}$ – число оборотов вала.

5. Мощность двигателя смесителя определяется по формуле:

$$N_{\text{дв}} = (K_y \cdot 2K \cdot \omega^2 \cdot G \cdot i_{\text{д}} \cdot \gamma) / \eta, \quad (2.13)$$

где K_y – коэффициент установочной мощности (задаётся равным 1,2);

K – расчётный параметр, зависящий от свойств загруженного материала:

$$K = 0,7 + 30 \cdot \sigma, \quad (2.14)$$

ω – угловая скорость вращения вала, которая определяется по формуле:

$$\omega = (\pi \cdot n_B) / 30, \quad (2.15)$$

γ – геометрический параметр лопаток (рисунок 2.1);

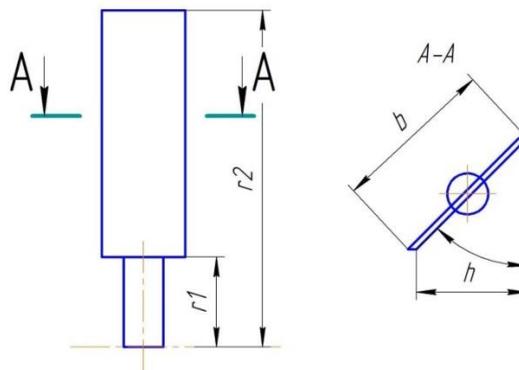


Рисунок 2.1 – Геометрические параметры плужков

$$\gamma = 1/3 \cdot h \cdot (r_2^3 - r_1^3), \quad (2.16)$$

где h – ширина горизонтальной проекции лопатки, м;

$$r_2 \approx R, r_1 \approx 0,5R, \quad (2.17)$$

где η – КПД привода (задаётся 0,9); b – ширина лопатки (0,1 – 0,3 м).

Далее по расчётным значениям мощности подбираются необходимые на привод смесителя типоразмер и мощность двигателя.

6. Силовой расчёт смесителя

Крутящий момент на валу рассчитывается по формуле:

$$M_{кр} = N_{дв} / \omega. \quad (2.18)$$

Окружное усилие, или сила, изгибающая вал, рассчитывается по формуле:

$$P = M_{кр} / r_2. \quad (2.19)$$

Наибольший изгибающий момент, действующий на вал, рассчитывается по формуле:

$$M_{изг} = P \cdot L / 4. \quad (2.20)$$

Расчётный момент рассчитывается по формуле:

$$M_{расч} = \sqrt{M_{изг}^2 + 0,75 \cdot M_{кр}^2}. \quad (2.21)$$

Диаметр вала смесителя рассчитывается по формуле:

$$d_v = 3\sqrt{M_{расч} / (0,1 \cdot [\sigma_{изг}]}, \quad (2.22)$$

где $\sigma_{изг}$ – допустимое напряжение на изгиб, кПа (для углеродистых сталей задаётся $10 \cdot 10^4$ кПа).

По рассчитанной методике автором разработана кинематическая схема привода мешалок. Функциональное предназначение мешалок является дробление и интенсификация (рисунок 2.2).

Смеситель работает следующим образом. Вал 7 с расположенными на нём плужками 6 (лопатками) приводится в движение электродвигателем 1. Электропитание на электродвигатель подается от внешней сети или от электрогенератора, соединённым через муфту 2, и регулятором скорости вращения – ременной передачей 3. В корпус газификационной установки 5 вал вмонтирован через подшипник 4. Направление вращения вала происходит по часовой стрелке 8.

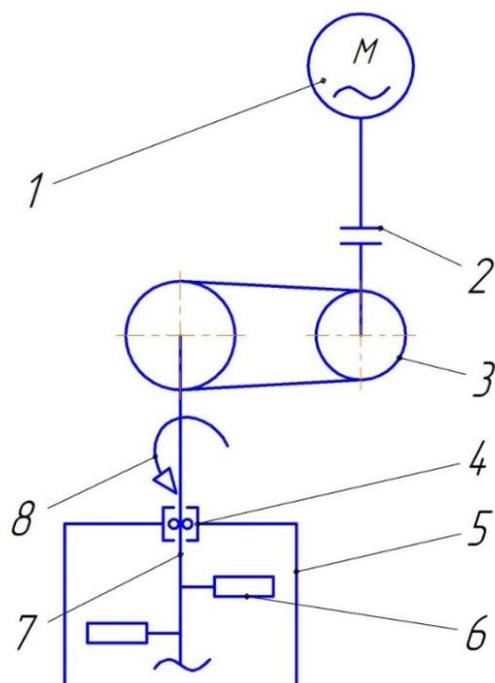


Рисунок 2.2 – Кинематическая схема привода смесителя: 1 – электродвигатель; 2 – муфта; 3 – ременная передача; 4 – двусторонний радиально-упорный подшипник качения; 5 – корпус газификационной установки; 6 – плужки; 7 – вал; 8 – направление вращения вала

Методика расчёта, приведённая в главе, позволит подобрать и обосновать материал и конструктивные особенности смесителя и газификационной установки в целом для надёжной продолжительной работы без капитального ремонта.

2.2 Моделирование газификации на основе химически равновесного состояния реагирующей системы

Процессы преобразования химической энергии компонентов топлива в тепловую энергию продуктов сгорания характерны для различных систем. Рабочими объёмами, в которых происходят эти процессы, могут быть камеры сгорания двигателей, топочные камеры теплоэлектростанций или газогенераторных установок.

Сложный комплекс протекающих в этих установках аэротермохимических процессов характеризуются наличием в рабочих объёмах многофазного тела с широким диапазоном изменения температур (от сотен до нескольких тысяч

градусов), химических превращений, изменения параметров состояния рабочего тела на фоне внутрифазного и межфазного тепло- и массообмена и сложной аэродинамической картиной движения рабочего тела и т.д. Данные характеристики и определяют в конечном итоге энергетические и экологические характеристики конкретной энергоустановки.

Одним из путей прогнозирования процесса газификации в таком сложном комплексе процессов является метод математического моделирования.

В ряду отечественных учёных, которые занимались теорией физико-химических процессов в тепловых двигателях и энергетических установках и предложили модели, описывающие столь сложные процессы в двигателях внутреннего сгорания и двигателях других аппаратов, является академик РАН Алемасов В.Е. [3, 16].

В настоящей работе математические модели, предлагаемые авторами [3, 16, 32], использованы для процессов получения газообразного топлива при воздействии на загруженный в газификационную установку материала высокой температуры.

Многолетние теоретические исследования в этой области были использованы российскими специалистами при разработке моделей для процессов получения газообразного топлива в результате высокотемпературных процессов [16, 21].

Предполагается, что поступающие в локальную зону течения реагенты мгновенно перемешиваются с компонентами, уже находящимися в этой зоне. Химическое взаимодействие подчиняется основным положениям химической кинетики – закону действующих масс. Все превращения происходят в виде независимых друг от друга элементарных реакций. Механизм химического взаимодействия представлен совокупностью таких элементарных химических реакций [16].

Вывод уравнений изменения состава газовой смеси получаемой от термического воздействия на материал представлен в [16, 21], а приведённая здесь запись уравнений отличается отдельным представлением составляющих

для химических реакций и для массообменных процессов:

$$d\gamma_i^Z / dt = - \exp(\gamma_i^Z) [\sum v_{ij} \Omega_j^Z + S_{iz} + R_0 T_Z / p_Z - S_{iz} - \exp(-\gamma_i^Z)] + \\ + \sum_q [\sum_j v_{qj} \Omega_j^Z + S_{qz} + R_0 T_Z / p_Z - S_{qz} - \exp(-\gamma_q^Z)] \quad (2.23)$$

где $\Omega_j^Z = \kappa_j (p_Z / R_0 T_Z)^{m_j} \exp(-\sum_l n_{lj} \gamma_l^Z)$; $j=1, \dots, n_r$; $I, I, q = 1, \dots, n_S$; $Z = 1, \dots, n_Z$; n_S – число индивидуальных веществ; n_r – число химических реакций; n_Z – число реакторов; γ_{lj} , n_{lj} – стехиометрические коэффициенты в химических реакциях; κ_j – константа скорости j -й химической реакции; n_i^Z – мольная доля i -го вещества в реакторе Z ; $\gamma_i^Z = -\ln r_i^Z$; T_Z – температура смеси; p_Z – давление смеси.

Уравнение (2.23), описывающее изменение концентрации компонента, имеющего наибольшую концентрацию, дополняется уравнением нормировки $\sum_i \exp(-\gamma_i^Z)$.

Выражение, определяющее суммарную скорость подвода i -го вещества, вносимого потоками газовой смеси из других граничащих реакторов или внешней среды, в нашем случае это газифицирующий агента, а именно водяной пар, обозначаемый в уравнениях здесь и далее как j -й источник, имеет вид, моль/см³с:

$$S_i^+ = \sum_j m_{jZ} \cdot r_i^j / \mu_j V_Z) 10^{-3} \quad (2.24)$$

где r_i^j – мольная доля i -го вещества в газовой смеси, поступающей от источника j ; S_i^+ , S_i^- – суммарные скорости подвода i -го вещества в реактор из различных источников и отвода i -го вещества из реактора соответственно; V_Z – объём реактора.

Вывод уравнений изменения массы и энтальпии реагирующей газовой смеси находящейся в рабочей зоне газификационной установки основан на законе сохранения массы и первом законе термодинамики для открытых систем с переменными массой и объёмом.

При записи уравнения изменения массы газовой смеси в реакторе Z математической модели газификационной установки, разработана схема массообменных процессов (рисунок 2.3) протекающих в газификационной установке, основанная на теории нестационарного реактора идеального смешения [16].

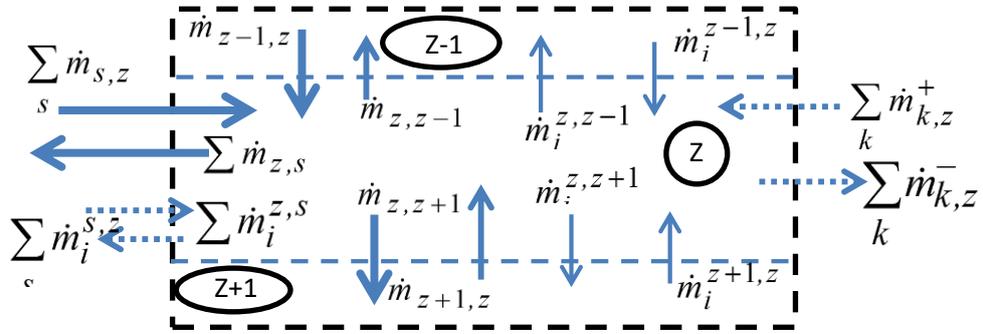


Рисунок 2.3 – Схема массообменных процессов

Следует пояснить обозначения потоков в приведённой схеме. $\sum_S \dot{m}_{s,z}$, $\sum_S \dot{m}_{z,s}$, $\dot{m}_{z-1,z}$, $\dot{m}_{z,z-1}$, $\dot{m}_{z+1,z}$, $\dot{m}_{z,z+1}$ – массовые расходы газовой смеси, характеризующие массообмен реактора Z с другими реакторами и внешней средой. Индекс "S" обозначает все другие внешние объекты (кроме реакторов $Z-1$ и $Z+1$, граничащих с реактором Z); $\sum_S \dot{m}_i^{s,z}$, $\sum_S \dot{m}_i^{z,s}$, $\dot{m}_i^{z-1,z}$, $\dot{m}_i^{z,z-1}$, $\dot{m}_i^{z+1,z}$, $\dot{m}_i^{z,z+1}$ – массовые расходы индивидуального вещества i , вызванные межфазовыми переходами и диффузией; $\dot{m}_i^{z,z-1}$, $\dot{m}_i^{z+1,z}$, $\dot{m}_i^{z,z+1}$ – массовые расходы дисперсной фазы в реактор Z и из него соответственно.

В соответствии с принятой схемой уравнения изменения массы газовой смеси M_Z для каждого реактора имеют вид:

$$dM_Z / dZ = \sum_j \dot{m}_{j,z}^+ + \sum_k (\dot{m}_{k,z}^+ - \dot{m}_{k,z}^-) + A - \dot{m}_z, \quad (2.25)$$

где $\sum_j \dot{m}_{j,z}^+ = \dot{m}_{s,z} + \dot{m}_{z-1,z} + \dot{m}_{z+1,z}$; A – комплекс, учитывающий особенности массообмена реактора Z с другими реакторами и внешними объектами при подводе индивидуальных компонентов i .

$$A_Z = \sum_i (\sum_S \dot{m}_i^{s,z} + \dot{m}_i^{z-1,z} - \dot{m}_i^{z,z-1} - \sum_S \dot{m}_i^{z,s} + \dot{m}_i^{z,z+1} - \dot{m}_i^{z,z+1}). \quad (2.26)$$

$$\dot{m}_z = \sum_S \dot{m}_{z,s} + \dot{m}_{z,z-1} + \dot{m}_{z,z+1}, \quad (2.27)$$

где \dot{m}_z – масса газовой смеси в реакторе Z .

Вывод уравнения изменения энтальпии газовой смеси в реакторе z основан на первом законе термодинамики. Для открытой системы переменной массы и объёма уравнение сохранения энергии записывается в виде:

$$d(M_Z u_Z) / d\tau = \sum_j \dot{m}_{j,z}^+ h_j + \sum_k (\dot{m}_{k,z}^+ h_k^+ - \dot{m}_{k,z}^- h_k^-) - p_z (dV_Z / d\tau) \pm (dQ_Z / d\tau) + B_Z, \quad (2.28)$$

где B_Z – комплекс, учитывающий потоки энергии, внесённые и вынесённые из

реактора с потоками индивидуальных компонентов; h_j – удельная энтальпия газовой смеси, вносимый в реактор Z от какого-либо источника вещества j ; h_k^+ , h_k^- – удельная энтальпия дисперсной фазы на входе и выходе из реактора соответственно; u_Z – удельная внутренняя энергия газовой смеси; $dQ_Z / d\tau$ – количество теплоты, получаемой (теряемой) реагирующей системой вследствие теплопроводности.

$$B_Z = \sum_j (\sum_k m_i^{S,Z} h_i^S + m_i^{Z-1,Z} h_i^{Z-1} + m_i^{Z+1,Z} h_i^{Z+1} - \sum_S m_i^{Z,S} h_i^Z + m_i^{Z,Z-1} h_i^Z + m_i^{Z,Z+1} h_i^Z). \quad (2.29)$$

После несложных преобразований уравнения (2.27) с использованием уравнения изменения массы (2.24) и дифференциальной формы выражения, определяющего изменение удельной энергии газовой смеси $du_z / d\tau = dh_z / d\tau - d(p_z V_z / M_z) / d\tau$ получено уравнение изменения удельной массовой энтальпии газовой смеси в реакторе Z :

$$\begin{aligned} dh_Z / d\tau = & \{ \sum_j m_{j,Z}^+ (h_j - h_Z) + \\ & + \sum_k [m_{k,Z}^+ (h_k^+ - h_Z) + m_{k,Z}^- (h_Z - h_k^-)] + \\ & + C_Z + V_Z (dp_Z / d\tau) \} / M_Z, \end{aligned} \quad (2.30)$$

где $C_Z = B_Z - A_Z h_Z \cdot C_Z$.

Определение уравнения температуры смеси в реакторе Z может быть принято:

$$T_Z - T_{on} - [h_Z \mu_Z - \sum_i H_i^{on} r_i^Z] / \sum C_{pi}^{on} r_i^Z = 0, \quad (2.31)$$

где H_i^{on} – мольная энтальпия i -го компонента смеси при "опорном" значении температуры T_{on} , ближайшем к температуре смеси в реакторе T_Z и отличающемся от неё не более чем на 100 К; C_{pi}^{on} – "опорная" мольная теплоёмкость i -го компонента, равная среднему значению на интервале линеаризации.

В работе приняты тепловые граничные условия 3-го рода. Температура рабочего тела влияет на его термодинамические и теплофизические свойства и на скорость химических реакций.

Соотношение (2.31) получено на основе формулы для вычисления энтальпии смеси. При выполнении расчётов с использованием уравнения (2.31) значения энтальпии компонентов смеси аппроксимируются на небольшом

интервале температур, равном 100 К, линейными зависимостями при условии $(T_{on} - 100) \leq T_Z \leq (T_{on} + 100)$.

В итоге кинетическая многореакторная модель представлена системой уравнений (2.23), (2.29) – (2.31). Система уравнений является открытой для её дополнения другими уравнениями, описывающими изменение каких-либо параметров вследствие процессов, характерных для конкретных схем организации горения. Например, при необходимости учёта изменения давления в процессе горения, которое согласно описанной выше физической схеме можно принять одинаковым для нескольких реакторов ($p_Z = p$), в математическую модель включается алгебраическое уравнение для расчёта давления газовой смеси:

$$p - (\sum_Z M_Z) / \sum_Z V_Z / (R_Z \cdot T_Z) = 0. \quad (2.32)$$

В конечном счёте базовая система представляет собой комплексную модель для определения неизвестных $X_Z = [y_{iZ}, M_Z, h_Z, T_Z, p]$ в каждом реакторе.

Для решения уравнений применяется неявный конечно-разностный метод Пирумова У.Г. с последующим использованием метода Ньютона [38].

Объектом моделирования являлись процессы преобразования энергии газообразного топлива при сжигании с воздухом в камере сгорания теплогенератора. Основной целью моделирования было определение режимных и конструкционных параметров газификатора, при которых достигаются максимальная полнота преобразования химической энергии топлива и минимизируются вредные выбросы (оксидов азота (NO_x), оксидов углерода (CO), метана (CH_x) и др.). Использована схема проточного реактора. Давление смеси – 0,1 МПа. Расчёты проводились для смеси продуктов газификации подстилочного помёта в продуктах газификации (синтез-газ) учитывались водород (H_2), оксид углерода (CO), углекислый газ (CO_2), метан (CH_4), азот (N_2).

Математическая модель реализована в программный комплекс, инвариантный относительно состава исходных реагентов и продуктов сгорания, механизма химических реакций (Приложение 9).

Таким образом, система уравнений (2.23, 2.25, 2.30, 2.31, 2.32) полностью

определяет состав продуктов газификации и оказывающих на него факторов [91].

2.3 Термодинамический расчёт равновесия процесса газификации

Целью термодинамического расчёта является получение данных, необходимых для определения размеров газификационной установки, а также для расчёта газодинамических процессов и процессов теплообмена [83].

Метод термодинамического расчёта Токарева Г.Г. [83], применённый для газификационной установки на ископаемом топливе, автором настоящей диссертации используется для расчёта процессов в газификационных установках с загрузкой органосодержащих отходов АПК и, в частности, подстильно-помётной массы.

Расчёт проводился по следующему алгоритму.

1. Определяется элементный состав подстильного помёта, массовые доли: 1) органическая часть: углерод (C), водород (H), азот (N₂), сера (S), кислород (O); 2) минеральная часть: диоксид кремния (SiO₂), оксид кальция (CaO), оксид алюминия (Al₂O₃), оксид железа (Fe₂O₃), оксид магния (MgO), оксид натрия (Na₂O), оксид калия (K₂O), оксид фосфора (P₄O₁₀).

2. Определяется массовая доля воды (влагосодержание).

Далее производится расчёт по следующему алгоритму:

1. Расчёт молекулярной массы смеси определяется по формуле:

$$M_{\text{мс}} = 1 / ((G_{\text{м}} / M_{\text{м}}) + (G_{\text{орг}} / M_{\text{орг}}) + (W_{\text{в}} / M_{\text{в}})), \quad (2.33)$$

где $G_{\text{м}}$ – массовая доля органической части; $G_{\text{орг}}$ – массовая доля минеральной части; $W_{\text{в}}$ – массовая доля воды; $M_{\text{м}}$ – молекулярная масса органической части; $M_{\text{орг}}$ – молекулярная масса минеральной части; $M_{\text{в}}$ – молекулярная масса воды.

2. Теплота сгорания рассчитывается по формуле (2.24) Д.И. Менделеева:

$$Q = (339,12 \cdot gC + 1029,95 \cdot gH - 108,86 \cdot (gO - gS) - 25,12 \cdot W) \cdot 100, \quad (2.34)$$

где g – приставка, учитывающая атомарный вес молекулы в молекулярной массе смеси.

3. Проведение термодинамических расчётов

Для высокотемпературных процессов в газификационной установке характерна модель, в которой учитываются процессы термической диссоциации. Механизм термической диссоциации описан в работе [3] и в определённых условиях может устанавливаться состояние равновесия. Важнейшим фактором, определяющим равновесие, является температура и давление в объеме газификационной установке.

Расчёт состоит в определении параметров в сечении установки и включает следующий алгоритм.

1. Термодинамические параметры процесса разложения/деструкции

Одним из уравнений для принятия модели процесса является уравнение сохранения энергии, записываемое для единицы массы загружаемой биомассы:

$$i_{oc} - i_T = 0, \quad (2.35)$$

где $i_{oc} - i_c + \omega_c^2 / 2$; i_{oc} – энтальпия торможения продуктов газификации на выходе из газификационной камеры; i_T – энтальпия биомассы; ω_c – скорость потока.

2. Термодинамический расчёт процесса течения

Для определения термодинамических параметров используют два уравнения:

- уравнение постоянства энтропии:

$$\varphi_1(p, T) = s(p, T) - s_0 = 0. \quad (2.36)$$

- уравнение, характеризующее заданный параметр сечения газификационной камеры:

$$\varphi_2(p, T) = 0. \quad (2.37)$$

Затем вычисляют химический состав и свойства продуктов газификации, соответствующие заданным температуре и давлению.

Решение данных уравнений выполняют методом Ньютона.

3. Определение параметров процесса течения

После выполнения термодинамических расчётов, включающих расчеты химического состава, свойств и параметров рабочего тела, а именно биомассы загруженной в объем газификационной установки определяются параметры

процесса течения.

Скорость продуктов разложения биомассы рассчитывают по формуле:

$$\omega = \sqrt{2} \cdot (i_T - i). \quad (2.38)$$

Алгоритм термодинамического расчёта даёт полное представление процессов, протекающих в камере газификационной установки.

2.4 Обоснование конструктивных параметров газификационной установки с новым газифицирующим агентом

Как отмечалось в первой главе, существующие установки имеют перспективы внедрения. Основными газифицирующими агентами данных установок преимущественно являются воздух и выхлопные газы, в которых присутствуют нежелательные для окружающей среды компоненты и соединения оксидов азота (NO). В работе [22] отмечается повышение калорийности синтез-газа благодаря добавлению водяного пара, но при этом температура процесса и концентрации основных составляющих синтез-газа в газификационной камере варьируется в широком диапазоне. В связи с этим требуется разработка новой газификационной установки для выработки синтез-газа, за счёт которой будет возможно повысить качество синтезируемого газа и снизить влажность путём термической конверсии молекул воды в высококалорийный синтез-газ и предложить оптимальные режимы работы для стабильной с высокими показателями по энергетическим и экологическим показателям работы.

При разработке новых газификационных установок основной научно-технической проблемой является повышение степени конверсии биомассы в горючие газообразные продукты. Основная цель газификации – получение смеси горючих газов (оксид углерода (CO), водород (H₂), метан (CH₄) и др.). Тепловая энергия, необходимая для газификации исходных материалов, чаще всего получается при сжигании части биомассы при подводе предварительно нагретого воздуха (аналогично в установках, приведённых в I главе работы) в количестве существенно меньшего стехиометрического. В этом случае в

продуктах газификации присутствуют такие продукты горения, как углекислый газ (CO_2), вода (H_2O) и молекулярный азот (N_2). При повышении концентрации азота (N_2) существенно снижается удельная теплота сгорания синтез-газа. При последующем сжигании синтез-газа возрастают выбросы оксидов азота (NO_x).

В настоящей работе при обосновании конструкции и процессов газификации применялись численные и экспериментальные исследования на основе опытно-лабораторных испытаний на базе кафедры «Инженерная экология и безопасность труда» Казанского государственного энергетического университета совместно с эколого-химической лабораторией, аккредитованной в Росаккредитации Минэкономразвития.

Исключить высокое содержание азота (N_2) из продуктов сгорания в синтез-газе можно, применяя в качестве газифицирующего агента высокотемпературный водяной пар, так как в водяном паре отсутствует азот (N_2), присущий воздуху и воздушной газификации.

При водяной конверсии благодаря паровой газификации происходит следующая реакция:



При использовании водяного пара в процессе газификации отходов птицеводства наблюдается снижение концентрации такого вредного для окружающей среды соединения, как оксид азота (NO).

Следующая реакция разложения монооксида азота на атомарный азот обосновывает экологичность предлагаемой установки [21, 104]:



При воздушной газификации, кроме азота в воздухе, азот также содержится в отходах птицеводства. Он является балластом при определении теплоты сгорания.

Исследования позволили сделать выводы о преимуществах применения в качестве газифицирующего агента водяной пар. В литературных источниках описаны исследования о регулировании процесса газификации по коэффициенту избытка воздуха и определения состава синтез-газа (таблица 2.3) [104].

Таблица 2.3 – Состав синтез-газа

Параметры	Значения			
	0,1	0,2	0,3	0
Коэффициент избытка воздуха	0,1	0,2	0,3	0
H ₂ , % об.	39,38	29,36	21,94	52,50
CO, % об.	37,59	29,49	23,19	43,91
N ₂ , % об.	18,13	29,42	34,95	2,61
Теплота сгорания, кДж/кг	9259	7410	5882	11233

Из таблицы 2.3 видно значительное снижение N₂ при регулировании подачи воздуха, а теплота сгорания при этом увеличивается.

Следовательно, можно сделать вывод о перспективности паровой газификации.

Наиболее соответствующим способом для изготовления газификатора углеродсодержащих отходов является метод с внешним подводом теплоты [64, 66, 122, 128]. Применение указанного выше способа наиболее рационально в предложенной нами установке для газификации помёта (рисунок 2.4) [25].

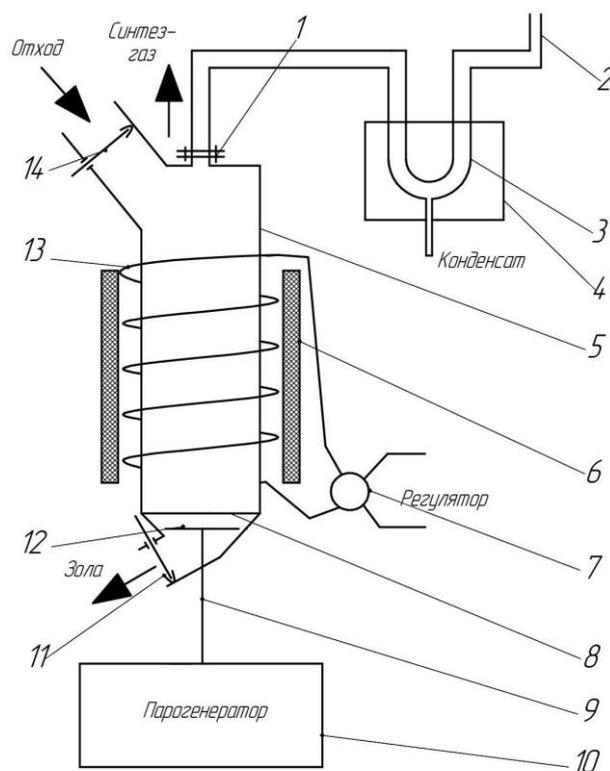


Рисунок 2.4 – Установка для газификации помёта: 1 – выходной штуцер синтез-газа; 2 – патрубок для отвода синтез-газа; 3 – конденсатоотводчик; 4 – конденсатор; 5 – корпус; 6 – теплоизолирующий материал; 7 – регулятор напряжения; 8 – колосниковая решётка; 9 – коллектор; 10 – парогенератор; 11 – выгрузная заслонка; 12 – форсунки подачи пара; 13 – электронагреватель; 14 – загрузочная заслонка

Корпус 1, в котором отсутствуют подвижные элементы. В верхней части корпуса расположены загрузочная заслонка 14 и выходной штуцер синтез-газа 1, а в нижней части расположены колосниковая решётка 8, форсунки подачи пара 12 и выгрузная заслонка 14. Пар вырабатывается в парогенераторе и подаётся по коллектору 9. Корпус нагревается от электродвигателя 13. Температура устанавливается при помощи регулятора напряжения 7. Для снижения потерь в окружающую среду внешне газификатор покрыт теплоизолирующим материалом 6, в верхней части расположен также конденсатор 4 с конденсатоотводчиком 3 и патрубком для отвода синтез-газа 2.

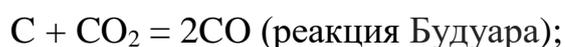
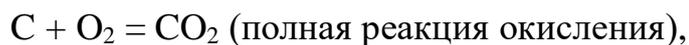
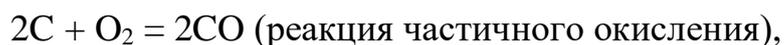
Применение предлагаемой установки позволит:

- снизить эмиссию парникового углекислого газа (CO_2) благодаря эндотермической реакции, сопровождающейся образованием монооксида углерода (CO);

- снизить вредные для окружающей среды оксида азота (NO_2) в синтез-газе, так как в зоне газификации отсутствуют примеси, присущие атмосферному воздуху и выхлопным газам;

- снизить присос атмосферного воздуха, что способствует более точному регулированию процесса, который достигается исключением подвижных элементов, присущих аналогичным конструкциям, указанным в главе 1 [10, 67];

- повысить калорийность синтез-газа благодаря точному расчёту необходимого числа молей (молекулярных и атомных) газифицирующего агента и известному числу молей компонентов в сырье, необходимых для выполнения следующих реакций:



- повысить ресурс и надёжность газификационной установки путём

исключения утечки из подвижных элементов в результате износа уплотнителей.

Расчёт обоснования конструкции проводится по методке представленной ниже.

Исходные данные принимаются для птицеводческого предприятия поголовьем 5000 голов птицы.

Объём образования подстилочного помёта на птицеводческом предприятии – 3,5 т/сут.

Производительность установки по результатам теоретических и экспериментальных исследований составляет 5 кг/ч. Среднее время выдержки 1 загрузки – 1 ч.

1. Расход ППМ рассчитывается из того соображения, что утилизировать весь объём образующегося помёта необходимо, не нарушая требований экологического законодательства о сроках хранения для дальнейшей утилизации, который составляет 11 месяцев.

2. При эксплуатации газификационной установки предусмотрена планомерная, в течение 11 месяцев, утилизация всего объёма образованных отходов. Одним из важных показателей для обеспечения данного условия является режим работы: производительность (5 кг/ч), которая была принята в качестве основного.

3. Объём газификационной установки вычисляется по формуле исходя из плотности помёта:

$$V = M / \rho = 5 / 800 = 0,01 \text{ м}^3. \quad (2.41)$$

Соответствующие габаритные размеры диаметра и высоты рассчитаны следующим образом.

4. Высота установки рассчитывается по формуле:

$$H = V / (\pi R^2). \quad (2.42)$$

Высота установки составляет 1,27 м.

5. Площадь поверхности газификационной установки рассчитывается по формуле:

$$S_{\text{пов}} = \pi/4 (D^2 + (8V / \pi D)), \quad (2.43)$$

где D – диаметр газификационной камеры, м.

В результате расчёта получаем необходимую площадь газификационной камеры, равную $0,207 \text{ м}^2$.

Неизвестными в данной системе уравнений являются диаметр и высота установки, которые подбираются путём изменения отношений D/H .

2.5 Перспективные решения и математическое обоснование режимных параметров газификационной установки по газификации углеродсодержащих отходов птицеводства

К основным научно-техническим проблемам при разработке новых, перспективных газификаторов или модернизация существующих относятся: увеличение степени превращения биомассы в горючие газообразные продукты (оксид азота (CO), водород (H_2), углеводороды (C_nH_m), достижение высокой полноты сгорания биомассы или синтез-газа и снижение концентрации вредных и загрязняющих веществ в продуктах сгорания.

В настоящее время решение таких проблем осуществляется в основном экспериментальными методами. Однако теоретический анализ очень сложного набора взаимосвязанных физико-химических процессов также имеет решающее значение. Математическое моделирование является эффективным подходом к решению указанных технических проблем [103, 118, 121]. Математическое моделирование может быть использовано для прогнозирования состава и свойства продукта газификации и продукта сгорания биомассы. Наряду с процессами тепломассопереноса, термодинамические и химические процессы должны быть адекватно учтены в моделях. Равновесие [108, 111, 120] и кинетический [105, 110, 133] подходы используются в большинстве известных моделей. Многие кинетические модели основаны на концепции реактора идеального смешения, учитывая подробные механизмы химических реакций. Как правило, результаты термогравиметрического анализа используются для определения констант скорости в реакции газификации биомассы.

Математические модели, использующие оба равновесия и кинетические подходы, могут также применяться для описания процессов в различных реакционных зонах газификаторов и установок для сжигания синтез-газа или биомассы.

При моделировании газификационных установок принято рассматривать два типа математических моделей, описывающих состояние термодинамического равновесия.

Математические модели первого типа основаны на расчёте состава продуктов газификации с использованием равновесия константы реакций газификации биомассы (стехиометрическая модель). *Во втором типе математических моделей* состав рассчитывается так, чтобы он соответствовал минимальному значению свободной энергии Гиббса (нестехиометрическая модель) [91].

При моделировании приняты следующие допущения:

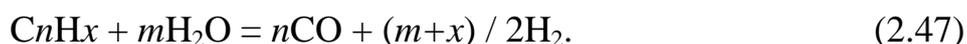
– весь углерод в биомассе превращается в газообразный продукт вследствие ввода в процесс газификации водяного пара, описываемые следующими реакциями:



– частицы золы не участвуют в реакциях газификации, так как в основном составе имеются инертные кремний (Si), кальций (Ca), алюминий (Al) и железо (Fe);

– уравнение состояния идеального газа применимо к отдельным газам и газовой смеси в целом (уравнение Менделеева – Клайперона);

– образование смолы считается незначительным ввиду организации в газификационной установке высоких температур и осуществления следующих реакций:



примечание: смолистые соединения возникают при термической деструкции

древесины, являющейся подстилкой в птичнике, но в смеси с помётом не являются значительными и влияющими на адекватность модели;

– давление постоянно и равно атмосферному, поскольку реакции, протекающие в газификаторе, зависят только от природы и физического состояния исходного вещества и продуктов реакции, а не от пути, по которому протекает реакция (энтальпия).

– внутри реактора нет температурного градиента, так как поступающие в газификатор сырьё и газифицирующий агент мгновенно смешиваются и равномерно распределяются по всему объёму;

– как правило, оксид углерода (CO), водород (H_2), углекислый газ (CO_2), азот (N_2), вода (H_2O) и метан (CH_4) считаются продуктами газификации. Все представленные составляющие синтез-газа образуются при термической деструкции органических отходов птицеводства (помёта) и участвуют в химических реакциях, в том числе с окружающей средой.

Многокомпонентная реагирующая система в состоянии термодинамического и химического равновесия учитывалась при моделировании газификации биомассы. При постоянном значении давления и температуры состояние равновесия соответствует минимальному значению изобарно-изотермического потенциала G (энергия Гиббса).

Система уравнений, описывающих химическое равновесие для газовой фазы, состоит из нелинейных алгебраических уравнений в логарифмической форме, включающая:

- а) закон действующих масс (диссоциация);
- б) уравнения сохранения вещества;
- в) уравнение, устанавливающее равенство частичных давлений и количество молей веществ в продукте газификации, а также равенство давлений смеси и общее количество молей веществ.

Желаемыми параметрами являются числа молей веществ (молекулярных и атомных) в количестве молей топлива. Принято, что продукты газификации биомассы могут содержать конденсированную фазу, например, в виде мелких

частиц твёрдого углерода и золы. Алгоритм основан на представлении конденсированной фазы как условной частицы с высоким числом (10^3 или 10^4) атомов углерода, используемых для расчёта химического и фазового равновесия гетерогенной смеси [121].

В диссертационной работе биомасса рассматривается как механическая смесь органических и минеральных частей с определённым содержанием влаги.

Влажность биомассы зависит от условий хранения и может достигать высоких уровней, например, до ~ 70 и 90 %.

Органическая часть птичьего помёта содержит в основном углерод и кислород и в меньшей степени водород, азот и серу: 30 – 45, 20 – 45, 3 – 6, 3 – 6 и 0,6 – 0,9 % по массе для углерода (C), кислорода (O), водорода (H), азота (N) и серы (S) соответственно (таблица 2.4).

Таблица 2.4 – Химический состав органической части птичьего помёта

Компонент	Процент
Углерод (C)	48,03
Водород (H)	6,35
Кислород (O)	39,02
Азот (N)	5,90
Сера (S)	0,70

Минеральная часть птичьего помёта содержит соединения кремния, кальция, алюминия, железа, магния, калия, натрия и другие (таблица 2.5).

Данный химический состав минеральной части птичьего помёта в сухом виде, используется для дальнейших расчётов.

Расчёты проводились при условии внешней подачи тепловой энергии, необходимой для поддержания определённого уровня температуры в реакторе.

Таблица 2.5 – Состав минеральной части подстильно-помётной массы

Компонент	Процент
Кремний (Si)	31,06
Кальций (Ca)	15,62
Алюминий (Al)	1,45
Железо (Fe)	6,25
Кислород (O)	45,62

Количество тепловой энергии для подогрева реагирующей системы определялось по формуле:

$$Q = m_b (h_g - h_b), \quad (2.48)$$

где m_b – расход биомассы; h_g – удельная масса энтальпии продуктов газификации при текущей температуре газификации; h_b – удельная масса энтальпии биомассы при начальной температуре.

Определена удельная масса энтальпии биомассы по формуле:

$$h_b = H_u + h_{cp}(1+k_{st}) - k_{st} h_{air}, \quad (2.49)$$

где H_u – низкая теплотворная способность биомассы; h_{cp} – специфическая массовая энтальпия продуктов сгорания при $\alpha = 1,0$ и $T = 273$ К; k_{st} – массовое стехиометрическое соотношение воздуха и биомассы; h_{air} – энтальпия удельной массы воздуха.

Предполагалось, что тепловая энергия для газификации получается путём сжигания определенного количества генерируемого синтез-газа и используется на собственные нужды.

Эта сумма определяется по формуле:

$$m_s = Q / H_{u,s}, \quad (2.50)$$

где $H_{u,s}$ – низкая теплотворная способность синтез-газа.

Для газификации птичьего помёта необходимое количество синтез-газа может достичь 47 % по массе от общего количества генерируемого синтез-газа.

2.6 Обоснование конструкции форсунки для газификационной установки

Основным преимуществом предлагаемой установки являются контролируемые параметры, режимы работы и реакции, протекающие в объёме установки [5].

Форсунка должна обеспечивать непрерывную подачу пара и предотвращение закупоривания. Таким образом, количество подаваемого пара и характер шлакообразования неразрывно связаны между собой.

Существуют 3 способа подачи агента в камеру (рисунок 2.5) [83].

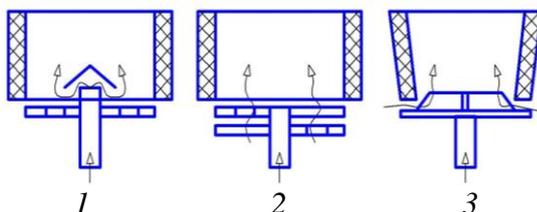


Рисунок 2.5 – Схемы подвода газифицирующего агента: 1 – подача через один патрубков; 2 – распределяется ниже колосниковой решётки; 3 – поступает через щель между корпусом и вращающимся диском

Все 3 способа реализуются в установках различного назначения.

Среди способов подачи агента в камеру наибольшее предпочтение даётся варианту «1». На практике установлено, вариант «1» предотвращает закупоривание отверстий форсунки.

Количество отверстий и их размеры можно определить методом скоростей. Основная формула для расчёта любых трубопроводов:

$$Q = 1/4 \pi \cdot D^2 \cdot v, \quad (2.51)$$

где Q – объёмный расход пара, воздуха или воды, м³/ч; D – диаметр трубопровода, м; v – допустимая скорость потока, м/с.

Для расчёта диаметра трубопровода пара будет справедлива следующая формула:

$$D = \sqrt{(354 \cdot Q) / v}, \quad (2.52)$$

где Q – объёмный расход пара, м³/ч; D – искомый диаметр паропровода, мм; v – рекомендуемая скорость потока, м/с.

По результатам расчета разработана форсунка (рисунок 2.6).

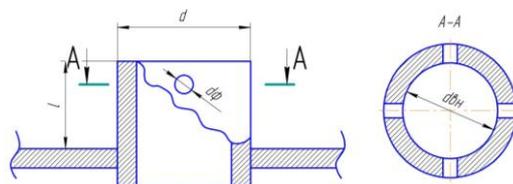


Рисунок 2.6 – Паровая форсунка

После проведения расчётов получаем математический аппарат расчёта газификационных установок с выбором его конструкционных параметров, представленный на рисунке 2.7.

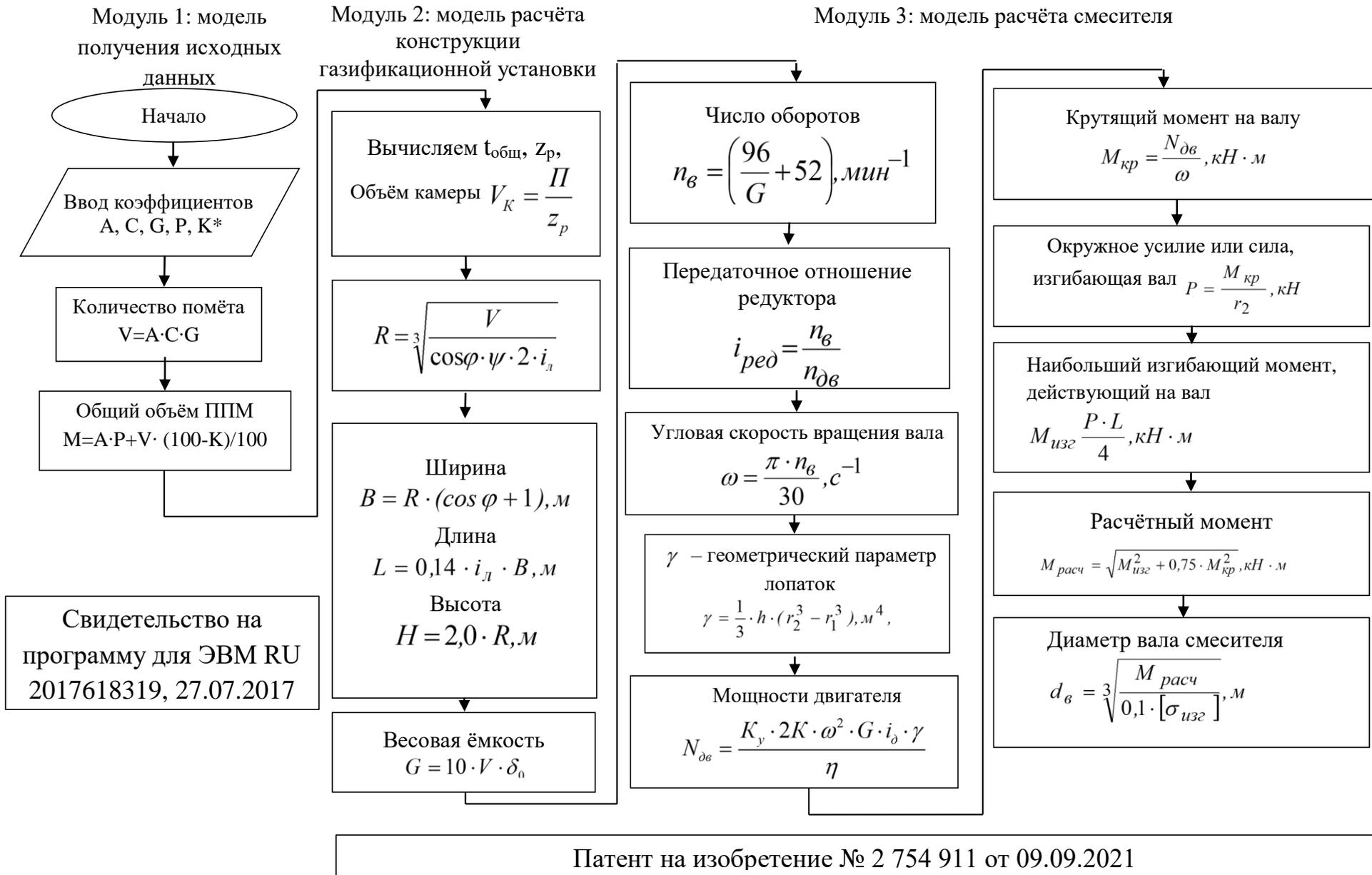


Рисунок 2.7 – Математический аппарат выбора конструктивных параметров газификационной установки

2.7 Результаты численных исследований

Искомыми параметрами численных исследований являются числа молей веществ (молекулярных и атомарных) и число молей топлива. Принято считать, что продукты разложения могут содержать конденсированную фазу, например, в виде твёрдого углерода (C^*). Для расчёта химического и фазового равновесия гетерогенных смесей использовалась система уравнений. Рассмотрим случай присутствия в реагирующей системе только однокомпонентных конденсированных фаз.

В уравнениях диссоциации известны числа молей газовой фазы веществ, присутствующих в смеси также и в однокомпонентной конденсированной фазе. В уравнениях сохранения вещества дополнительными искомыми величинами являются числа молей веществ, образующих однокомпонентные конденсированные фазы. Кроме того, для расчёта состава гетерогенной системы используется алгоритм, основанный на представлении конденсированной фазы в виде условных частиц с большим числом ($b_i = 103$) атомов или молекул [3]. Свойства подстильно-пометной массы характеризуются широким диапазоном изменения элементного состава, зольности и влажности, следствием чего является широкий диапазон изменения теплоты сгорания подстильно-пометной массы. Влажность (W) подстильно-пометной массы зависит от условий хранения и может составлять до $W \approx 35 - 40$ % по массе. В наибольшем количестве (% по массе) в подстильно-пометной массе присутствуют: углерод (C) $\approx 30 - 45$ и кислород (O) $\approx 20 - 45$; содержание водорода, азота и серы: (H) $\approx 3 - 6$, (N) $\approx 3 - 6$, (S) $\approx 0,6 - 0,8$. При выполнении расчётов химического и фазового равновесия принят следующий элементный состав подстильно-пометной массы, % по массе: углерода (C) – 32,69; кислорода (O) – 39,42; водорода (H) – 3,81; азота (N) – 2,83; серы (S) – 0,62. Влажность ППМ принята равной нулю. Диапазон температур в нижней части топочного объёма (зоне термического разложения ПП) составляет 888 – 1264 К. Константа скорости реакции приведена в таблице 2.6.

Таблица 2.6 Константы скорости реакций выгорания конденсированного углерода (C*) ($b_c = 10^3$)

$Lg(A, \text{см}^3/(\text{моль}\cdot\text{с}))$	n	$E, \text{кал / моль}$	Реакция
17,0	-0,5	39320	$\text{C}^* + \text{O}_2 \rightarrow 0,999\text{C}^* + \text{CO}_2$
11,1	0	13900	$\text{C}^* + \text{CO}_2 \rightarrow 0,999\text{C}^* + 2\text{CO}_2$
11,2	0	13900	$\text{C}^* + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 0,999\text{C}^* + \text{CO} + \text{H}_2$

В таблицах (Приложение 7) приведены некоторые из результатов расчётов газификации биомассы, имеющей разную начальную влажность ($W = 0, 10, 20, 30, 40$ масс. %), при различных температурах: удельная массовая энтальпия продуктов газификации (h_g); массовая доля воды ($g_{\text{H}_2\text{O}}$); массовая доля конденсированного углерода (g_{C}); массовая доля серы (g_{Sg}) и низшая теплота сгорания (H_u^{sg}) сухого синтез-газа; состав сухого обеззоленного синтез-газа. На рисунке 2.8 приведены результаты, на которых наблюдаются экстремумы, при которых наблюдается наибольший выход синтез-газа.

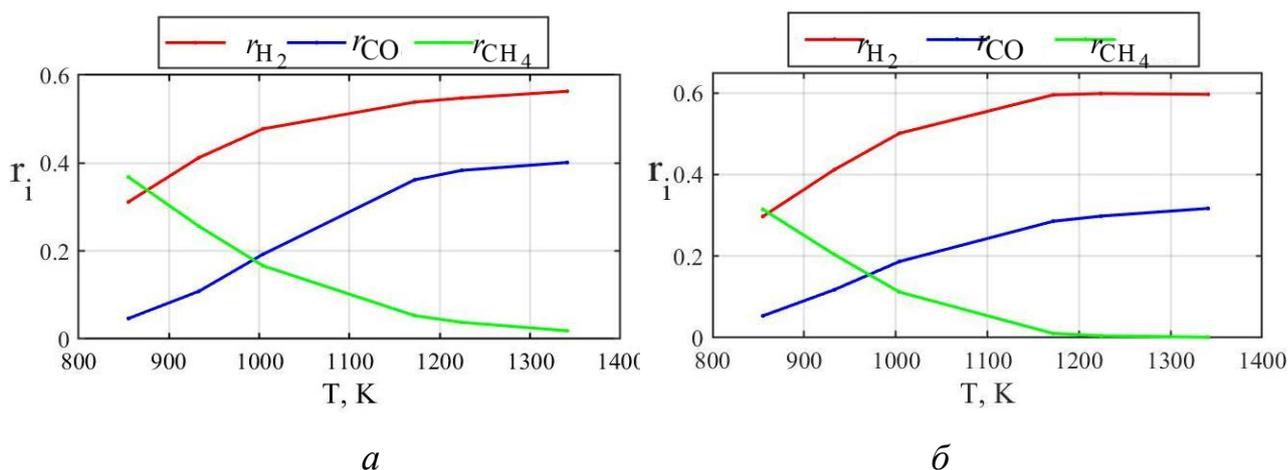


Рисунок 2.8 – Содержание веществ в продуктах газификации ПП (r^i – мольные доли, численно равные объёмным долям): а – без добавления водяного пара; б – при добавлении водяного пара в объёме 40 масс. %

Содержание конденсированного углерода (C*) и паров воды в продуктах термического разложения показано на рисунке 2.9. Сравнительный анализ полученных результатов показал, что при более высоких температурах ($T_1 = 1264$ К) термического разложения в составе продуктов преобладают оксид

углерода (CO) = 54,9 и водород (H_2) = 41,6 % об. При меньших температурах ($T_1 = 888 \text{ K}$) наблюдается достаточно высокое содержание конденсированной фазы углерода (C^*) = 20,6% по массе и веществ, относящихся к продуктам полного окисления углекислого газа (CO_2) = 22,3 и воды (H_2O) = 17,8 % об.

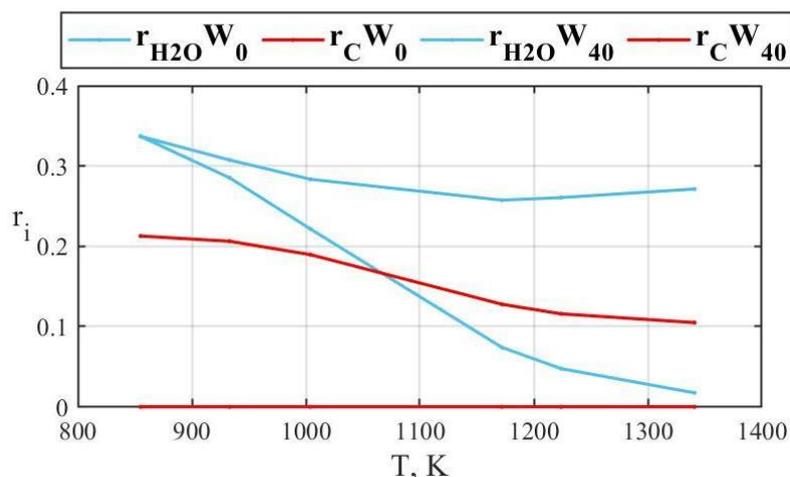


Рисунок 2.9 – Содержание конденсированного углерода (C^*) и воды (H_2O) в продуктах газификации ПП (g_i – массовые доли)

Для моделирования процессов газификации применён реакторный подход, под которым понимается формирование геометрических характеристик объёма газификационной камеры на основе уравнения движения или полуэмпирических моделей течения, а также учитываются тепло-массообменные характеристики между ними [39]. Математическая модель включает уравнения изменения состава реагирующей системы, изменения массы и удельной энтальпии, температуры и состояния. Изменение состояния реагирующей системы в объёме газификатора обусловлено, главным образом, химическим взаимодействием между компонентами смеси и процессами тепло- и массообмена. При составлении программы расчёта выхода синтез-газа (Приложение 8) в составе продуктов газификации учитывалось 45 элементов и веществ, (C^*) и другие связи.

Механизм химических реакций представлен элементарными обратимыми реакциями для реагирующих систем кислород – водород (O–H), углерод – водород – кислород – азот (C–H–O–N), азот – кислород (N–O), сера – водород – кислород (S–H–O).

Константы скоростей реакций выбирались из базы данных The National Institute of Standards and Technology (NIST) (Национальный институт стандартов и технологий (НИСТ), включающей практически все опубликованные результаты кинетики термических газофазных химических реакций [119].

Константы скорости реакций с участием конденсированного углерода (C^*) определялись на основе предварительных вычислений, выполненных авторами, для условий сжигания обогащённых смесей углеводородных соединений (C_nH_m , $n = 6-8$) и воздуха. Одной из задач численных исследований было определение влияния влажности (W) исходного топлива на параметры продуктов газификации и, в конечном счёте, на энергетические и экологические показатели газификационной установки.

Материальный баланс процесса газификации удобно визуализировать в диаграмме Сэнки (рисунок 2.10), что даёт полное представление о всех потоках на входе и выходе из газификационной установки.

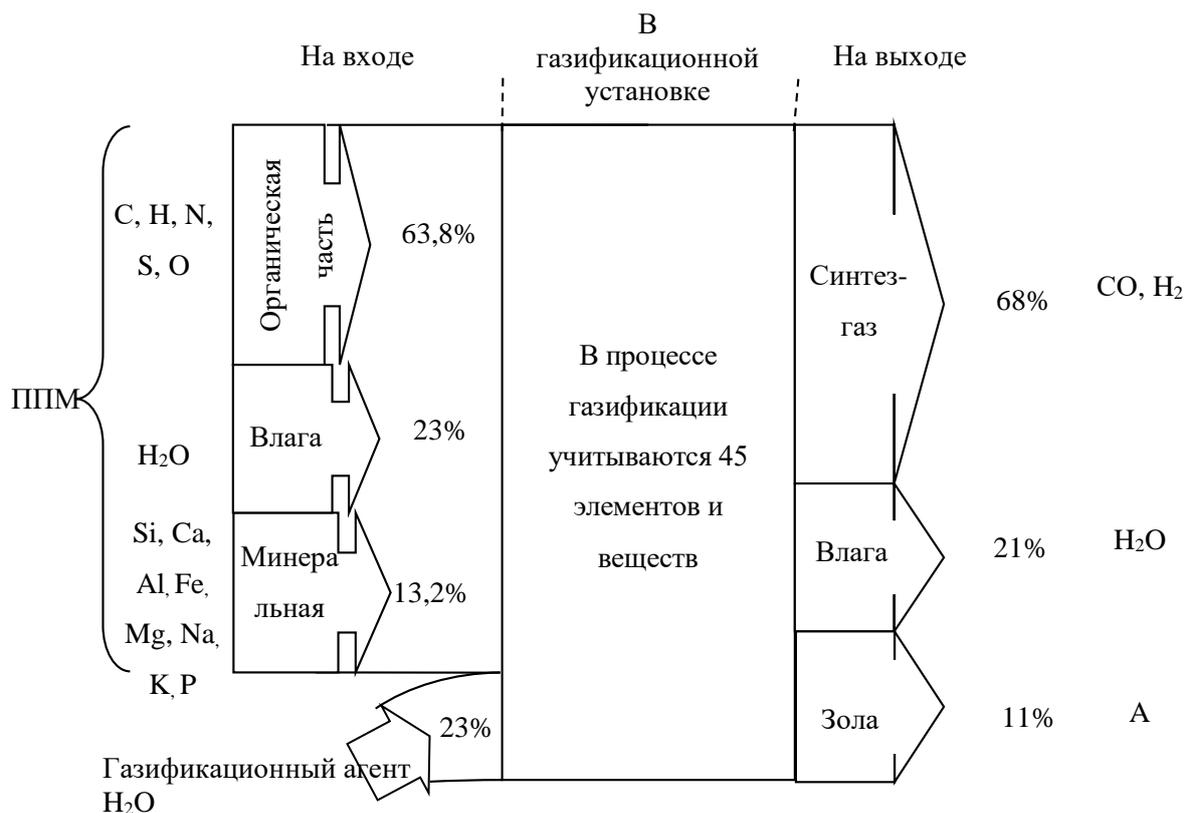
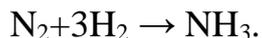


Рисунок 2.10 – Диаграмма Сэнки. Балансовая схема процесса термического разложения в газификационной установке

Азот в помёте реагирует с водородом и в результате реакции, представленной ниже, переводится в растворённый в воде аммиак:



В результате достижения такой реакции предотвращается образование балластового и экологически вредного газа – оксида азота (NO_2).

Исходя из вышеизложенного можно сделать следующие выводы:

1. Для выбора оптимальных параметров газификационной установки на стадии проектирования автором разработана методика расчёта количества образующейся подстильно-пометной массы на птицеводческих предприятиях. Получено свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU № 2017618319 от 27.07.2017.

2. Обоснованы основные направления численных подходов при моделировании сложных процессов в камере газификационных установок.

3. Математическая модель разработана с применением граничных условий 3-го рода и на концепции реактора идеального смешения, в которой температура рабочего тела влияет на его термодинамические и теплофизические свойства и на скорость химических реакций. Значения энтальпии компонентов смеси аппроксимируются на небольшом интервале температур, равном 100 К, линейными зависимостями при условии $(T_{on} - 100) \leq T_Z \leq (T_{on} + 100)$.

4. Кинетическая многореакторная математическая модель представлена системой уравнений (2.33), (2.29) – (2.31), при использовании которой выявлены условия, при которых выход конденсированной фазы будет минимальной, а выход горючего максимальным.

При этом приняты следующие допущения:

- весь углерод в биомассе превращается в газообразный продукт;
- частицы золы не участвуют в реакциях газификации;
- уравнение состояния идеального газа применимо к отдельным газам и газовой смеси в целом (уравнение Менделеева – Клайперона);
- образование смолы считается незначительным.

Таким образом, выявлено, что при режиме работы газификационной установки в диапазоне температур от 600 до 850 К высокое содержание конденсированного углерода (C^*) составило ≈ 32 % мас./масс.

При увеличении температуры газификации до 1273 К C^* снизилось до $C^* \approx 18$ % по массе.

5. Разработан математический аппарат выбора конструктивных параметров газификационной установки, разбитый на 3 модуля, включающий:

- модель получения исходных данных;
- модель расчёта конструкции газификационной установки;
- модель расчёта смесителя.

6. Применённая математическая модель позволила из множества вариантов организации процесса газификации (воздушная, при различных температурах, с применением альтернативного газифицирующего агента) определить наилучшие параметры процесса газификации, при котором достигаются качественно высокие по сравнению с аналогами показатели синтеза-газа. Основными показателями являются: энергетический – калорийность, экологический – снижение азота (N_2).

7. Выявлено, что при паровой газификации образующиеся балластные газы, в том числе азот (N_2), значительно ниже, чем при воздушной газификации 37,95 при коэффициенте избытка воздуха (α) равным 0,3 и 2,61 при $\alpha = 0,0$. При этом теплотворная способность синтез-газа увеличивается до 11 233 кДж/кг по высшей теплоте сгорания.

ГЛАВА 3 ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

3.1 Программа экспериментальных исследований

Важным этапом разработки новой газификационной установки с наилучшими параметрами является проведение экспериментальных исследований.

Целью проведения экспериментов являлась проверка результатов численных исследований. По результатам численных исследований оптимизации режимов работы с подачей альтернативного газифицирующего агента на кафедре инженерной экологии и безопасности труда КГЭУ был собран экспериментальный образец энергетической газификационной установки.

Объектом данного исследования выступал процесс и установка по газификации органических отходов птицеводства, а предметом исследований служили закономерности влияния газифицирующих агентов на состав синтез-газа.

При проведении экспериментальных работ был использован подстилочный помёт крестьянского (фермерского) хозяйства М.В. Чербаева по разведению сельскохозяйственной птицы [90].

Программа экспериментальных действий включала следующие задачи:

1. Определение содержания горючих компонентов в синтез-газе при различных температурах в газификационной камере.
2. Определение влияния температуры на выход синтез-газа.
3. Определение качества синтез-газа при подаче альтернативного газифицирующего агента – пара.
4. Определение сечения форсунки для подачи газифицирующего агента.

Обработка полученных результатов производилась с помощью персонального компьютера на который установлены программные продукты MatLad и Excel.

3.2 Экспериментальное оборудование и приборы

Для того чтобы провести исследования по газификации отходов птицеводства и проверке адекватности математической модели была разработана газификационная установка (рисунок 3.1). На инновационность данной газификационной установки получен патент (Приложение 5) Российской Федерации на изобретение № 2 754 911 полученный в 2021 году и Диплом конкурса 50 лучших инновационных идей для Республики Татарстан в номинации «Патент года».

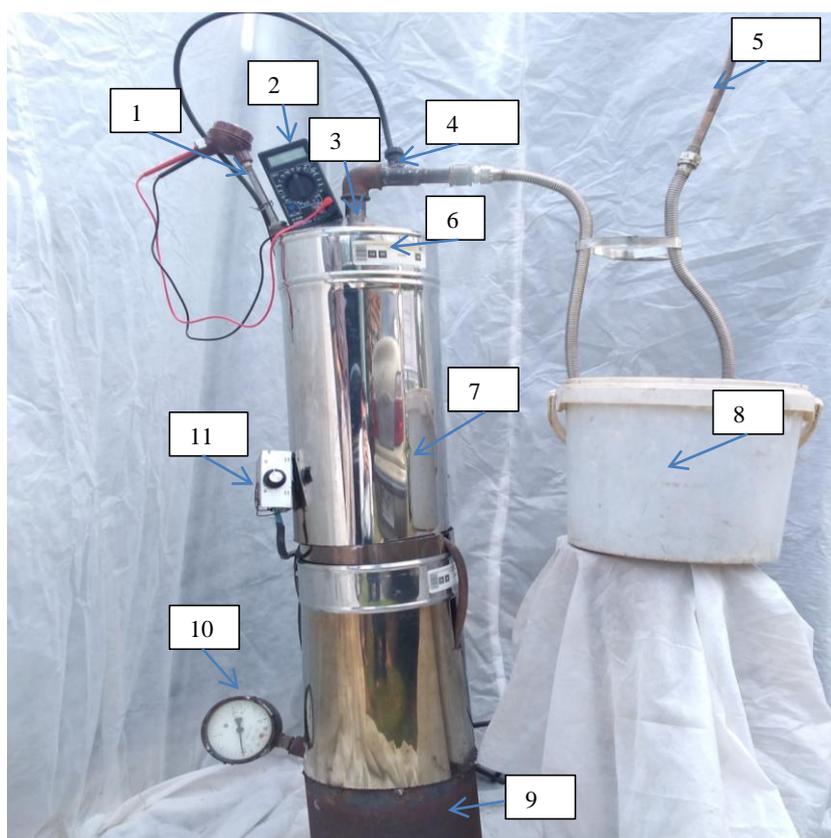


Рисунок 3.1 – Газификационная установка: 1 – термопара; 2 – мультиметр; 3 – выходной штуцер; 4 – пробоотборное отверстие; 5 – факел; 6 – загрузочный люк; 7 – корпус парового газогенератора; 8 – конденсатор; 9 – парогенератор; 10 – манометр; 11 – регулятор нагревателя

Сырьё загружается через загрузочный люк 6. Газификационный агент нагнетается в газификатор 7 через входной патрубок, при этом заслонка находится в горизонтальном положении (закрыто). Газификационный агент, проникая через слой сырья, создаёт кипящий слой и тем самым интенсифицирует

процесс теплообмена с сырьём. Синтез-газ выходит через выходной штуцер 3 расположенный на верхней части установки, который соединён с конденсатором для удаления влаги 8. Водяной пар вырабатывается в парогенераторе 9. Отбор проб синтез-газа производится через пробоотборное отверстие 4. Визуальное наблюдение процесса газификации производится розжигом факела 5. Измерительным оборудованием, установленным непосредственно на корпусе газификационной установки, являются манометр 10, термопара 1, преобразователь сигнала термопары мультиметр 2, регулировка напряжения, подаваемого на нагреватели, происходит с помощью регулятора нагревателя 11.

Согласно ГОСТ 31346-2007 «Установки для переработки помёта. Методы испытаний» для исследований разработанной и собранной автором газификационной установки на основании типовой программы составляют рабочую программу-методику, в которой указывают с учётом особенностей конкретной установки перечень определяемых показателей по каждому виду оценки, режимов, условия и место испытаний, наименования приборов и оборудования, применяемых при исследованиях.

Для количественного химического анализа (КХА) исходного сырья и продуктов газификации привлекалась аккредитованная эколого-химическая лаборатория Инжинирингового центра КГЭУ.

Анализы сырья и золы проводились на приборах и оборудовании (таблица 3.1), установленных в помещениях лаборатории. Выездные измерения проводились на переносных приборах.

Таблица 3.1 – Приборы и оборудование для проведения анализов

Наименование	Изображение прибора/оборудования	Анализируемые показатели
1	2	3
Весы САРТОГОСМ СЕ 623 С. 0.02 класса точности		Для определения веса навески перед экспериментом и после сушки и газификации

Продолжение таблицы 3.1

1	2	3
Муфельная печь SNOL 8,2/1100		Для измерения влажности исходного сырья
Газоанализатор КОМЕТА-М		Анализ продуктов газификации на выходе из газогенератора
Термопара НН		Температура измерялась изменением разницы потенциалов
Мультиметр Ресанта		Измеряется напряжение (mV), выдаваемое термоэлектрическими преобразователями (термопарой)

Все приборы, основное оборудование (Приложение 10) на момент измерений прошли поверку и имели соответствующую документацию.

3.3 Методика лабораторных исследований

3.3.1 Определение влажности ППМ и золы

Перед началом эксперимента и после выгрузки золы необходимо оценить влажность. Для анализа отбирается навеска и помещается на весы, после чего производилось измерение её начальной массы ($M_{\text{нач}}$) с занесением в протокол измерений. После проведения эксперимента зола высыпалась, и измерение повторялось ($M_{\text{кон}}$). Затем навеска подвергалась помещается в муфельную печь

для определения конечной влажности и производилось третье взвешивание навески ($M_{\text{СУХ}}$). Массы золы ($M_{\text{ЗЛ}}$) и влаги ($M_{\text{ВЛ}}$) вычислялись по формулам:

$$M_{\text{ЗЛ}} = M_{\text{СУХ}} - M_{\text{НАЧ}}, \quad (3.1)$$

$$M_{\text{ВЛ}} = M_{\text{КОН}} - M_{\text{СУХ}}. \quad (3.2)$$

Каждое измерение масс навески и золы состояло из 1 взвешивания для каждого повтора, по результатам которых вычислялось среднее арифметическое значение массы. Абсолютная погрешность прямых измерений вычислялась по методу Стьюдента для значения доверительной вероятности 0,95 [2].

Проведение экспериментов требует тщательного анализа полученных результатов. В связи с этим была проведена математическая обработка экспериментальных данных.

Среднее значение влажности:

$$\bar{\omega} = \Sigma(\omega_n) / n, \quad (3.3)$$

где ω_n – влажность в пробе; n – количество проб.

Предельное отклонение рассчитывалось по формуле:

$$\sigma = \pm \sqrt{(\Sigma(\omega_n - \bar{\omega})^2) / (n - 1)}, \quad (3.4)$$

где $(\omega_n - \bar{\omega})^2$ – квадрат отклонения.

3.3.2 Определение состава золы

Для проведения анализов на удобрительные свойства исходного помёта и золы принимались следующие методики по ГОСТам:

ГОСТ 26717-85 «Метод определения общего фосфора». Метод определения фосфора состоит в спектральном анализе подготовленной пробы с дальнейшей обработкой результатов на персональном компьютере (ПК). Применяемые средства измерения: спектрофотометр. Погрешность данного метода составляет 0,2 %.

ГОСТ 20851.3-93 «Методы определения массовой доли калия». Метод основан на осаждении калия тетрафенилборатом натрия в уксуснокислой среде и последующем высушивании и взвешивании полученного осадка

тетрафенилбората калия. Применяемые средства измерения: весы 4 класса точности. Погрешность метода: 0,2 % [59].

ГОСТ 26715-85 «Методы определения общего азота». Азот в подстилочнопометной массе определялся по Методу Кьельдаля. Для применения данного метода была собрана установка (см. рисунок 3.1). Применяемые средства измерения: весы 2 класса точности, колбы Кьельдаля. Погрешность метода: 0,1 %

3.4 Методика лабораторно-производственных испытаний

Перед выездом на площадку проведения испытаний были подготовлены протоколы испытаний согласно ГОСТ 31346-2007 «Установки для переработки помёта. Методы испытаний» и переработаны для разработанной установки по газификации помёта.

Для экспериментов принимался подстилочный помёт влажностью 23 %.

На *первом этапе* будут проводиться эксперименты для проверки адекватности модели нестехиометрического режима газификации при различных коэффициентах избытка воздуха. Коэффициент избытка воздуха регулировался в диапазоне от 0 до 0,3 с шагом 0,1.

На *втором этапе* будут проводиться эксперименты с количественно-химическим анализом (КХА) синтез-газа при паровой газификации и проверки на воспламенение.

Согласно ГОСТ 31346-2007 была преобразована таблица результатов испытаний, в который заносятся результаты по 3 повторам.

3.4.1 Исследование газификационной установки с паровым газифицирующим агентом

Для подтверждения теоретических и экспериментальных исследований, а также возможности использования разработанной газификационной установки в условиях небольших птицеводческих ферм и крестьянских (фермерских)

хозяйств (КФХ) были проведены производственные испытания установки. Кроме того, производственные испытания преследовали цель уточнения ряда предположений, которые легли в основу разработки теоретических предпосылок повышения энергоэффективности и экологичности процесса газификации с определением его экономической эффективности.

Испытуемая газификационная установка входила в состав существующих технологических линий по утилизации подстилочного помёта из птичника.

Процесс организации и проведения производственных исследований состоял в следующем.

По предварительной договорённости с руководством предприятия, занимающимся выращиванием сельскохозяйственной птицы, в течение определённого заранее времени, производилось изучение и анализ существующих технологических процессов выращивания птицы, потребностей в энергоресурсах и способах удаления помёта птицы с их дальнейшей утилизацией. Затем отчуждали площадку для размещения разработанной газификационной установки и производили дальнейшие испытания. Результат данных испытаний позволил уточнить эксплуатационные и режимные параметры работы разработанной газификационной установки.

Качество полученного синтез-газа и золы в условиях птицеводческого предприятия анализировались в эколого-химической лаборатории КГЭУ, аккредитованной в национальной системе аккредитации Минэкономразвития Российской Федерации. На основе полученных результатов были сделаны выводы по эффективности использования газификационной установки для рекуперации полезных компонентов из отходов птицеводства.

3.4.2 Порядок проведения испытаний на газификационной установке

Испытания проводились по следующему алгоритму.

Корпус равномерно нагревался электронагревателем от начальной температуры окружающей среды до 1000 °С. Температура нагрева

контролировалась с помощью ручки терморегулятора. Температура измерялась в зоне нагрева и в зоне выхода синтез-газа термопарой. Крышка, изготовленная из того же материала, герметично закрывалась. Летучие продукты попадали в конденсатор.

Масса одной навески исходного сырья, подвергаемого газификации, составляла 5000 г. В качестве сырья использовался помёт с подстилкой.

В начале и в конце испытаний производилось измерение газоанализатором Комета-М, имеющим погрешность 0,02, установленным на газоходе и измеряющим концентрации оксида углерода (CO), метана (CH₄), углекислого газа (CO₂), аммиака (NH₃). Масса измерялась с помощью электронных весов САРТОГОСМ СЕ 623 С, имеющих приборную погрешность 0,02 г.

Пар из котла подавался через форсунку диаметром 3 мм и под давлением 1 кгс/см². Площадь форсунок составляла 1,13 см². Расход пара поддерживался в диапазоне 0,220 – 0,273 кг/кг загруженной биомассы. Диаметр частиц подстилочного помёта составлял от 5 до 8 мм.

Были проведены 2 серии испытаний, направленные на изучение влияния пара и температуры нагрева материала.

В процессе установления температуры в зоне газификации от начала эксперимента запускался секундомер и проводился контроль газов в газоходе на выходе из конденсатора. Процесс газификации считался завершённым, когда на газоанализаторе значения по газам показывали «0».

Полученные в процессе испытаний результаты обрабатывались в программе Excel, MatLab.

3.5 Эксплуатационная схема газификационной установки на птицеводческом предприятии

Технологический процесс установка для газификации ППМ [25] работает следующим образом (рисунок 3.2).

Перед началом эксплуатации установки проводится подготовительный

этап, заключающийся в размельчении крупных агломератов и при необходимости подсушивания ППМ. Размер частиц перед загрузкой составляет 8 – 12 мм. Транспортирование сырья производится транспортной лентой в месте размещения установки. Установка подключается к электрической сети 220 В.

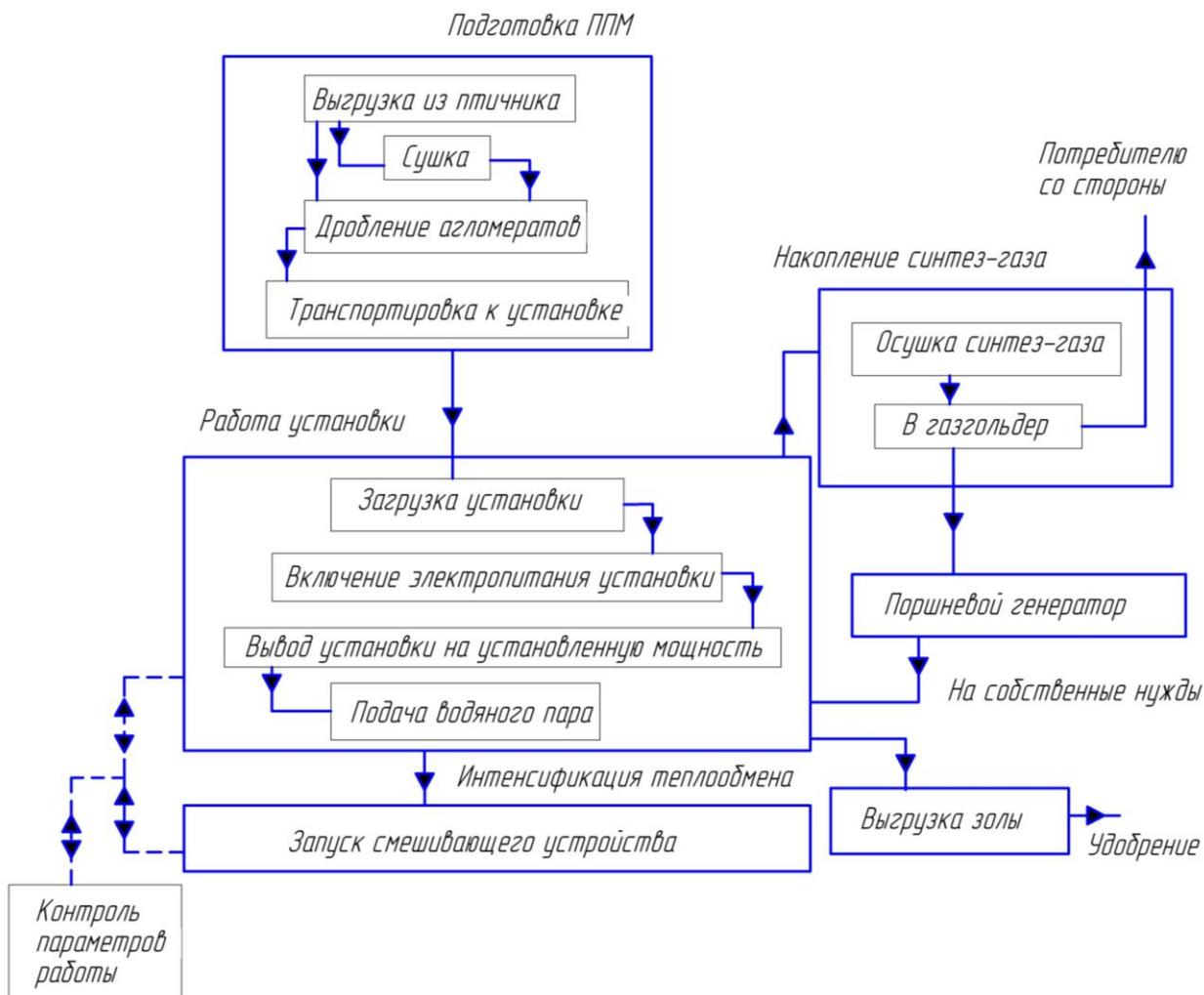


Рисунок 3.2 – Технологический процесс работы газификационной установки

На следующем этапе производятся основные работы на газификационной установке. Загрузка сырья производится с верхней части установки и затем крышка плотно закрывается. Подача электропитания происходит на ЭН через регулятор напряжения [2]. По достижении максимального напряжения производится контроль параметров внутри газификационной установки (температура, давление, состав выхлопных газов). По достижении необходимой температуры считается, что установка перешла в стационарный режим.

Температура в газификационной камере поддерживается на уровне 1273 К. При такой температуре достигается наибольший выход летучих компонентов. После вывода установки в режим нагрева включается мешалка, служащая как интенсификатором процесса теплообмена, так и установкой для недопущения спекания крупных агломератов. Далее кран подачи водяного пара переводится в положение «Открыто». Пар равномерно распределяется по площади колосниковой решётки, поступает в газификационную установку через форсунки, которые имеют диаметр меньше размера частиц отхода для предупреждения закупоривания. Контроль параметров при этом производится в непрерывном режиме. Выход синтез-газа осуществляется через верхний патрубок и поступает на этап подготовки и накопления.

Синтез-газ поступает по патрубку через конденсатор остаточной влажности и охлаждения в газгольдер, в котором он накапливается перед дальнейшим использованием.

Накопившийся синтез-газ далее поступает в двигатель внутреннего сгорания, который, в свою очередь, вырабатывает электрическую энергию для работы газификационной установки. Излишек возможен для реализации внешнему потребителю [32].

После того как показания на газоанализаторе показывают значение «0», установка останавливается для выгрузки золы и засыпки новой партии. При этом работа по выработке синтез-газа не прекращается. В работу включается 2-я параллельно работающая установка.

Зола после выгрузки проходит лабораторные анализы на определение концентраций полезных составляющих для удобрения (фосфора и калия) и передаётся на склад для дальнейшей реализации.

Исходя из вышеизложенного можно сделать следующие выводы:

1. Разработана программа экспериментальных исследований в лабораторных и производственных условиях, позволяющая полноценно, всесторонне и качественно провести исследования. Методика исследований

соответствует основным положениям ГОСТ 31346-2007 «Установки для переработки помёта». Для получения достоверных результатов эксперименты и последующие лабораторные анализы проводились в 3 повторах.

2. На основе патента на изобретение (№ 2 754 911 от 09.09.2021) разработана и изготовлена авторская газификационная установка, позволяющая проводить экспериментальные исследования на птицеводческих отходах.

3. Реализация разработанного порядка испытаний позволит получить адекватную модель процессов в газификационной установке с поддержанием требуемого количества газифицирующего агента и которая с достаточной степенью точности охарактеризует влияние альтернативного газифицирующего агента на качество синтез-газа. В качестве критерия оптимизации процесса нами принято количество синтезированного газа.

ГЛАВА 4 РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОЦЕССОВ УТИЛИЗАЦИИ ПТИЦЕВОДЧЕСКИХ ОРГАНИЧЕСКИХ ОТХОДОВ В СИНТЕЗ-ГАЗ

4.1 Обоснование режима работы на контролируемых уравнениях реакции

Энергетическая и экологическая эффективность описанной выше газификационной установки зависит от принятых режимов работы, а именно от температуры газификации и количества подаваемого пара. Влияние этих параметров на процесс газификации в настоящее время не изучено. Поэтому экспериментальные испытания были направлены на обоснование режима газификации подстилочного помёта в энергетических целях птицеводческого предприятия с наилучшими экологическими показателями.

Расчёты, выполненные автором для исходных материалов в сухом материале, показали высокое содержание конденсированного углерода (C^*) в продуктах газификации. Зольность без твёрдого вещества углерода составляла 15 % мас./мас., например, при температуре $T \approx 850$ К, конденсированный углерод (C^*) $\approx 32\%$ мас./мас. в продуктах газификации птичьего помёта.

При увеличении температуры газификации до 1273 К конденсированный углерод (C^*) снизился до $C^* \approx 18\%$ по массе.

С повышением содержания влаги в исходном материале результаты расчёта показали снижение содержания конденсированного углерода. Например, на температурах газификации ~ 1273 К выявилась линейная зависимость содержания C^* от влажности. Минимальная концентрация C^* наблюдались при большей влажности, чем 25 % по массе для птичьего помёта. Таким образом, процессы газификации влажной биомассы чем-то похожи на процессы паровой газификации.

Ниже приводятся результаты, которые были получены для условий, при которых тепловая энергия, получаемая из частичного сжигания биомассы с подачей воздуха, необходима для нагрева и газификации биомассы. В исходном

материале содержание минеральной части составляло 15 % по массе и влажность составляла 15 % по массе. Воздух подавался в количествах, меньших, чем стехиометрические отношения.

В таблице 4.1 приведено содержание горючих газов водорода (H_2) и оксида углерода (CO), балластового газа азота (N_2), теплотворная способность влажного и высушенного синтез-газа при газификации птичьего помёта для разных значений коэффициента избытка воздуха.

Таблица 4.1 – Параметры содержания синтез-газа при газификации птичьего помёта

Параметр	Значение			
	0,0	0,1	0,2	0,3
Коэффициент избытка воздуха	0,0	0,1	0,2	0,3
Водород (H_2), % об.	52,50	39,38	29,36	21,94
Оксид углерода (CO), % об.	43,9	37,59	29,49	23,19
Азот (N_2), % об.	2,61	18,13	29,42	37,95
Низшая теплота сгорания, H_u , кДж/кг	11201	8990	6887	5292
Высшая теплота сгорания ($H_u^{d,b}$), кДж/кг	11233	9259	7410	5882

Изменение состава синтез-газа (рисунок 4.1) по водороду и монооксиду углерода и азоту подтверждает теорию о повышении экологичности получаемого синтез-газа ввиду отсутствия в продуктах газификации азота, одного из основных составляющих воздушной газификации.

При этом наблюдается повышение концентрации горючих компонентов в синтез-газе (Приложение 11). Так, при снижении коэффициента избытка воздуха до нулевых значений теплотворная способность достигает 11000 кДж/кг.

Расчётные значения теплотворной способности синтез-газа, полученные из горящей части биомассы, были значительно ниже, чем теплотворная способность синтез-газа, получаемая с внешней подачей тепловой энергии. Это,

прежде всего, из-за наличия негорючих веществ, в основном, азота (N_2) и в меньшей степени воды (H_2O) и углекислого газа (CO_2).

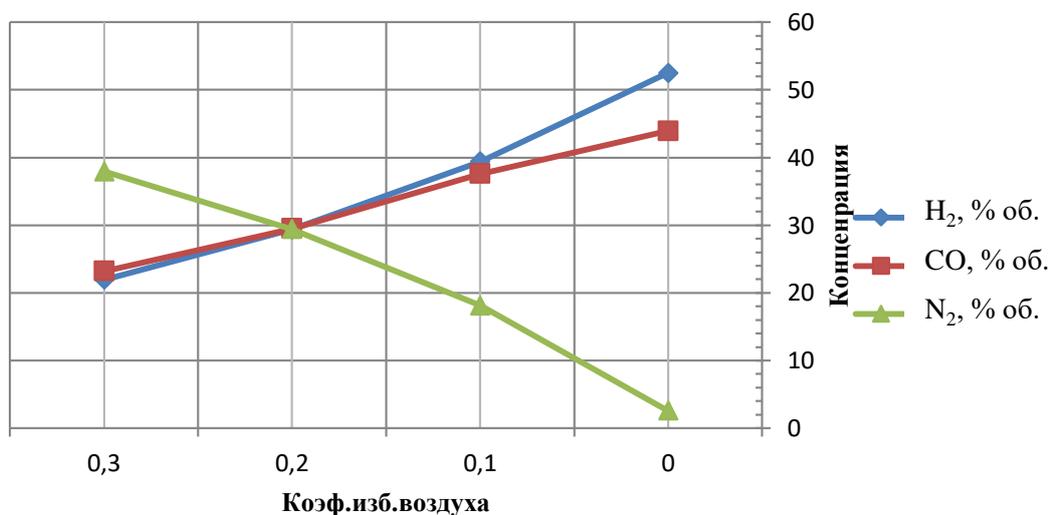


Рисунок 4.1 – График изменения состава синтез-газа при газификации птичьего помёта

В синтез-газе при выполнении нами расчётов газификации были смоделированы условия, представленные в трудах и научных докладах российских разработчиков моделирования процесса двухступенчатой термической конверсии биомассы в синтез-газ [114].

Исходные параметры биомассы были следующими: 5,6, 0,5, 47, 68, 5,54, 37, 43, 0,05 и 0,02 % мас./мас., – для влажности, зольности, углерода (C), водорода (H), кислорода (O), азота (N) и серы (S) соответственно.

Теоретическое содержание продуктов газификации (таблица 4.2): температуры газификации, химический состав (% об.) синтез-газа и золы, – рассчитывались автором в сопоставлении с расчётами практических исследований отечественных и других специалистов в этой области [14].

Расчётные данные, полученные нами в ходе тестирования объекта исследования, соотносятся с экспериментальными данными аналогичных моделей установок. Косов В.Ф. и соавторы предлагают использовать дополнительный пар для повышения энергоэффективности газификационной установки [15, 118]. По нашим расчётам, при удельном расходе водяного пара

0,223 кг/кг ожидается, что остатки полукокса снизятся до 0,005 кг/кг.

Таблица 4.2 – Теоретическое содержание продуктов газификации

Параметр, %	Значение			
	1152	1204	1277	1273*
Т, К	1152	1204	1277	1273*
Водород (H ₂)	45,44	47,61	49,66	50,4*
Оксид азота (СО)	36,83	41,04	4,16	40,8*
Метан (СН ₄)	4,97	3,59	2,32	0,8*
Углекислый газ (СО ₂)	5,09	2,92	1,30	1,9*
Зола, кг/кг	0,22	0,22	0,18	0,21*

* Экспериментальные данные [14]

Этот метод также был использован нами. Были получены следующие результаты: паровая газификация была смоделирована путём увеличения содержания влаги в исходном материале. На содержание влаги 22 % по массе остаток полукокса снизился до 0,043 кг/кг, подтверждая предположения Косова В.Ф. и соавторов о повышении энергоэффективности газификации при добавлении водяного пара [118].

Исключить высокое содержание азота (N₂) и продуктов сгорания в синтез-газе можно, применяя в качестве газифицирующего агента высокотемпературный водяной пар, так как в водяном паре отсутствует азот (N₂), присущий воздуху и воздушной газификации.

При водяной конверсии благодаря паровой газификации происходит следующая реакция:



При паровой газификации наблюдается снижение концентрации такого вредного для окружающей среды соединения, как оксид азота (NO). Следующая реакция разложения монооксида азота на атомарный азот обосновывает экологичность предлагаемой установки:



Изучение трудов авторов позволило сделать выводы о преимуществах паровой газификации. В испытаниях нами были проведены исследования по

регулированию процесса газификации в зависимости от выхода синтез-газа по коэффициенту избытка воздуха (рисунок 4.2) и определения состава синтез-газа.

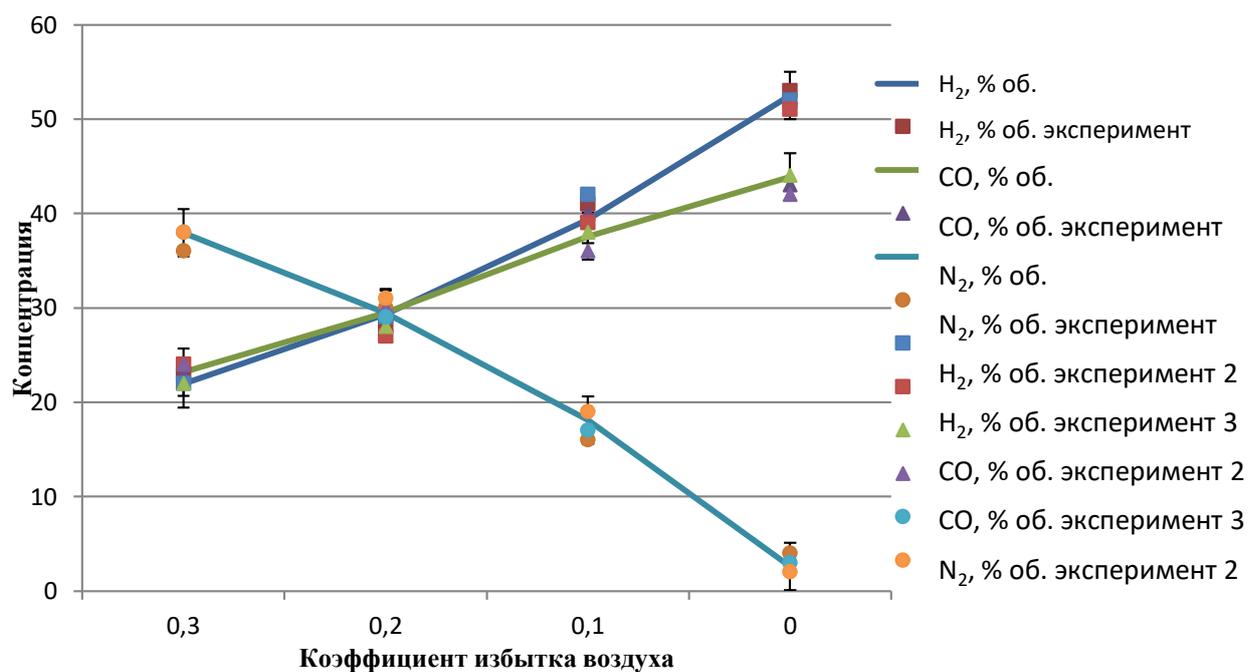


Рисунок 4.2 – Зависимость выхода синтез-газа от коэффициента избытка воздуха

По итогам экспериментальных исследований, как свидетельствуют построения кривых зависимости выхода синтез-газа от коэффициента избытка воздуха, наблюдается значительное снижение выбросов азота (N₂) в атмосферу, что является наиболее благоприятным для экологии.

4.2 Результаты экспериментов по определению необходимого сечения форсунки

Подача водяного пара в камеру газификационной установки должна проводиться пропорционально количеству газифицируемого материала (сырья).

Для обоснования рационального диаметра сечения форсунки для подачи пара были проведены ряд сравнительных экспериментов форсунок различного диаметра и количества.

При проведении экспериментов нужно было учитывать, чтобы диаметр отверстий форсунок не был больше размера частицы исходного загружаемого

сырья во избежание попадания в паропровод и его закупоривания. Сырьё имеет размер частиц 6 – 9 мм (рисунок 4.3).



Рисунок 4.3 – Исходное сырьё перед загрузкой в газификатор

Подбор оптимальной пропускной способности форсунки регулировался исходя из необходимого теоретического расхода пара, равного 0,223 кг/кг.

Для испытаний были изготовлены в общей сложности 15 форсунок: 4 форсунки – с диаметром сечения 3 мм; 4 форсунки – с диаметром сечения 6 мм и 4 форсунки – с диаметром сечения 1 мм.

Рациональные параметры форсунки (рисунок 4.4) проведены расчётным путем с применением программы EXCEL.

Из Рисунка 4.4 видно, что наиболее предпочтительным сочетанием диаметра форсунки и их количество для обеспечения оптимального количества пара является 4 форсунки диаметром 3 мм и 2 форсунки диаметром 6 мм.

Согласно исходному диаметру частиц 6 – 9 мм, форсунка с диаметром 6 мм исключается для предотвращения попадания сырья в сечение форсунки.

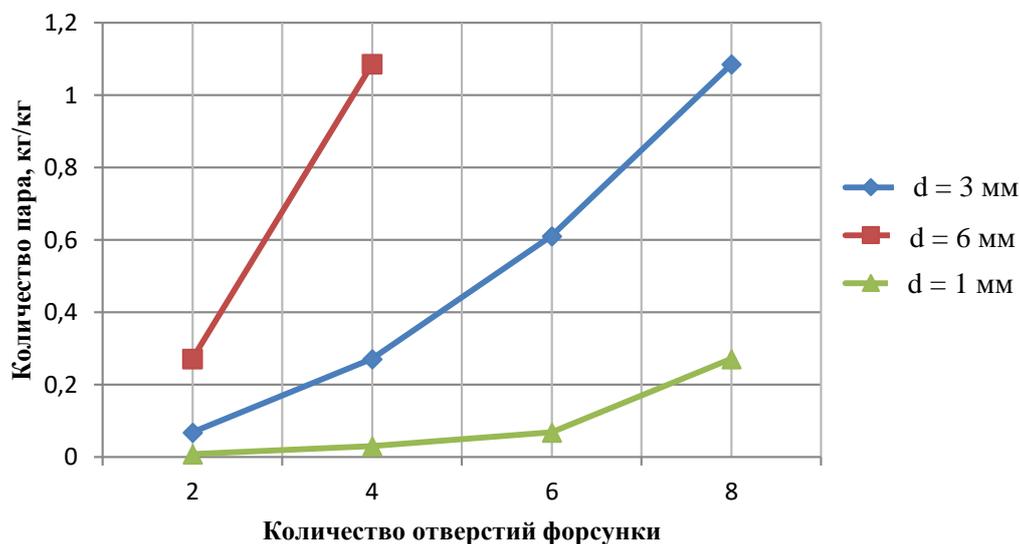


Рисунок 4.4 – Рациональные параметры форсунки. Результаты расчёта

Материал, применённый при изготовлении форсунки: сталь марки 08Х18Н10Т.

4.3 Результаты исследований влажности

Математическая обработка проводилась для серии экспериментов (таблица 4.3) по методике подпункта 3.3.1 диссертации и учитывалось предельное отклонение.

Таблица 4.3 – Результаты математической обработки данных по 12 повторам экспериментов

Повторность	ω	$\omega_n - \bar{\omega}$	$(\omega_n - \bar{\omega})^2$
1	2	3	4
1	27	3,33	11,11111
2	23	-0,67	0,444444
3	26	2,33	5,444444
4	21	-2,67	7,111111
5	23	-0,67	0,444444
6	26	2,33	5,444444
7	24	0,33	0,111111
8	25	1,33	1,777778

Продолжение таблицы 4.3

1	2	3	4
9	22	-1,67	2,777778
10	27	3,33	11,11111
11	20	-3,67	13,44444
12	20	-3,67	13,44444
Сумма	284	-	72,66667
Среднее значение	23,67	-	-

По результатам экспериментов и математического анализа значение предельного отклонения составило 2,57, что позволяет сделать вывод об адекватности модели.

Дополнительные анализы проводились с использованием свежей и предварительно высушенной при температуре 350 °С биомассы [24] и при пяти значениях температуры 600, 700, 800, 900, 1000 °С. Масса навесок при каждой температуре была одинаковой и составляла 200 г.

Для определения остаточной влаги (рисунок 4.5) проводились эксперименты в 2-х повторах при поддержке аккредитованной эколого-химической лаборатории Инжинирингового центра Казанского государственного энергетического университета.

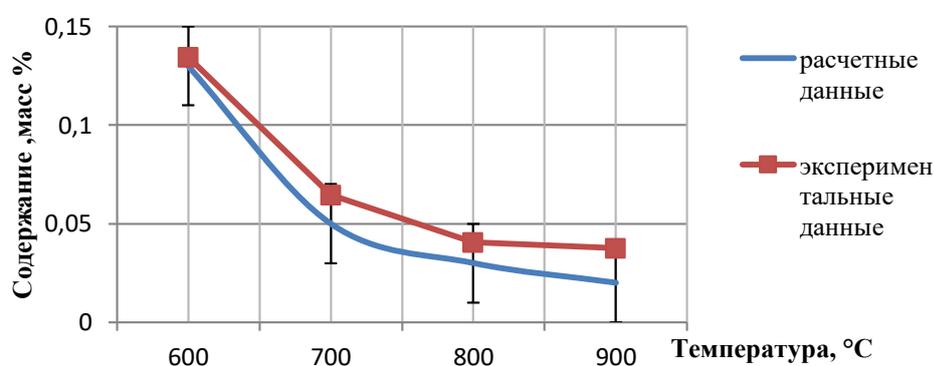


Рисунок 4.5 – Экспериментальные результаты по определению влаги

В результате проведенных исследований выявлена согласованность экспериментальных и расчетных данных.

По достижении заданных температур, выгрузки золы (рисунок 4.6) и проведения

анализов, проводилась фотофиксация результатов.



Рисунок 4.6 – Зола после выгрузки из газификационной установки. После процесса газификации при температуре 500 °С

Налипание сырой золы наблюдалось при высокой влажности подстильно-помётной массы.

Результаты экспериментальных данных содержания влаги в продуктах сгорания (массовой доли) подтверждают расчётные данные.

Результаты анализов (Приложение 7) обобщены в протоколах по сырью и продукту отдельно.

Увеличение температуры в газификаторе приводит к снижению образования зольного остатка и снижению влаги в синтез-газе, тем самым увеличивая его теплотворную способность.

4.4 Результаты исследований на воспламенение синтез-газа

На этапе проверки на работоспособность разработанной газификационной установки проводилась проверка на воспламенение синтез-газа (рисунок 4.7).

Количественный химический анализ (КХА) вырабатываемого синтез-газа оценивался, прежде всего, стабильностью горения факела.

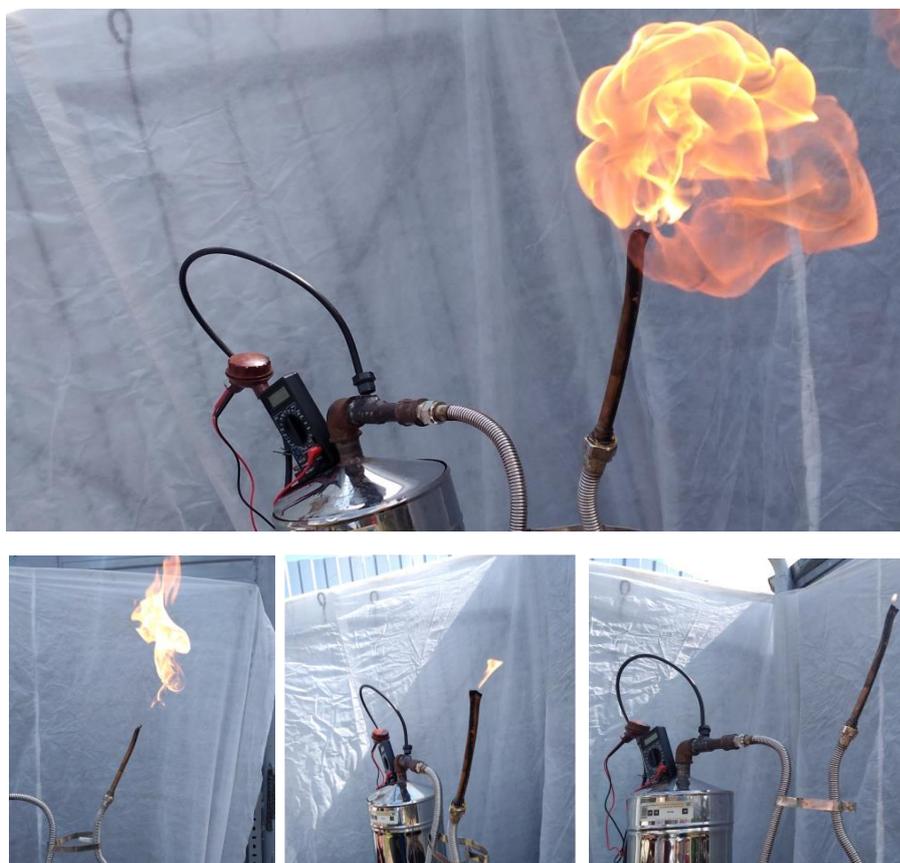


Рисунок 4.7 – Воспламенение синтез-газа: 1 – воспламенение; 2 – горение; 3 – затухание; 4 – окончание процесса

Качественный газ горел постоянно без колебаний и пульсаций. Исследования режимов работы установки проводились регулированием температуры, времени выдержки и количества подачи пара. По достижении пламенем практически бесцветного состояния, исследования режимов работы прекращались. Цвет пламени обосновывает качество синтез-газа с содержанием в нем H_2 и CO .

Экспериментальные исследования для достоверности полученных результатов проводились в трёх повторностях (таблица 4.4).

Таблица 4.4 – Повторность занесения результатов анализа

Повторность	Режим работы	Время выдержки, ч.	Количество, кг/ч
1	2	3	4
1	С постоянной нагрузкой	1,02	5,2
2		1,03	5,3
3		0,98	4,8
Сумма		3,03	15,3
Среднее значение		1,01	5,1

Опираясь на результаты теоретических и экспериментальных исследований разработанного экспериментального образца газификационной установки с системой грубой и тонкой очистки для использования получаемого синтез-газа в двигателях внутреннего сгорания (ДВС) для получения электрической энергии (ЭЭ) проведены исследования на состав концентрации горючих компонентов.

Замеры концентрации горючих компонентов (рисунок 4.8) синтез-газа проведены по основным компонентам, включающим водород, монооксид углерода и метан. Значения приведены в граммах на килограмм вырабатываемого газа.

Согласно реакциям, описанным в [99], отметим, что вырабатываемый метан при высоких температурах преобразуется в водород (H_2) и углерода оксид (CO), тем самым не снижает его высокие топливные свойства.

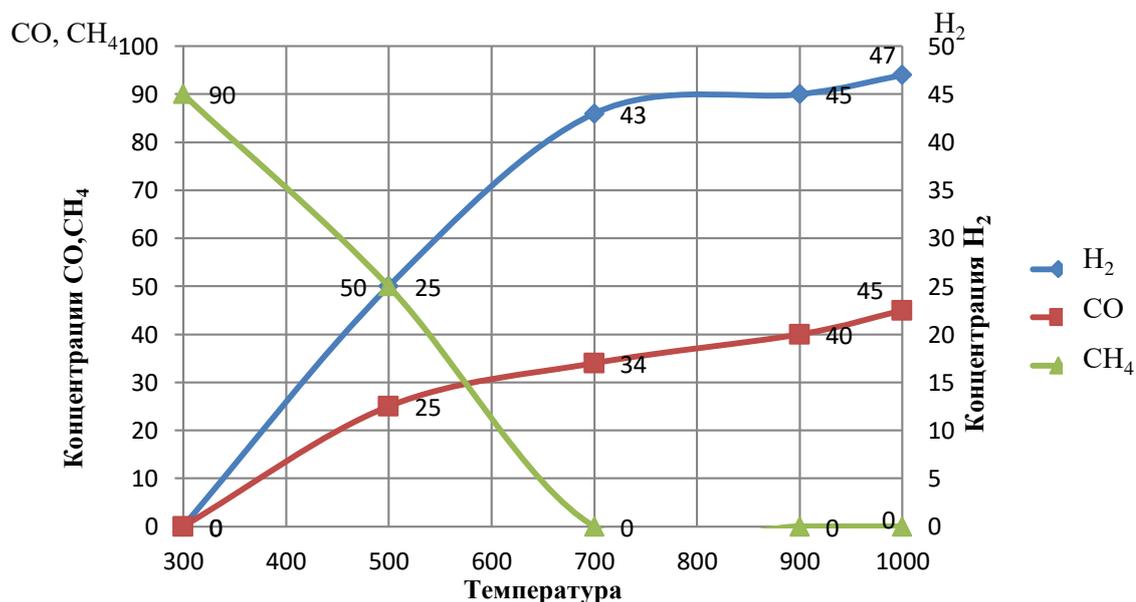


Рисунок 4.8 – Результаты экспериментальных исследований по замеру концентрации горючих компонентов

Результаты экспериментальных данных с расчётами приведены в виде диаграмм с доверительным интервалом 5 % для оксида углерода (CO) – на рисунке 4.9.

Результаты экспериментальных данных сопоставлены с результатами

теоретических исследований. Результаты приведены с доверительным интервалом 5 %.

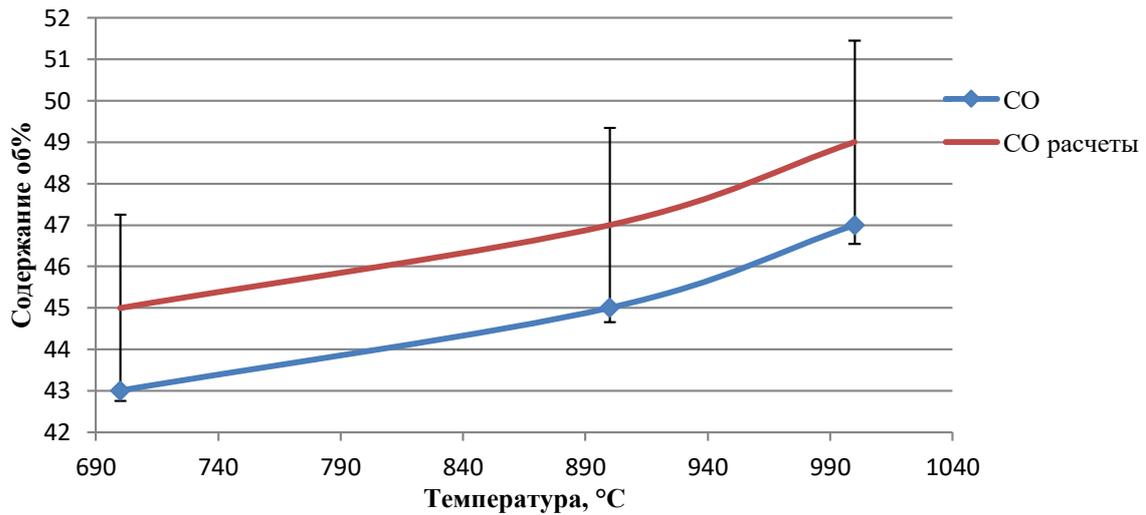


Рисунок 4.9 – График сопоставления расчётных и экспериментальных данных для оксида углерода (CO)

По результатам анализа по водороду (H_2) результаты экспериментов согласованы с теоретическими исследованиями (рисунок 4.10).

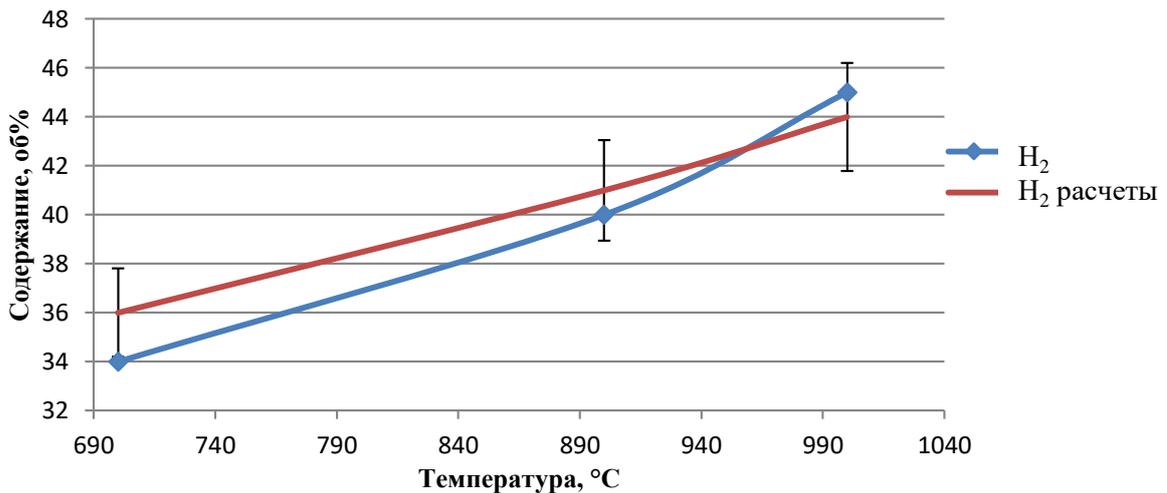


Рисунок 4.10 – График сопоставления расчётных и экспериментальных данных для водорода (H_2)

Результаты серии экспериментов, проведённых с применением пара в качестве газифицирующего агента, показывают соответствие с теоретическими математическими расчётами.

4.5 Результаты экспериментальных исследований образца газификационной установки на отходах действующего птицеводческого предприятия

Для изучения характеристик влияния параметров на качество синтез-газа и установление закономерностей, был проведён регрессионный анализ, основными факторами (таблица 4.5), влияющими на газификацию, приняты: температура, количество пара и количество подстильно-помётной массы.

Таблица 4.5 – Основные факторы, влияющие на качество (калорийность) синтез-газа

№ эксперимента	Калорийность синтез-газа, кДж/кг	Температура, К	Количество пара, кг/кг	Количество ППМ, кг
1	2	3	4	5
1	7601	1052	0,100	10
2	8020	1152	0,130	10
3	9200	1204	0,150	10
4	10800	1277	0,200	10
5	11230	1273	0,230	10
6	6250	1052	0,100	15
7	7800	1152	0,130	15
8	8300	1204	0,150	15
9	9600	1277	0,200	15
10	10230	1273	0,230	15
11	8620	1052	0,100	10
12	8900	1152	0,130	10
13	10220	1204	0,150	10
14	11820	1277	0,200	10
15	12110	1273	0,230	10
16	6682	1052	0,100	15
17	8300	1152	0,130	15
18	8990	1204	0,150	15

Продолжение таблицы 4.5

1	2	3	4	5
19	11101	1277	0,200	15
20	12120	1273	0,230	15

Результаты экспериментов обрабатывались в EXCEL, которая позволила решить следующие задачи статистического анализа: дисперсионный анализ, множественная регрессия с расчётом матрицы коэффициентов корреляции, коэффициентов регрессии, критерия Стьюдента для оценки значимости коэффициентов регрессии, а также уровня их значимости.

Для исследования взаимного влияния количества подстильно-пометной массы, количества подаваемого газифицирующего агента и температуры был проведён эксперимент. В качестве функции отклика Y была выбрана калорийность синтез-газа. Математическая обработка полученных результатов позволила получить уравнение регрессии, адекватно описывающее исследуемый процесс.

Был проведён регрессионный анализ влияния фактора температуры на выходе синтез-газа.

В результате статистической обработки данных получено следующее уравнение регрессии:

$$Y = 29,9935 + 44,3139 X_1 + 0,03244 X_2 + 11,2251 X_3, \quad (4.3)$$

где X_1 – температура, °C; X_2 – количество пара, кг/кг; X_3 – количество ППМ, кг.

Коэффициент множественной корреляции составил $R = 0,9243$.

При этом расчётные параметры в модели на 92,43 % объясняют зависимость между изучаемыми параметрами.

Данная математическая модель адекватно описывает всю область эксперимента в зависимости от температуры и количества газифицирующего агента (рисунок 4.11), позволяющего исследовать влияние режима газификации. Двумерное представление влияния режимных параметров даёт понимание, что водяной пар при реагировании с компонентами помёта даёт высокие результаты (рисунок 4.12).

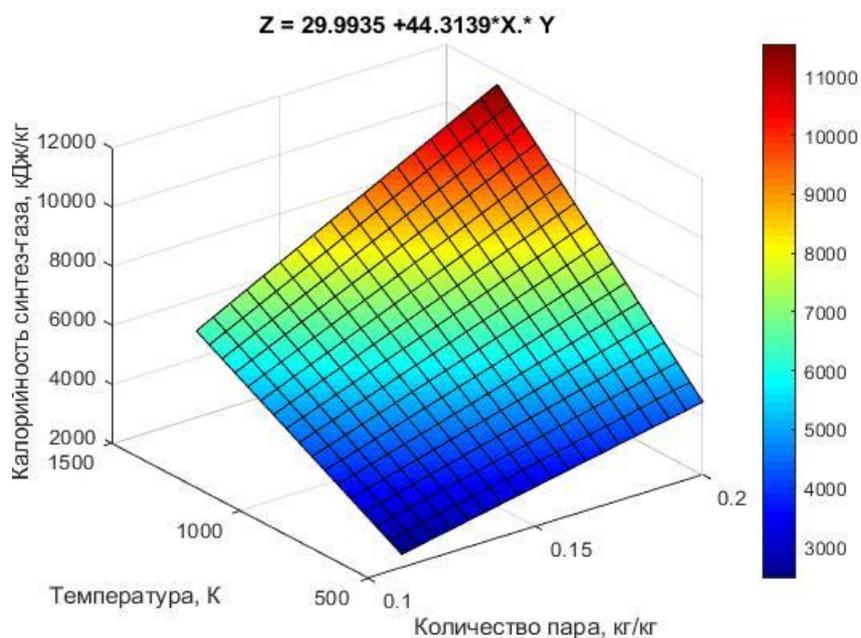


Рисунок 4.11 – Зависимость калорийности синтез-газа от температуры и количества подаваемого альтернативного газифицирующего агента (пара)

Анализ результатов показал, что калорийность синтез-газа зависит от количества подаваемого газифицирующего агента (пара) и обеспечивает улучшенное качество и экологичность синтез-газа.

Для оценки полученного уравнения регрессии проведена проверка значимости уравнения регрессии, его коэффициентов и исследование абсолютных и относительных ошибок аппроксимации (таблица 4.6).

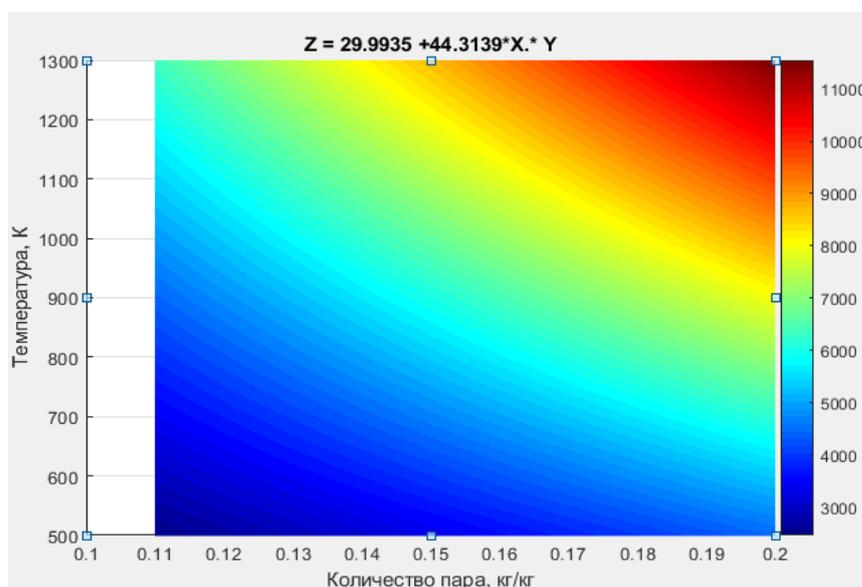


Рисунок 4.12 – Двумерное сечение зависимости калорийности синтез-газа от температуры и количества подаваемого альтернативного газифицирующего агента (пара)

Абсолютная ошибка аппроксимации вычисляется по формуле:

$$\varepsilon = Y - Y(x) = Y - X \cdot s^{-1}. \quad (4.4)$$

Таблица 4.6 – Результаты расчётов

Y	$Y(x)$	$\varepsilon = Y - Y(x)$	ε^2	$(Y - Y_{cp})^2$	$ \varepsilon : Y $
1	2	3	4	5	6
65,9	73,411	-7,511	56,414	324,934	0,114
75,1	73,886	1,214	1,474	77,897	0,0162
72,5	76,102	-3,602	12,973	130,552	0,0497
81,6	79,898	1,702	2,897	5,41	0,0209
82,3	81,671	0,629	0,396	2,644	0,00765
80,5	83,886	-3,386	11,467	11,737	0,0421
90,8	89,629	1,171	1,372	47,253	0,0129
92,6	91,401	1,199	1,437	75,24	0,0129
93,3	93,617	-0,317	0,101	87,873	0,0034
75,6	74,533	1,067	1,138	69,321	0,0141
78,8	76,306	2,494	6,22	26,275	0,0316
80,5	78,522	1,978	3,914	11,737	0,0246
85,2	81,021	4,179	17,468	1,623	0,0491
87,8	82,793	5,007	25,069	15,008	0,057
90,1	85,009	5,091	25,92	38,119	0,0565
91,2	90,751	0,449	0,201	52,912	0,00492
92,1	92,524	-0,424	0,18	66,815	0,0046
92,7	94,74	-2,04	4,16	76,984	0,022
74,2	75,656	-1,456	2,12	94,594	0,0196
76,6	77,428	-0,828	0,686	53,669	0,0108
76,5	79,644	-3,144	9,886	55,144	0,0411
79,9	82,143	-2,243	5,031	16,208	0,0281
85,6	83,916	1,684	2,837	2,803	0,0197
90,1	86,131	3,969	15,75	38,119	0,044
90,5	91,874	-1,374	1,887	43,218	0,0152
89,9	93,646	-3,746	14,035	35,69	0,0417
94,1	95,862	-1,762	3,105	103,512	0,0187
-	-	-	228,136	1565,292	0,783

Средняя ошибка аппроксимации составит:

$$A = \Sigma |\varepsilon : Y| / n \cdot 100\% = 0,783 / 27 \cdot 100\% = 2,9 \%. \quad (4.5)$$

По результатам проведённого анализа уравнения регрессии получаем среднюю ошибку аппроксимации, равную 2,9 %, что позволяет сделать вывод об адекватности представленной модели.

4.6 Анализ использования золы в сельскохозяйственных целях

Согласно информационно-технического справочника наилучших доступных технологий золу используют в составе удобрений [36]. Калий нормализует обменные процессы в растениях, необходим для формирования плодов. Также, получая калий в достаточном количестве, растения становятся более устойчивыми к различным болезням и вредителям. Фосфор в составе золы полностью используется растениями. Кальций нейтрализует кислотность в почве, благоприятно влияет на развитие полезных микроорганизмов в нём. А это, в свою очередь, облегчает растениям получение питательных элементов, которые особенно нужны им на ранних стадиях развития.

В существующих на сегодняшний день рекомендациях по организации и проведению производственного экологического контроля систем переработки и использования помёта зола может вноситься под различные сельскохозяйственные культуры без дополнительной обработки в количестве 200–400 г/м² [6, 8, 90, 91].

Для обоснования применимости золы после предлагаемой газификационной установки авторами объекта исследования проводился КХА золы.

Лабораторные исследования проводились только на поверенных приборах, оборудовании и посуде. Перед проведением измерений компонентного необходимо построить градуировочные графики, что позволит достичь точных надёжных результатов состава помёта.

Дистиллированная и бидистиллированная вода с добавлением реактивов

устанавливается в вытяжной шкаф для удаления мешающих факторов (рисунок 4.13).



Рисунок 4.13 – Наблюдение за процессом устранения мешающих факторов в пробе методом выпаривания

Затем проводится этап подготовки растворов (рисунок 4.14) для построения градуировочных графиков.



Рисунок 4.14 – Этап подготовки градуировочных растворов

Градуировочные растворы (рисунок 4.15) в зависимости от измеряемого вещества окрашиваются в различные цвета.



Рисунок 4.15 – Растворы для построения градуировочных графиков

Приготовленные растворы сканируются в спектрофотометре (рисунок 4.16) и строятся градуировочные графики.

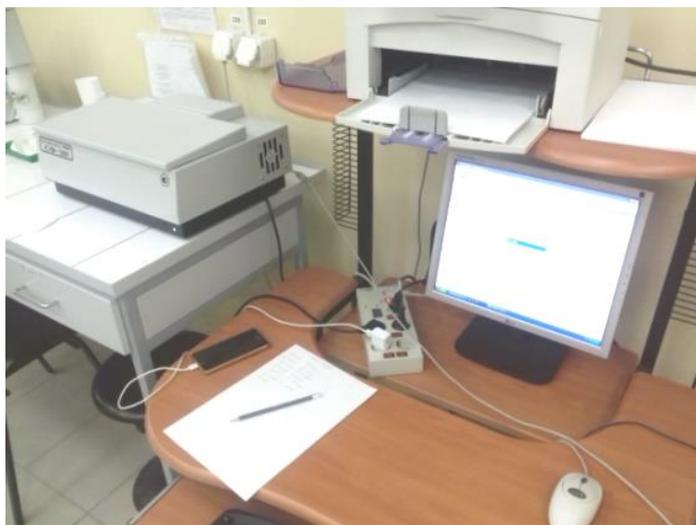


Рисунок 4.16 – Спектральный анализ

Затем приступают к основным работам по подготовке проб помёта к анализам.

Каждая отобранная проба подвергается взвешиванию (рисунок 4.17) на

весах. Для достоверности результатов выбираются более точные весы с точностью до 0,001 грамма. Далее анализы проводятся по ГОСТам и ПНД Ф.



Рисунок 4.17 – Взвешивание образцов подстилочного помёта

Для определения азота (рисунок 4.18) в помёте автором была собрана установка, соответствующая ГОСТ 20851.1-75 «Удобрения минеральные. Методы определения содержания азота».



Рисунок 4.18 – Установка и процесс определения азота в помёте

Анализ показал следующие результаты.

Образующаяся в процессе газификации ППМ зола составляет 20 % от массы сырья. Полученная зола содержит K_2O – 15,5 %, P_2O_5 – 23,9 %, CaO – 17 %. Патогенная микрофлора при этом полностью уничтожается.

Количество образующейся золы рассчитаем по формуле:

$$V_3 = M_{ППМ} \cdot 0,2, \quad (4.6)$$

где 0,2 – доля образования золы.

По формуле (4.6) золы после газификации в год составляет 175 т, что в 5 раз меньше образующейся ППМ.

Площадь сельскохозяйственных полей, которую можно обеспечить:

$$P_{\Pi} = V_3 \cdot H, \quad (4.7)$$

где H – норма внесения в почву.

Норма внесения удобрений составила 300 кг/га. По результатам расчёта получаем 583 м² (0,5 га) сельскохозяйственных полей, которые можно обеспечить фосфорно-калийным удобрением.

Стоимость 1 т калийно-фосфорного удобрения порядка 20000 рублей. При этом дополнительно можно получить прибыль для предприятия от реализации удобрений в объёме 3500000 рублей в год.

Регион является сельскохозяйственным и при использовании в качестве ресурса для производства удобрения предприятия смогут снизить себестоимость продукции и стать более конкурентоспособными.

4.7 Анализ работы газификационной установки при интеграции в технологическую линию переработки отходов

4.7.1 Расчёт количества вырабатываемого синтез-газа разработанной газификационной установкой для нужд птицеводческого предприятия

В процессе проведения испытаний было выявлено, что при высокотемпературном воздействии в присутствии пара образуются такие

высококалорийные элементы, как водород (H_2) и оксид углерода (CO), которые возможно использовать в двигателях внутреннего сгорания с возможностью получения полезной тепловой и электрической энергии для повышения механизации птицеводческого предприятия.

Для интеграции газогенератора в технологическую линию птицефабрики необходимо рассчитать его теплотворную способность. Теплотворная способность водорода и оксида углерода рассчитывается по формуле:

$$Q = 108 \cdot \rho \cdot H_2 + 126 \cdot \rho \cdot CO, \quad (4.8)$$

$$Q = 108 \cdot 9 \cdot 50,8 + 126 \cdot 12,5 \cdot 45,2 = 120\,567,6 \text{ кДж/кг.}$$

При пересчёте калорийности топлива в натуральные величины получаем выход синтез-газа из 1 кг ППМ $0,6 \text{ м}^3$.

Для определения теплового эквивалента синтез-газа задаёмся теплотворной способностью условного топлива, равного 29330 кДж/кг . Таким образом, тепловой эквивалент синтез-газа рассчитывается по формуле:

$$\text{Э}_y = Q_H / Q_y, \quad (4.9)$$

$$\text{Э}_y = 120567,6 / 29330 = 4,11.$$

Совокупность энергоресурсов, необходимых для обеспечения комфортных условий для выращивания птицы на выбранной птицеферме, составляет $6,027 \cdot 10^{-3}$ т.у.т., или $5,243 \text{ м}^3$ природного газа в час.

Таким образом, при теплотворной способности синтез-газа, равной $120567,6 \text{ кДж/кг}$, эквивалент условного топлива составит $4,08 \cdot 10^{-3}$ т.у.т., или $3,56 \text{ м}^3$ синтез-газа в час из 1 засыпки.

4.7.2 Расчёт количества секций газификационной установки

А. Для расчёта количества вырабатываемого синтез-газа на покрытие собственных нужд птицеводческого предприятия необходимо рассчитать количество секций газификационной установки по следующему алгоритму.

1. Количество первой секции:

$$P = V_{\Pi} / V_{CG}, \quad (4.10)$$

где $V_{\text{СГ}}$ – количество вырабатываемого синтез-газа, м^3 ; $V_{\text{П}}$ – количество потребляемого условного топлива, $\text{м}^3/\text{ч}$.

По результатам расчёта получаем 1,47 секций.

2. По соображениям взаимозаменяемости, к размещению принимается 2 газификационные установки одинаковой производительности, работающие параллельно.
3. Газификационная установка работает в периодическом режиме для загрузки нового сырья и выгрузки золы, следовательно, требуемое количество секций газификационной установки из-за условий бесперебойности выработки синтез-газа требуется разместить ещё 2 газификационные установки.
4. При этом образуются излишки синтез-газа в объёме:

$$V_{\text{излГ}} = V_{\text{СГ}} \cdot 2 - V_{\text{П}}. \quad (4.11)$$

Из расчётов следует, что при работе 2-х параллельно работающих установок в 1 секции вырабатывается излишне $1,877 \text{ м}^3$ синтез-газа, который требуется хранить для покрытия пиковых нагрузок или его продажи.

Б. Согласно Федеральному закону № 89-ФЗ и политике безотходного и экологически чистого производства накопление отходов перед дальнейшей утилизацией может продолжаться до 11 месяцев [3].

Следовательно, необходимо подобрать такую производительность, которая смогла бы в кратчайшие сроки переработать весь объём образованной ППМ без дальнейшего наложения платежей за хранение отходов.

Расчёт проводится по следующему алгоритму.

1. Требуемая производительность, исходя из количества образующейся подстильно-пометной массы на объекте согласно главе 1, составляет 841 т в год.

Подбираем производительность установки, которая обеспечит полную утилизацию оставшейся ППМ за 11 месяцев.

Количество ППМ, оставшейся после утилизации требуемого количества для покрытия собственных нужд:

$$V_{\text{ППМ11}} = (V_{\text{ППМ}} - V) / 1980, \quad (4.12)$$

где 1980 – количество часов работы газификационной установки в год.

В результате получаем количество ППМ, которое необходимо утилизировать. По расчётам получаем 413 кг ППМ в час.

2. Формула (4.12) расчёта необходимого объёма газификационной установки для утилизации остаточной ППМ составит:

$$V_{ГУ} = V_{ППМ11} / \rho_{ППМ}. \quad (4.13)$$

В результате расчёта дополнительно к установке принимаем газификационную установку объёмом 0,5 м³.

В. Требуемый объём газгольдера рассчитывается по алгоритму.

Количество вырабатываемого синтез-газа в целом за 1 смену (6 часов) работы дополнительной секции газификационной установки:

$$V_{дсг} = (V_{ППМ11} \cdot 0,712) \cdot t, \quad (4.14)$$

где 0,712 – количество вырабатываемого синтез-газа из 1 кг ППМ.

Расчёты показывают, что в час данная дополнительная секция выработает 1764 м³ синтез-газа в смену.

В ночное время газификационные установки не работают. Необходимое количество синтез-газа в ночное время:

$$V_{НП} = V_{П} \cdot 18, \quad (4.15)$$

Расчёт показывает необходимый ночной объём топлива 94,374 м³.

Излишек синтез-газа, передающийся в газгольдер для дальнейшего хранения и реализации, рассчитывается по формуле:

$$V_{ГГ} = V_{излг} + V_{дсг}, \quad (4.16)$$

По результатам расчёта необходимый объём газгольдера составит 2000 м³, то есть вырабатываемый синтез-газ на предлагаемой газификационной установке доказывает целесообразность энергетического использования ППМ для выработки тепловой энергии и электрической энергии для отопления и освещения птичников.

ППМ, образованная за год, может быть утилизирована в течение 11 месяцев. Полученный излишек синтез-газа возможен к реализации сторонним потребителям.

По результатам расчётов разработана технологическая схема станции с газификационными установками (рисунок 4.19).

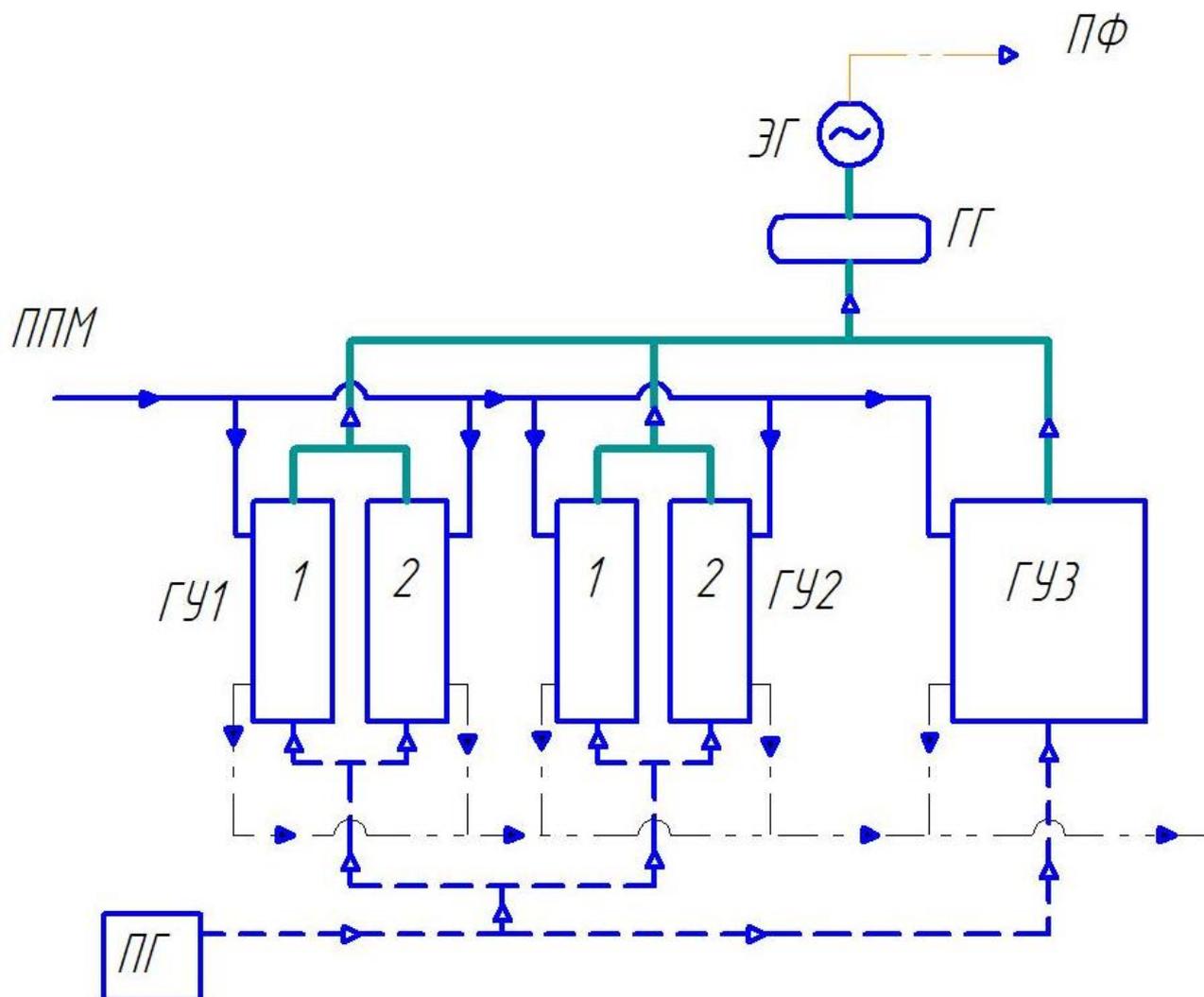


Рисунок 4.19 – Технологическая схема станции с газификационными установками на птицеводческом предприятии: ПГ – парогенератор; ГУ1, ГУ2 – секции газификационных установок; ГУ3 – третья секция ГУ; 1, 2 – газификационные установки в секциях ГУ1 и ГУ2; ППМ – подстильно-помётная масса; ПГ – газгольдер; ЭГ – электрогенератор; ПФ – птицеферма

Станция с газификационными установками работает в непрерывном режиме которая обеспечивается поочерёдной загрузкой сырья в реакторы 1 и 2. После выгорания всего углерода из загрузки в работу включается параллельно включённый реактор 2 в ГУ1 и ГУ2. ГУ3 работает в периодическом режиме для утилизации излишне образующегося помёта.

Газификационный агент (пар) подаётся из парогенератора ПГ в нижнюю часть газификационных установок и вступает в реакцию с компонентами ППМ

для повышения теплотворной способности синтез-газа.

Выработанный синтез-газ через общий коллектор подаётся в газгольдер ГГ, где накапливается для дальнейшего использования в поршневом электрогенераторе ЭГ. Электроэнергия подаётся на птицеводческую ферму для нужд отопления, освещения, вентиляции и систем кормораздачи.

Зола после завершения процесса газификации удаляется из газификационной установки и отправляется на склад для дальнейшей реализации в качестве удобрения.

Оборудование, включённое в технологическую схему станции, имеет компоновку, возможную для транспортировки к месту эксплуатации.

4.7.3 Режимная карта работы газификационной установки на реальном птицеводческом предприятии

Основной целью разработки режимной карты газификационной установки является обеспечение бесперебойной и надёжной работы установки на установленную нагрузку с минимальными показателями по выбросам оксида азота (NO), углекислого газа (CO₂).

Согласно РД 34.25.514-96 «Методические указания по составлению режимных карт котельных установок и оптимизации управления ими» для разработанной газификационной установки разработана режимная карта (таблица 4.7).

Таблица 4.7 – Режимная карта станции газификации ППМ на птицеводческом предприятии

Наименование	Единицы измерения	День	Ночь
1	2	3	4
Производительность	м ³ /ч	301,12	0
Закачка в газгольдер	м ³ /ч	301,12	0
Отбор на генерацию ЭЭ	м ³ /ч	5,243	5,243
	м ³ /в смену	31,458	94,374
	м ³ /сут.	125,832	
Техническое обслуживание в смену	шт.	6	6

Продолжение таблицы 4.7

1	2	3	4
Количество пара	кг/кг	0,230	0,230
Производительность парогенератора	кг/ч	97,29	0
Расход ЭЭ на газификацию (по всем установкам)	кВт	500	0
Расход синтез-газа на собственные нужды	м ³ /ч	50	0

Технические характеристики газификационных установок (таблица 4.8), работающих на покрытие собственных нужд птицефабрики в частности электроснабжение по статьям расхода на освещение, отопление брудерами для блока с молодняком, электроснабжение двигателей систем принудительной вентиляции и привода систем кормораздачи. Птицефабрика с поголовьем 5000 голов, включает 3 установки по 8 параметрам.

Таблица 4.8 – Технические характеристики газификационных установок

Характеристики	ГУ1, ГУ2	ГУ3
Объём реактора, м ³	0,022	0,5
Суточная загрузка ППМ, кг	До 15	До 420
Суточный выход синтез-газа, м ³	До 10	До 5000
Суточная производительность удобрения, кг	До 3	До 83
Рыночная цена произведённых удобрений за сутки, руб.	400	1700
Вес установки нетто, кг	50	5000
Мобильность	Предусмотрено	
Требование к размещению (площадка: закрытая/открытая, покрытие: твёрдое основание/не требуется)	Без ограничений	

При этом коэффициент полезного действия газификационной установки рассчитывается по формуле:

$$\eta = Q_B / Q_{CH} \cdot 100, \quad (4.17)$$

где Q_B – производительность установки; Q_{CH} – расход на собственные нужды газификационной установки для выработки синтез-газа.

4.7.4 Выбор вспомогательного оборудования

На основании обзора специальной литературы, посвящённой теме электрогенераторов автор пришёл к выводу, что существует множество вариантов использования полученного синтез-газа.

Потребление получаемого синтез-газа возможно в ДВС, работающих на газу, бензине или в двухтопливных двигателях (ДТД) (рисунок 4.20) [109].

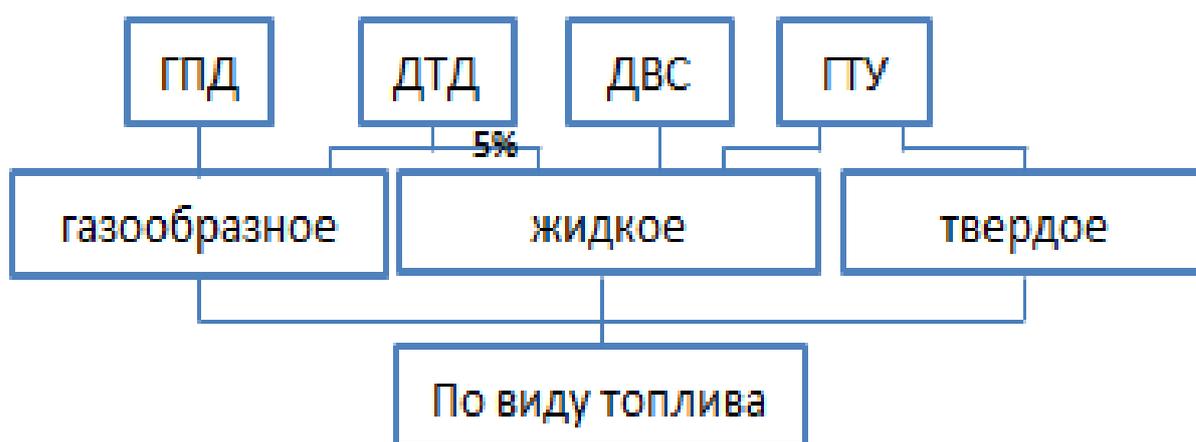


Рисунок 4.20 – Варианты подбора потребителя генераторного синтез – газа для выработки ЭЭ

Для дальнейших расчётов и оценок экономической эффективности внедрения газификационной установки для выработки электроэнергии на нужды птицефермы был выбран ДВС мощностью 10 л.с., работающий на бензине марки АИ–92.

4.7.5 Обоснование мобильности разработанной газификационной установки

Возможность утилизации всей образующейся ППМ на птицефабриках Республики Татарстан представляется возможным при реализации газификационной установки на мобильной платформе. Мелкие крестьянские (фермерские) хозяйства, не имея возможности закупки нового оборудования,

передают их для утилизации с последующим получением полезного топливного синтез-газа и удобрения на поля.

Проанализировав карту образования птицеводческих отходов, автор пришёл к выводу, что организация трёх центров обеспечит потребность Республики Татарстан в крупных птицеводческих предприятиях, находящихся в самых отдалённых районах Республики Татарстан (рисунок 4.21).

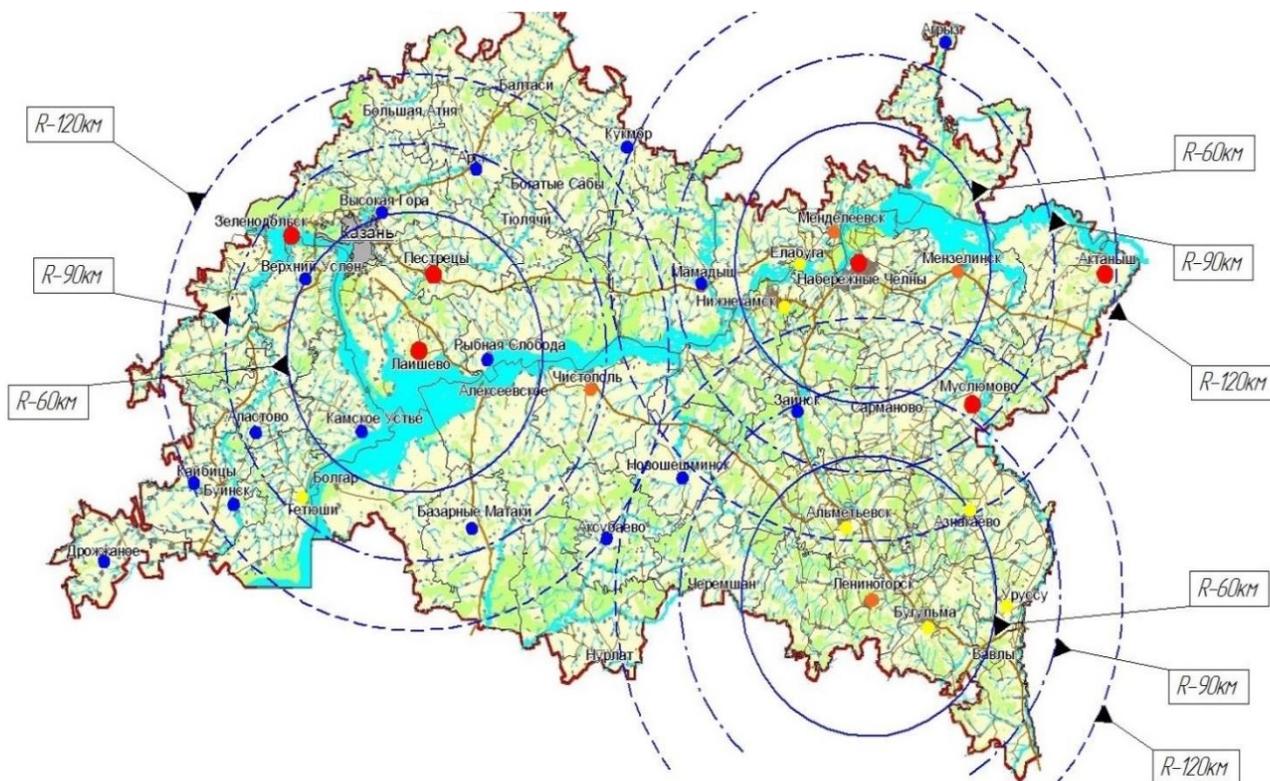


Рисунок 4.21 – Карта-схема с отметкой расстояния от крупных центров по разведению птицы до малых предприятий

На рисунке 4.21 отображены расстояния до самых отдалённых населенных пунктов Республики Татарстан в которых действуют малые птицеводческие предприятия и предполагается организация кустового метода сбора и утилизации отходов птицеводства. Птицеводческие предприятия централизованно свозят образующиеся отходы в крупные центры или на птицеводческие предприятия будет выезжать мобильная установка и на их площадках будут производиться утилизация и закачка полученного синтез-газа в газгольдеры предприятий [85].

Исходя из вышеизложенного можно сделать следующие выводы:

1. Экспериментально обосновано повышение калорийности синтез-газа при исключении и замещении газифицирующего агента воздуха на альтернативный пар. В результате калорийность может достичь 11233 кДж/кг.
2. Эксперименты подтверждают теорию снижения азота N_2 в синтез-газе благодаря отсутствию в водяном паре азота воздуха.
3. Опираясь на теоретические предпосылки при проведении экспериментов, на газификационной установке проведена проверка на воспламенение.
4. Анализ использования золы показал, что полученная зола содержит оксид калия (K_2O) – 15,5 %, оксид фосфора (P_2O_5) – 23,9 %, оксид кальция (CaO) – 17 %. Патогенная микрофлора при этом полностью уничтожается. Количество полученной золы достигает 20 % от объёма сырья.

ГЛАВА 5 ЭКОНОМИЧЕСКАЯ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВНЕДРЕНИЯ ГАЗИФИКАЦИОННОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ УТИЛИЗАЦИИ ОТХОДОВ ПТИЦЕВОДСТВА

Полученные результаты экспериментальных исследований использовались при расчёте экономической эффективности от внедрения предлагаемой газификационной установки в птицеводческие предприятия. Расчёт производился в соответствии с методикой экономической оценки новой сельскохозяйственной техники (ГОСТ 34393-2018) путём сравнения предлагаемой технологии с альтернативной установкой.

Основной целью проведения расчётов экономической эффективности новой газификационной установки является их качественно-количественная оценка по сравнению с альтернативной установкой.

В данной главе диссертационной работы рассматриваются следующие экономические вопросы проектирования новой технологической линии утилизации ПП.

Данные на основные материалы взяты по прайс-листам заводоизготовителей, расположенных на территории Российской Федерации (таблица 5.1).

Таблица 5.1 – Результаты расчётов расхода на материалы

Наименование	Сумма, руб.	
	Комплексы с газификаторами	
	предлагаемый вариант (КГЭУ)	существующий вариант [12]
Газогенератор с контрольно-измерительным оборудованием	143 490	166 064
Бензогенератор	18 490	32 000
Газгольдер	200 000	Не предусмотрено
Вспомогательное оборудование	44 400	105 600
Итого:	408 130	303 664

Затраты на покупку материалов, изготовление и сборку рассчитываются по формуле:

$$З = З_у + З_Г + З_в, \quad (5.1)$$

где $З_у$ – затраты на покупку комплектующих материалов для изготовления, руб.; $З_Г$ – затраты на покупку двигателя с электрогенератором, руб.; $З_в$ – прочие затраты на вспомогательное оборудование и прочие хозяйственные и производственные расходы, руб. (таблица 5.1).

Анализ таблицы 5.1 показывает, что наиболее затратным при проектировании энергетического комплекса с газогенератором является разработанная автором газификационная установка. С учётом всех расходов энергетический комплекс будет стоить 408130 рублей.

Далее проводится более детальный расчёт срока окупаемости установки при реализации золы в качестве удобрения для сельскохозяйственных нужд.

Сырьём для установки служит отход от выращивания птицы, не требующий дополнительных вложений.

Оплата труда обслуживающего персонала повременная и определяется по формуле:

$$З_п = ЧТС \cdot Т, \quad (5.2)$$

где $Т$ – трудоёмкость, ч; ЧТС – часовая тарифная ставка, руб.

Годовая трудоёмкость персонала эксплуатирующей установку рассчитывается по формуле:

$$Т_Г = Т_д \cdot t \cdot n, \quad (5.3)$$

где $Т_д$ – количество дней работы сушильной установки в году; t – длительность работы установки в день, ч; n – число обслуживающего персонала, чел.

Результаты расчётов сведены в таблицу 5.2.

Из таблицы 5.2 видно, что весьма высокий расход приходится на заработную плату обслуживающего персонала для существующего варианта газификационной установки, это обусловлено численностью персонала, необходимого для обслуживания всего комплекса с газификационной установкой.

Таблица 5.2 – Расходы на оплату труда с отчислениями на социальные нужды

Должность	Функции	Трудоём- кость/ч	Кол-во, чел.	Разряд	ЧТС, руб	Оплата труда за мес., тыс.руб.	Оплата труда за год, тыс. руб.
Предлагаемый вариант (КГЭУ)							
Обслужи- вающий персонал	Поддер- жание ра- ботоспо- собности комплекса, своевре- менное ТО	$300 \cdot 6 = 1800$	1	3	150	270	3240
Существующий вариант [11]							
Обслужи- вающий персонал	Поддер- жание работоспо- собности комплекса, своевре- менное ТО	$270 \cdot 5 = 1350$	2	3	150	405	4860

Согласно Общероссийского классификатора основных фондов (ОКОФ), включаемых в амортизационные группы, энергетический комплекс с газификационной установкой включается в 4 группу с полезным сроком использования от 5 до 7 лет (330.28.21.13.129). При грамотном обслуживании и квалифицированного эксплуатирующего персонала прошедшего обучение и имеющий соответствующую квалификацию в дальнейших расчётах срок использования принимается за 7 лет. Следовательно, при норме амортизации 14,28 % для разработанной автором газификационной установки с альтернативным газифицирующим агентом амортизационные отчисления составят 58 280,96 руб., для существующего варианта составит 43 363,2 руб.

Важным показателем при выборе альтернативного инженерного решения является расход электрической энергии (ЭЭ) потребляемый комплексом в целом и включающий расходы энергии на вспомогательные узлы и саму газификационную установку. (таблица 5.3).

Таблица 5.3 – Расход ЭЭ на оборудование

Наименование	Мощность, кВт	Время работы, сут.	Расход ЭЭ в сутки, кВт/ч
Предлагаемый вариант (КГЭУ)			
Нагреватели	20	6	120
Парогенератор	17	6	102
Прочее	1	6	6
Итого, кВт/ч	228		
Существующий вариант [11]			
Нагреватели	10	5	50
Холодильник	3,55	6	21,3
Прочее	6,61	6	39,66
Итого, кВт/ч	110,96		

Произведём расчёт экономической эффективности проекта (таблица 5.4) и обоснование выбора энергетического комплекса с получением синтез-газа.

Таблица 5.4 – Расчёт экономической эффективности проекта, руб.

Показатель	Предлагаемый вариант (КГЭУ)	Существующий вариант [11]
Капитальные вложения, руб.	408 130	303 664
Эксплуатационные затраты, руб.	3 537 953,96	4 989 645,2
в т.ч.		
оплата труда с отчислениями, руб.	3 240 000	4860000
амортизационные отчисления, руб.	58 280,96	43 363,2
Стоимость потребления ЭЭ (тариф на электроэнергию принят для сельского населения 2,88 руб. за кВт/ч), руб.	239 673	86 282

Экономическая эффективность газификационной установки:

$$Э_{\text{ф}} = ЗП - Э_3, \quad (5.4)$$

где \mathcal{E}_3 – эксплуатационные затраты, руб.

Подставив табличные значения в формулу, получим:

$$\mathcal{E}_\Phi = 3\,240\,000 - 3\,537\,953,96 = -297\,953,96 \text{ руб.}$$

Коэффициент экономической эффективности капитальных вложений:

$$K_{\mathcal{E}} = \mathcal{E}_\Phi / K_P, \quad (5.5)$$

где K_P – капитальные вложения в производство, руб.; \mathcal{E}_Φ – экономия, связанная с использованием оборудования за год, руб.:

$$K_{\mathcal{E}} = 297\,953,96 / 408130 = 0,73.$$

Срок окупаемости капитальных вложений в годах определяется по формуле:

$$T_K = 1 / K_{\mathcal{E}}, \quad (5.6)$$

$$T_K = 1 / 0,73 = 1,36 \text{ года.}$$

В результате расчёта срок составляет 1,36 лет. При сроке полезного использования 7 лет это весьма значимый показатель.

Предлагаемая установка имеет низкий срок окупаемости и является отечественным продуктом, имеющий охранный документ (Патент РФ), а также награжден (см. Приложение 2) дипломом «50 инновационных идей для Республики Татарстан».

5.1. Расчёт предотвращенного экологического ущерба при длительном хранении помёта

При длительном хранении подстильно-помётной массы, более 11 месяцев, в силу вступает Федеральный закон № 7-ФЗ и предприятия обязаны производить платежи за размещение отходов, а также за негативное воздействие на окружающую среду.

В главе 1 диссертации автором производился замер и расчёт количества эмиссии парниковых газов в атмосферу от полигона хранения. По расчётам при хранении 841 т в год ППМ эмиссия метана составит 3,07 т/год.

При ставках платы за негативное воздействие на окружающую среду,

определяемой Постановлением Правительства Российской Федерации от 13.09.2016 № 913 в размере по метану 108 рублей за тонну и коэффициентов к ставкам за текущий год, определённых Постановлением Правительства Российской Федерации от 01.03.2022 № 274 в размере 1,19, сумма экологического ущерба составит:

$$P_{\text{CH}_4} = M_{\text{CH}_4} \cdot T \cdot k, \quad (5.7)$$

где M_{CH_4} – масса эмиссии метана, т/год; T – ставка платы за 1 т загрязняющего вещества; k – коэффициент к ставке за текущий год.

В результате плата за эмиссию метана составит 386 рублей в год.

Также рассчитаем плату за размещение ППМ в специализированных площадках при условии, что помёт птицы относится в 3 классу опасности. В ФККО под номером *1 12 711 01 33 3 помёт куриный свежий*.

Плата за размещение помёта составит:

$$P_{\text{ППМ}} = M_{\text{ППМ}} \cdot T_{\text{ТО}} \cdot k, \quad (5.8)$$

где $M_{\text{ППМ}}$ – масса отхода, т; $T_{\text{ТО}}$ – ставка за размещение отходов, руб./т.

Таким образом, в случае отсутствия у предприятия технологий и методов утилизации ППМ плата за размещение 3 класса опасности в объёме 841 т составила бы 1 328 048 рублей [71].

В сумме с платой за эмиссию метана в результате внедрения газификационной установки предприятие может сэкономить порядка 1 400 000 руб. в год.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. На основе проведённого анализа существующих направлений газификации отходов птицеводства предложена классификация газификационных установок по трем категориям и выявлено, что ряд авторы не учитывают реакции и потенциал сконденсированного углерода.

2. Разработана конструктивно-технологическая схема и изготовлена газификационная установка, новизна технического решения которой защищена патентом на изобретение № 2754911. На основе теоретических расчётов обоснованы основные конструктивно-технологические параметры установки: высота – 0,7 м, диаметр – 0,1 м, вес без загрузки – 50 кг. При этом благодаря смешивающему устройству поддерживается равномерное распределение температуры и измельчение спекающихся агломератов в корпусе газификационной установки.

3. Разработана математическая модель (2.23), (2.29) – (2.31) процесса газификации, описывающая сложный характер химических реакций в объёме газификационной установки, а также предложена методика расчёта (2.13), (2.53), (4.10), позволяющая определить технические и технологические параметры газификационной установки во взаимосвязи с мощностью птицеводческого предприятия.

4. Экспериментально подтверждено повышение эффективности работы газификационной установки при добавлении водяного пара. Так, при добавлении водяного пара в количестве 0,230 кг/кг и регулировании температуры до 1273 К калорийность синтез-газа увеличивается и составит порядка 120 тыс. кДж/кг. В результате экспериментов установлено, что производительность газификационной установки по синтез-газу составляет 3,56 м³/ч. Образующая зола в количестве 1 кг/ч пригодна в качестве удобрения. Зола соответствует фосфорно-калийному удобрению и санитарным требованиям, предъявляемым к ним.

5. Экологический эффект от внедрения газификационной установки позволил

снизить платежи за размещение отходов 3 – 4 класса опасности и составил 1 млн. 328 тыс. рублей в год. Экономический эффект от внедрения газификационной установки с рекуперацией отходов птицеводства равен 148 952,96 рублей. Срок окупаемости предлагаемой установки – 1,36 года.

Результаты экспериментальных исследований позволили внедрить технологию газификации в реальный сектор экономики, что подтверждается актом внедрения (Приложение 12).

Результаты апробации математического аппарата при обосновании конструктивных особенностей и методики проведения экспериментов внедрены в учебный процесс подготовки бакалавров и магистров направления подготовки «Техносферная безопасность» (Приложение 13).

Перспективы дальнейшей разработки темы.

Дальнейшие исследования заключаются в создании газификационных установок с интенсификацией теплообменных процессов между теплоносителем и сырьем с учетом характеристик загружаемого сырья и создании дополнительного оборудования для насыщения золы азотсодержащим удобрением для большей конкурентоспособности получаемого продукта на рынке органоминеральных удобрений.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

- АПК – агропромышленный комплекс;
- ГУ – газификационная установка;
- ДВС – двигатель внутреннего сгорания;
- ДТД – двухтопливный двигатель;
- ИТС НДТ – информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям;
- ИСР – интегральная среда разработки;
- кпд – коэффициент полезного действия;
- КХА – количественный химический анализ;
- КФХ – крестьянское (фермерское) хозяйство;
- МГЭИК – Межправительственная группа экспертов по изменению климата;
- ОКОФ – общероссийский классификатор основных фондов;
- ПК – персональный компьютер;
- ПНДФ – природоохранные документы нормативные федеративные;
- ПП – подстилочный помёт;
- ППМ – подстильно-помётная масса;
- ПФО – Приволжский федеральный округ;
- РЭ – руководство по эксплуатации;
- СВЧ – тепловое воздействие волн сверхвысокой частоты;
- ТЭР – топливные энергетические ресурсы;
- FAO – Продовольственная и сельскохозяйственная организация Объединённых Наций / Food and Agriculture Organization of the United Nations;
- ФККО – федеральный классификационный каталог отходов;
- ФНС – Федеральная налоговая служба;
- ЧТС – часовая тарифная ставка;
- ЭН – электронагреватель;
- ЭЭ – электрическая энергия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аксенова, Е.Н. Элементарные способы оценки погрешностей результатов прямых и косвенных измерений: учебное пособие / Е.Н. Аксенова. – М.: Изд. МИФИ, 2003. – 16 с.
2. Алексеев, В.П. Алгоритм и программа обработки массивов непрерывных данных методом планирования эксперимента / В.П. Алексеев, А.В. Кузнецов // Вестник ТГПУ, 2005. – Вып. 7(51). – (Сер. Естественные и точные науки).– С. 61–67.
3. Алемасов, В.Е. Основы теории физико-химических процессов в тепловых двигателях и энергетических установках / В.Е. Алемасов, А.Ф. Дрегалин, А.С. Черенков.– М.: Химия, 2000. – 520 с.
4. Бартновский, С.П. Антропогенное воздействие на окружающую среду промышленного птицеводства (на примере ОАО «Шушенская птицефабрика») / С.П. Бартновский // Экология южной Сибири и сопредельных территорий, 2015. – Вып.19. Т.1. – С.135.
5. Божко, Г.В. Разъемные герметичные соединения / Г.В. Божко // Вестник ТГТУ, 2010. – № 2. Том 16. – С. 404–420.
6. Бондаренко П.С. Древесная зола в качестве удобрения / П.С. Бондаренко // Динамика взаимоотношений различных областей науки в современных условиях: сборник статей Международной научно-практической конференции (13 ноября 2017 г, г. Уфа). В 2 ч. Ч.2 – Уфа: АЭТЕРНА, 2017. – С. 202–203.
7. Брюханов, А.Ю. Метод проектирования технологий утилизации навоза и помета / А.Ю. Брюханов // В сборнике: Научное обеспечение развития АПК в условиях импортозамещения. Сборник научных трудов международной научно-практической конференции профессорско-преподавательского состава «Научное обеспечение развития сельского хозяйства и снижение технологических рисков в продовольственной сфере»: в 2-х частях, 2017. – С. 438–441.
8. Брюханов, А.Ю. Рекомендации по организации и проведению производственного экоконтроля систем переработки и использования навоза /

А.Ю. Брюханов, Д.А. Максимов, Х. Хухта, Э.В. Васильев, В.Б. Минин, И.А. Субботин // Порядок разработки Технологического регламента. Государственное научное учреждение Северо-Западный научно-исследовательский институт механизации и электрификации сельского хозяйства Российской академии сельскохозяйственных наук. – Санкт-Петербург, 2012.

9. Буков, Н.Н. Установка утилизации препаративных форм некондиционных пестицидов / А.И. Лактионов, К.В. Ларионов, В.Т. Панюшкин, Р.В. Горохов // Экология и промышленность России, 2007. – № 10. – С. 4–7.

10. Буков, Н.Н. Утилизация некоторых препаративных форм некондиционных хлорорганических пестицидов / Н.Н. Буков, К.В. Ларионов, Л.Ф. Репная и др. // Изв. вузов Сев.-Кавк. региона. Естественные науки. Приложение, 2005. – № 7. – С. 16–20.

11. Габитов, И.И. Пат. 167783 Российская Федерация, МПК С10J 3/20 Газогенераторная установка обращённого процесса с локальным подогревом / Габитов И.И., Костарев К.В., Балтиков Д.Ф. и др. (Россия); патентообладатель ФГБОУ ВО Башкирский ГАУ (Россия). – 2016101480; заявл. 19.01.2016; опубл. 12.02.2017.

12. Габитов, И.И. Регулирование выработки генераторного газа в газогенераторных установках малой мощности / И.И. Габитов, У.К. Галимов // Совершенствование конструкции, эксплуатации и технического сервиса автотракторной и сельскохозяйственной техники: Материалы Международной научно-практической конференции. 2013. – С. 82–86.

13. Газификаторы / Официальный сайт компании ООО «Адаптика». [Электронный ресурс]: <http://www.adaptika.ru/> (Дата обращения 05.05.2020).

14. Гарзанов, А.Л. Производство энергоресурсов и минеральных удобрений из органических отходов птицеводства / А.Л. Гарзанов, О.А. Дорофеева // Теоретический и научно-практический журнал. ИАЭП, 2018. – Вып. 95. – С. 213–223.

15. Гарзанов, А.Л. Подстилочный помёт как биотопливо для котельной / А.Л. Гарзанов, В.М. Смирнов, А.А. Аваков, Ю.В. Яковлев, И.С. Малык //

Новости теплоснабжения. 2010. – № 11 (123). – С. 19–21.

16. Горение и течение в агрегатах энергоустановок: моделирование, энергетика, экология / В.Г. Крюков, В.И. Наумов, А.В. Демин, А.Л. Абдуллин, Т.В. Тринос. – М.: «Янус-К», 1997. – 304 с.

17. ГОСТ 27322–87 Энергобаланс промышленного предприятия. Общие положения (с Изменением N 1) / Госстандарт СССР.– М., 1988.

18. Государственный доклад «О состоянии природных ресурсов и об охране окружающей среды Республики Татарстан в 2014 году» – Казань, 2015 г.

19. Гусев, В.А. Перспективы использования подстилочного помёта для получения тепла и удобрения / В.А. Гусев, И.П. Салеева, Л.П. Кокаулина// Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве. Труды 5-й Международной конференции (16 – 17 мая 2006 года, г. Москва, ГНУ ВИЭСХ). В 5-ти частях. Часть 3. Энергосберегающие технологии в животноводстве и стационарной энергетике. – М.: ГНУ ВИЭСХ, 2006. – С. 324–325.

20. Гусев, Ю.И. Конструирование и расчёт машин химических производств / Ю.И. Гусев, И.Н. Карасев, Э.Э. Кольман-Иванов и др. – М.: Машиностроение, 1985. – 408 с.

21. Демин, А.В. Оценка экологичности и эффективности процессов газификации биомассы / А.В. Демин // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского. 2021. – № 1 (79). – С. 40–50.

22. Демчук, С.В. Пат. 9767 Республика Беларусь, МПК F23G5/27 C10J3/00 C02F11/10 Способ газификации органических отходов или низкокалорийного топлива / Демчук, С.В., Скоромник, О.Д.; патентообладатель Демчук Сергей Всеволодович, Скоромник Олег Дмитриевич. – а 20040607; заявл. 01.04.2004; опубл. 28.02.2006.

23. Догру, М. Пат. 009349 Соединённое Королевство, МПК C10J3/26 C10J3/22 C10J3/30 C10J3/34 C10J3/66 Газификатор и способ газификации твердого топлива / Догру М., Акай Г.; патентообладатель Ай Ти Ай ЛИМИТЕД. – 200600910; заявл. 03.11.2004; опубл. 28.12.2007.

24. Дыганова, Р.Я. Технологии переработки отходов в агропромышленном

комплексе с использованием термической сушки и утилизации / Р.Я. Дыганова, Р. Перес, Н.Н. Фахреев // Безопасность в техносфере. 2017. – Т. 6. № 2. – С. 62–68.

25. Дыганова, Р.Я. Пат. 2754911 Российская Федерация, МПК C10J3/20 F23G5/27 B09B3/00 Установка для газификации углеродсодержащих отходов / Дыганова Р.Я., Демин А.В., Фахреев Н.Н; патентообладатель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский государственный энергетический университет». – 2021104704; заявл. 11.11.2020; опубл. 09.09.2021.

26. Дыганова, Р.Я. Исследование процесса термического разложения помета птицы методом паровой газификации / Р.Я. Дыганова, Н.Н. Фахреев // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2020. – № 162. – С. 180–186.

27. Единый реестр субъектов малого и среднего предпринимательства Федеральной налоговой службы Российской Федерации [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://ofd.nalog.ru/index.html>

28. Единая межведомственная информационно-статистическая система (ЕМИСС). [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.fedstat.ru/indicators/>

29. Запевалов, М.В. Утилизация птичьего помета методом сжигания / М.В. Запевалов, С.М. Запевалов, А.М. Бердышев // Вестник ЧГАА. 2012. – Том 61. – С. 71–74.

30. Запевалов, М.В. Обезвоживание птичьего помета перед его переработкой/ М.В. Запевалов, А.М. Бердышев, С.М. Запевалов // Аграрный вестник Урала. 2013. – № 1 (107). – С. 43–44.

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

32. Зиганшин, Б.Г. Собственная генерация тепловой и электрической энергии на основе разработанной газификационной установки для

птицеводческой отрасли / Б.Г. Зиганшин, Н.Н. Фахреев // Материалы XI-й Международной научно-технической конференции «Инновационные машиностроительные технологии, оборудование и материалы – 2022». – 2022. – Ч.2. – С. 174 – 177.

33. Иванов, Д.Г. Метод энергетической переработки помёта / Д.Г. Иванов // Сборник научных трудов. ГНУ СЗНИИМЭСХ Россельхозакадемии. 2010. – Вып. 82. – С. 135–141.

34. Иванов, Ю.Г. Особенности сжигания подстилочного помёта в твёрдотопливных котлах / Ю.Г. Иванов, А.Ф. Шафеев, В.В. Целиков // Вестник ВНИИМЖ. 2015. – № 4(20). – С.220 – 224.

35. Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям ИТС 42–2017 «Интенсивное разведение сельскохозяйственной птицы». М.: Бюро НДТ. – 2017. – 137 с.

36. Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям 9–2020 «Обезвреживание отходов термическим способом (сжигание отходов)». М.: Бюро НДТ. – 2020. – 208 с.

37. Итоги Всероссийской сельскохозяйственной переписи 2016 года: В 8 т. / Федеральная служба гос. статистики. М.: ИИЦ «Статистика России». – 2018. – 361 с.

38. Камзолов, В.Н. Расчёт неравновесных течений в соплах / В.Н. Камзолов, У.Г. Пирумов // Механика жидкости и газа. 1966. – № 6. – С. 25–33.

39. Крюков, В.Г. Математическое моделирование реагирующих течений на базе реакторного подхода/ В.Г. Крюков, В.И. Наумов, А.Л. Абдуллин, А.В. Демин, Р.Л. Исхакова // Физико-химическая кинетика в газовой динамике. 2004. – Т. 2. – 49 с.

40. Лысенко, В.П. Переработка отходов птицеводства – Сергиев посад, 1998. – 265 с.

41. Лысенко, В.П. Перспективная технология переработки помёта для начинающих предпринимателей / В.П. Лысенко // Эффективное животноводство. 2016. – № 6 (127). – С. 28–30.

42. Мартынов, Е.А. Система мониторинга микроклимата помещения для содержания цыплят-бройлеров. / Е.А. Мартынов // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. 2020. – № 4(28). – С. 72–78.

43. Методические указания по обеспечению при проектировании нормативных уровней надёжности электроснабжения сельскохозяйственных потребителей. М.: ВГПИ и НИИ «Сельэнергопроект». – 1986. – 34 с.

44. Нэнси Уилкоккс. Утилизация отходов инкубатория / Уилкоккс Нэнси // Сучаснептахівництво. 2014. – № 8. – С. 29–31.

45. Официальный сайт компании Petersimehttps [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.petersime.com/>

46. Официальный сайт ООО «Костромской Завод Котельного Оборудования». [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://kosgeyser.ru/>

47. Официальный сайт ИПК «Союз» [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.soyuz-online.ru/>

48. Официальный сайт НПП «БЕЛКОТЛОМАШ». [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://belboiler.by/>

49. Официальный сайт компании ООО "Микроэл" [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://microel.info/>

50. Официальный сайт компании «BigHerdsmanMachineryCo.» [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.bigherdsman.com/>

51. Официальный сайт компании ООО "АГРОКУРС"– [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://agrokurs.net/>

52. Официальный сайт компании ООО «МИРКЛИ» [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://mircli.ru/>

53. Официальный сайт компании ОАО «ВИАСМ» [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.viasm.ru/>

54. Официальный сайт промышленного концерна «Ballu» [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.ballu.ru/>

55. Официальный сайт компании «Neoclima» [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.neoclima.ru/>

56. Официальный сайт РОССТАТа [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://cbsd.gks.ru/#>

57. Официальный сайт компании ПКП Энергоснабкомплект [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.esbk.ru/>

58. Официальный сайт компании ООО "ЕС Трейд" [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://yestc.ru/>

59. Официальный сайт компании ИЕК [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.iek.ru/>

60. Официальный сайт компании «XinxiangYihuMachineryEquipmentCo., Ltd» [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://yihujixie.en.alibaba.com/>

61. Официальный сайт компании «СтанкоЛес-Трейд» [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://trade43.ru/>

62. Официальный сайт компании «ShanghaiFengluanIndustrialCo., Ltd.» [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://shfengluan.en.alibaba.com/>

63. Официальный сайт компании ООО «Арматура Вентиляция Насосы – комплекс» [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://promcomplex.ru/>

64. Пат. 2 283 987 Российская Федерация, МПК F23G 5/027 Способ термической переработки бытовых и промышленных отходов / Кокарев В.А., Кокарев В.В. (Россия); патентообладатель Кокарев Владимир Архипович. – 2004108243; заявл. 24.03.2004; опубл. 20.09.2006.

65. Пат. 92147 Российская Федерация, МПК F22B 33/18 Газогенератор обращённого процесса газификаций / Дурнов К.Н., Сушицкий С.П., Макаров А.И.; патентообладатель Дурнов Константин Николаевич, Сушицкий Сергей Петрович, Макаров Алексей Иванович. – 2009142503; заявл. 17.11.2009; опубл. 10.03.2010.

66. Пат. 17739 Евразийское патентное ведомство, PCT/SE2009/050630 Двухстадийный газификатор с высокотемпературным предварительно нагретым паром / Янг Вейхонг, БласьякВлодзимеж (Швеция); патентообладатель БОСОН ЭНЕРДЖИ СА (Люксембург). – 201001822; заявл. 29.05.2009; опубл. 28.02.2013.

67. Пат. 63498 Российская Федерация, МПК F23G 7/00 Установка для

утилизации препаративных форм пестицидов и других низкоконцентрированных смесей высокотоксичных веществ / Панюшкин В.Т., Буков Н.Н., Ларионов К.В., Лактионов А.И., Ассаулюк С.А., Сапунов А.Ю.; патентообладатель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Кубанский государственный университет». – 2006146503; заявл. 25.12.2006; опубл. 27.05.2007.

68. Практическая методика определения энергозатрат и энергоёмкости производства продукции, а также потребностей в энергоресурсах / Протокол Минсельхоза России. – 2001.

69. Практическая методика определения энергозатрат и энергоёмкости производства продукции, а также потребностей в энергоресурсах / Министерство сельского хозяйства Российской Федерации. – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2001 год.

70. Приказ Минэнерго Российской Федерации от 08.07.2002 № 204 «Об утверждении глав Правил устройства электроустановок».

71. Приказ Росприроднадзора от 22.05.2017 N 242 (ред. от 02.11.2018) «Об утверждении Федерального классификационного каталога отходов» (Зарегистрировано в Минюсте России 08.06.2017 N 47008).

72. РД–АПК 1.10.15.02–17 Методические рекомендации по технологическому проектированию систем удаления и подготовки к использованию навоза и помёта/ М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2017.

73. РД–АПК 1.10.05.04–13 Методические рекомендации по технологическому проектированию птицеводческих предприятий / Министерство сельского хозяйства Российской Федерации; Система рекомендательных документов агропромышленного комплекса. – М., 2013.

74. РД–АПК 3.10.15.01–17 Методические рекомендации по проектированию систем удаления, обработки, обеззараживания, хранения и утилизации навоза и помёта// Минсельхоз России. – М., 23 мая 2017.

75. Репная, Л.Ф. Исследование процессов пиролитического разложения некоторых классов пестицидов / Л.Ф. Репная, Н.Н. Буков, В.Т. Панюшкин // Изв.

вузов. Сев.-Кавк. регион. Естественные науки. 2005. – № 3. – С.81–85.

76. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03 «Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов».

77. Сидоренко, О.Д. Биологические технологии утилизации отходов животноводства / О.Д. Сидоренко, Е.В. Черданцев – М.: МСХА, 2001. – 76 с.

78. Смирнов, Р.В. Инновационная деятельность по переработке производственных отходов на примере птицефабрики / Р.В. Смирнов, А.Г. Бездудная, М.Г. Трейман // Техничко-технологические проблемы сервиса. 2020. – № 1 (51). – С. 54–60.

79. Соколов, Е.Я. Теплофикация и тепловые сети [Текст]: учебник для вузов / Е.Я. Соколов. – М.: Издательство МЭИ, 2001. – 472 с.

80. Стренк Ф. Перемешивание и аппараты с мешалками / Ф. Стренк. – Польша: 1971. – 384 с. Пер. с польск. под ред. Щупляка И.А. – Л.: Химия, 1975. – 384 с.

81. Таяновский, Г.А. Проектирование горно-перерабатывающего оборудования: лабораторный практикум для студентов специальности 1–36 10 01 «Горные машины и оборудование»: в 2 ч. / Г.А. Таяновский, Ю.В. Ромашко. – Ч. 1: Выбор рациональных проектных параметров горно-перерабатывающего оборудования. – Минск: БНТУ, 2011. – 50 с.

82. Тимченко, В.А. Оптимальные системы отопления для птичников / В.А. Тимченко // Птица и птицепродукты. 2011. – № 4. – С. 54–57.

83. Токарев, Г.Г. Газогенераторные автомобили / Г.Г. Токарев. – М.: Машгиз, 1955. – 207 с.

84. Тухватуллин, И.Л. Программное обеспечение обработки массива данных для оценки экологической обстановки в зоне влияния птицефабрик / И.Л. Тухватуллин, Н.Н. Фахреев // В книге: Тинчуринские чтения: Тезисы докладов XIII молодежной научной конференции: В 3-х томах. Под общей редакцией Э.Ю. Абдуллазянова. 2018. – С. 437–438.

85. Фахреев, Н.Н. Оценка эффективности внедрения перспективных способов утилизации отходов АПК методом термической деструкции /

Н.Н. Фахреев // Энергоресурсоэффективность и энергосбережение в Республике Татарстан. Труды XVI Международного симпозиума «Энергоресурсоэффективность и энергосбережение». Казань: Издательство: ИП Шайхутдинов А.И., 2016. – С. 304–307.

86. Фахреев, Н.Н. Программный комплекс оценки полигонов хранения органических отходов в птицеводческих комплексах / Н.Н. Фахреев, Р.Я. Дыганова // Академический вестник ЭЛПИТ. 2019. – Том 4, № 1(7). – С. 49–56.

87. Фахреев, Н.Н. Авторское свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2018615144. Программное обеспечение обработки массива данных для оценки экологической обстановки на полигонах органических отходов / Фахреев Н.Н., Дыганова Р.Я., Тухватуллин И.Л.; Оpubл. 26.04.2018.

88. Фахреев, Н.Н., Дыганова, Р.Я. Актуальные проблемы птицеводческих хозяйств в связи с изменениями в законодательных актах / Н.Н. Фахреев, Р.Я. Дыганова // Журнал экологии и промышленной безопасности. 2016. – № 2. – С. 66–67.

89. Фахреев, Н.Н. Авторское свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2017618319. Автоматизированный расчет образования органических отходов в птицеводстве / Фахреев Н.Н., Дыганова Р.Я., Тухватуллин И.Л.; Оpubл. 27.06.2017.

90. Фахреев, Н.Н. Экспериментальные исследования процесса утилизации подстилочного помета птицы методом термического разложения с применением паровой газификации / Н.Н. Фахреев // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2020. – № 10(192). – С. 133–137.

91. Фахреев, Н.Н. Моделирование газификации древесных отходов и сжигания синтез-газа в теплогенераторе / Н.Н. Фахреев, А.В. Демин // Актуальные вопросы современной науки и практики. Сбор. статей по материалам международной научно-практической конференции. Уфа. – 2019. – С. 70–74.

92. Фахреев, Н.Н. Энергетический потенциал углеродсодержащих отходов

птицеводства / Н.Н. Фахреев // Научно-технический и социально-экономический потенциал развития АПК РФ. Материалы Всероссийской научно-практической конференции имени заслуженного деятеля науки КБР, заслуженного агронома РФ, доктора сельскохозяйственных наук, профессора М.Х. Ханиева, Нальчик. – 2022. – С. 224–227.

93. Фахреев, Н.Н. Утилизация отходов птицеводства в энергетических установках / Н.Н. Фахреев // Тинчуринские чтения – 2021 «Энергетика и цифровая трансформация». Материалы Международной молодежной научной конференции. В 3 томах. Казань. – 2021. – С. 418–420.

94. Фельдман, Ф.Г. Химия [Текст]: учебник / Ф.Г. Фельдман – М.: Просвещение, 2011. – 159 с.

95. Харломпович, Г.Д. Многоликая химия [Текст] : учебник / Г.Д. Харломпович. – М.: Просвещение, 2002. – 92 с.

96. Четошникова, Л.М. Оптимизация энергетических потоков в автономной системе электроснабжения с использованием нетрадиционных источников энергии / Л.М. Четошникова, Е.А. Морозова // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Энергетика. 2013. – Т. 13. № 2. – С. 41–44.

97. Щеткин, Б.Н. Утилизация отходов птицеводства – решение проблем экологической безопасности и ресурсосбережения / Б.Н. Щеткин – Пермь: ОГУП «Соликамская типография». 2002. – 135 с.

98. Antares_Group_Incorporated. Economic and technical feasibility of energy production from poultry litter and nutrient filter biomass on the lower Delmarva Peninsula (Technical Report No. 20785) Appendix A (1999).

99. Ajay, Kumar, Thermochemical biomass gasification: a review of the current status of the technology / Ajay Kumar, David D. Jones , Milford A. Hanna // Energies. 2009. – Vol. 2. – P. 556–581.

100. Beheshti, S.M. Process simulation of biomass gasification in a bubbling fluidized bed reactor / S.M. Beheshti, H. Ghassemi, R. Shahsavan-Markadeh// Energy Conversion and Management. 2015. – Vol. 94. – P. 345–352.

101. Burra, K.G. Syngas evolutionary behavior during chicken manure pyrolysis and air gasification / K.G. Burra, M.S. Hussein, R.S. Amano, A.K. Gupta // *Applied Energy*. 2016. – Vol. 181. – P. 408–415.

102. Cotana, F. Energy Valorization of Poultry Manure in a Thermal Power Plant: Experimental Campaign / F. Cotana, V. Coccia, A. Petrozzi, G. Cavalaglio, M. Gelosia, M. Cleofe Merico // *Energy Procedia*. 2014. – Vol. 45. – P. 315–322.

103. Demin, A.V. Analysis of processes of thermal utilization of biowaste / A.V. Demin, R.Ya. Dyganova, N.N. Fakhreev // *Ecology and industry of Russia*. 2018. – Vol. 22, №5. – P. 50–53.

104. Demin, A.V. Thermo–chemical equilibrium modeling and simulation of biomass gasification / A.V. Demin, R.Ya. Dyganova., N.N. Fakhreev // *International Conference on duction and Processing (ICEPP–2020), E3S Web of Conferences*. 2020. – Vol. 161, 01081. – P. 1–3.

105. Eri, Q. CFD-моделирование паровой газификации биомассы в псевдооживленном слое на основе многокомпонентной многоступенчатой кинетической модели / Q. Eri, J. Peng, X. Zhao // *Applied Thermal Engineering*. 2018. – Vol. 129. – P. 1358–1368.

106. Florin, N.H. High-temperature thermal destruction of poultry derived wastes for energy recovery in Australia / N.H. Florin, A.R. Maddocks, S. Wood, A.T. Harris // *Waste Management* 2009. – Vol.29. – P. 1399–1408.

107. Font-Palma, C. Characterisation, kinetics and modelling of gasification of poultry manure and litter: An overview / C. Font-Palma // *Energy Conversion and Management*. 2012. – Vol.53. – P. 92–98.

108. Gambarotta A., Morini M., Zubani A., Synthesis Gas Composition Prediction for Underground Coal Gasification Using a Thermochemical Equilibrium Modeling Approach // *Applied Energy*. 2018. – Vol. 227. – P. 119–127.

109. Gil'Manshin, I.R. Mini–central heating and power plant (CHP): the choice of the optimal structure and modes of operation / Gil'Manshin I.R., Konahina I.A., Kashapov N.F., Fahreev N.N. // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering ser. "Innovative Mechanical Engineering Technologies, Equipment and*

Materials–2013". 2014. – P. 3.

110. Goyal, H. A Compact Kinetic Model for Biomass Pyrolysis at Gasification Conditions / H. Goyal, P. Pepiot // *Energy Fuels*. 2017. – Vol. 31. – P. 12120–12132.

111. Han J., Liang Y., Hu J., et al., Modeling downdraft biomass gasification process by restricting chemical reaction equilibrium with Aspen Plus // *Energy Conversion and Management*. 2017. – Vol. 153. – P. 641–648.

112. Harish K., Andrew W, Alastair M, Adisa A. Environmental and economic sustainability of poultry litter gasification for electricity and heat generation// *Waste Management*. 2019. – Vol. 95. – P. 182–191.

113. Horne, P.L.M. van, 2018. Competitiveness of the EU poultry meat sector, base year 2017; International comparison of production costs. Wageningen, Wageningen Economic Research, Report. 2018. – Vol. 116. – P. 40.

114. Huang Y., Anderson M., Lyons G. A., McRoberts W. C., Yaodong Wang, McIlveen–Wright D.R., Roskilly A.P. and Hewitt N.J. Techno–economic Analysis of BioChar Production and Energy Generation from Poultry Litter Waste//*Energy Procedia*. 2014. – Vol. 61. – P. 714–717.

115. Katsaros G., Shankar Pandey D., Horvart A., Tassou S. Low temperature gasification of poultry litter in a lab–scale fluidizedreactor // *Energy Procedia*. 2019. – Vol. 161. – P. 57–65.

116. Kaushal P., Tyagi R. Advanced Simulation of Biomass Gasification in a Fluidized Bed Reactor Using ASPEN Plus // *Renewable Energy*. 2017. – Vol. 101. – P. 629–636.

117. Kirubakaran V, Sivaramakrishnan V, Premalatha M, Subramanian P. Kinetics of auto–gasification of poultry litter//*Green Energy*. 2007. – Vol. 4. – P. 519–34.

118. Kosov V.F., Lavrenov V.A., Zaichenko V.M., Simulation of a process for the two-stage thermal conversion of biomass into the synthesis gas // *J. of Physics: Conf. Ser.*, IOP Publishing. 2015. – Vol. 4. – P. 653.

119. Manion J.A., Huie R.E., Levin R.D., Burgess Jr. D.R., Orkin V.L., Tsang W., McGivern W.S., Hudgens J.W., Knyazev V.D., Atkinson D.B., Chai E., Tereza A.M., Lin C.– Y., Allison T.C., Mallard W.G., Westley F., Herron J.T., Hampson R.F.,

Frizzell D.H. NIST Chemical Kinetics Database, NIST Standard Reference Database 17, Version 7.0 (Web Version), Release 1.6.8, Data version 2015.12, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, Maryland. – P. 20899–8320. URL: <http://kinetics.nist.gov> (дата обращения: 27.01.2018).

120. Mozafari A., Tabrizi F.F., Farsi M., S.A.H.S. Mousavi, Thermodynamic modeling and optimization of thermolysis and air gasification of waste tire // *J. of Analytical and Applied Pyrolysis*. 2017. – Vol. 126. – P. 415–422.

121. Naoumov V.I., Krioukov V.G., Abdullin A.L., Demin A.V., *Chemical kinetics in combustion and reactive flows: modeling tools and applications*, Cambridge University Press (2019).

122. Ramos A., Monteiro E., Rouboa A. Numerical approaches and comprehensive models for gasification process: A review // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2019. – Vol. 110. – P. 188–206.

123. Reardon JP, Lilley A, Browne K, Beard K, Wimberly J, Avens J. Demonstration of a small modular biopower system using poultry litter. DOE SBIR phase-I final report. Community Power Corporation (2001).

124. Silva J. D., Oliveira C. C. B. Fluidynamics modelling for a fixed bed gasifier using Laplace transform finite difference method // *Procedia Engineering*. 2012. – Vol. 42. – P. 753–769.

125. SOUTH AFRICAN POULTRY ASSOCIATION 2019 INDUSTRY PROFILE. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://sapoultry.co.za/pdf-docs/sapa-industry-profile.pdf>.

126. Taupe N.C., Lynch D., Wnetrzak R., Kwapinska M., Kwapinski W., Leahy J.J. Updraft gasification of poultry litter at farm-scale – A case study // *Waste Management*. 2016. – Vol. 50. – P. 324–333.

127. Tavares R., Monteiro E., Tabet F., Rouboa A., *Renewable Energy*. 2020. – Vol. 146. – P. 1309–1314.

128. Vaezi M., Passandideh-Fard M., Moghiman M., Charmchi M. On a methodology for selecting biomass materials for gasification purposes // *Fuel Processing Technology*. 2012. – Vol. 98. – P. 74–81.

129. Whitely N, Ozao R, Artiaga R, Cao Y, Pan WP. Multi-utilization of chicken litter as biomass source. Part I. Combustion. *Energy Fuels*. 2006. – P. 2660–2665.
130. Yahyaoui, I., et al. Advances in renewable energies and power technologies, Biomass, fuel cells, geothermal energies, and smart grids / I. Yahyaoui // Elsevier Science. 2. 2018. – P. 499.
131. Yang S., Wang H., Wei Y., et al., *Energy Conversion and Management*. 2019. – Vol. 196. – P. 1–17.
132. Young Doo Kim, Chang Won Yang, Beom Jong Kim, Kwang Su Kim, Jeung Woo Lee, Ji Hong Moon, Won Yang, Tae U Yu, Uen Do Lee Air-blown gasification of woody biomass in a bubbling fluidized bed gasifier//*Applied Energy*. 2013. – Vol. 112. – P. 414–420.
133. Yu J., Smith J.D., Validation and application of a kinetic model for biomass gasification simulation and optimization in updraft gasifiers // *Chemical Engineering and Processing*. 2018. – Vol. 125. – P. 214–226.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

ПАТЕНТ НА ИЗОБРЕТЕНИЕ «УСТАНОВКА ДЛЯ УТИЛИЗАЦИИ
УГЛЕРОДСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ»

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2754911

УСТАНОВКА ДЛЯ ГАЗИФИКАЦИИ
УГЛЕРОДСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ

Патентообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Казанский государственный энергетический университет" (ФГБОУ ВО "КГЭУ") (RU)*

Авторы: *Дыганова Роза Яхиевна (RU), Демин Алексей Владимирович (RU), Фахреев Наиль Насихович (RU)*

Заявка № 2021104704

Приоритет изобретения 11 ноября 2020 г.

Дата государственной регистрации
в Государственном реестре изобретений

Российской Федерации 09 сентября 2021 г.

Срок действия исключительного права
на изобретение истекает 11 ноября 2040 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Г.П. Ивлиев



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) **RU** (11) **2 754 911** ⁽¹³⁾ **C1**(51) МПК
C10J 3/20 (2006.01)
F23G 5/027 (2006.01)
B09B 3/00 (2006.01)ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ(12) **ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**(52) СПК
C10J 3/20 (2021.08); F23G 5/027 (2021.08); B09B 3/00 (2021.08)

(21)(22) Заявка: 2021104704, 11.11.2020

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
11.11.2020Дата регистрации:
09.09.2021

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 11.11.2020

(45) Опубликовано: 09.09.2021 Бюл. № 25

Адрес для переписки:

420066, г. Казань, ул. Красносельская, 51,
Казанский государственный энергетический
университет (УНИР)

(72) Автор(ы):

Дыганова Роза Яхиевна (RU),
Демин Алексей Владимирович (RU),
Фахреев Наиль Насихович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования "Казанский государственный
энергетический университет" (ФГБОУ ВО
"КГЭУ") (RU)(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: RU 2283987 C2, 20.09.2006. EP
1304525 A1, 23.04.2003. CN 208695917 U,
05.04.2019. EA 022769 B1, 29.02.2016. RU 2471856
C2, 10.01.2013. V. Belgiorno et al. Energy from
gasification of solid wastes // Waste Management,
Volume 23, Issue 1, 2003, pages 1-15; DOI: 10.1016/
S0956-053X(02)00149-6. Nicolas Piatkowski et al.
Experimental investigation of a (см. прод.)(54) **УСТАНОВКА ДЛЯ ГАЗИФИКАЦИИ УГЛЕРОДСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ**

(57) Формула изобретения

Установка для газификации углеродсодержащих отходов, включающая корпус, покрытый теплоизолирующим материалом, при этом в верхней части корпуса расположена загрузочная заслонка для засыпки сырья, также в верхней части корпуса расположен выходной штуцер, предназначенный для отвода синтез-газа в конденсатор для удаления лишней влаги, к которому присоединен конденсатоотводчик, при этом готовый синтез-газ выходит через патрубок, расположенный за конденсатором, при этом в нижней части корпуса расположена колосниковая решетка и выгрузная заслонка для удаления зольного остатка, отличающаяся тем, что содержит парогенератор, соединенный через коллектор для подачи пара с форсунками для подачи пара, расположенными ниже колосниковой решетки, при этом подогрев газификационной камеры осуществляется посредством электронагревателя, на котором установлен регулятор напряжения, позволяющий регулировать температуру нагрева исходного сырья до 1273К.

RU 2 754 911 C1

RU 2 754 911 C1

Приложение 2

ДИПЛОМ ПОБЕДИТЕЛЯ РЕСПУБЛИКАНСКОГО КОНКУРСА «50 ЛУЧШИХ ИННОВАЦИОННЫХ ИДЕЙ ДЛЯ РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН»



Приложение 3

**СВИДЕТЕЛЬСТВА О ГОСУДАРСТВЕННОЙ РЕГИСТРАЦИИ
ПРОГРАММЫ ДЛЯ ЭВМ «ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ
ОБРАБОТКИ МАССИВА ДАННЫХ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ
ОБСТАНОВКИ НА ПОЛИГОНАХ ОРГАНИЧЕСКИХ ОТХОДОВ»**

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО
о государственной регистрации программы для ЭВМ
№ 2018615144

**«Программное обеспечение обработки массива данных для
оценки экологической обстановки на полигонах
органических отходов»**

Правообладатель: *Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования «Казанский
государственный энергетический университет» (ФГБОУ ВО
«КГЭУ») (RU)*

Авторы: *Фахреев Наиль Насихович (RU), Дыганова Роза Яхиевна
(RU), Тухватуллин Ильнар Ленарович (RU)*

Заявка № **2018612292**
Дата поступления **12 марта 2018 г.**
Дата государственной регистрации
в Реестре программ для ЭВМ **26 апреля 2018 г.**

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности



Г.П. Ивлиев Г.П. Ивлиев



УТВЕРЖДАЮ

Заместитель Председателя Республиканской комиссии по присуждению гранта Правительства Республики Татарстан «Алгарыш» на подготовку, переподготовку и стажировку граждан в российских и зарубежных образовательных и научных организациях



Ш.Х.Гафаров

РЕШЕНИЕ

Республиканской комиссии по присуждению гранта Правительства Республики Татарстан «Алгарыш» на подготовку, переподготовку и стажировку граждан в российских и зарубежных образовательных и научных организациях

«23» мая 2017 года

Заслушав и обсудив выступления членов Республиканской комиссии по присуждению гранта Правительства Республики Татарстан «Алгарыш» на подготовку, переподготовку и стажировку граждан в российских и зарубежных образовательных и научных организациях, Комиссия Р Е Ш И Л А:

1. Утвердить список получателей гранта Правительства Республики Татарстан 2017 года «Алгарыш» по категории «Проектные группы» из числа специалистов предприятий реального сектора экономики, магистрантов, аспирантов и штатных преподавателей аккредитованных образовательных организаций и научных сотрудников, привлекаемых к разработке и реализации инновационных проектов в области высоких технологий согласно Приложению № 1.

2. Поручить Министерству образования и науки Республики Татарстан: заключить соответствующие договора для направления грантополучателей по категории «Проектные группы» из числа специалистов предприятий реального сектора экономики, магистрантов, аспирантов и штатных преподавателей аккредитованных образовательных учреждений и научных сотрудников, привлекаемых к разработке и реализации инновационных проектов в области высоких технологий;

произвести оплату стажировок указанной категории грантополучателей в российских и зарубежных образовательных и научных организациях за счет средств, предусмотренных на данные цели по сводной смете доходов и расходов министерства на 2017 год.

Приложение № 1
 УТВЕРЖДЕН
 Решением Республиканской комиссии
 по присуждению гранта Правительства Республики
 Татарстан «Алгарыш» на подготовку, переподготовку
 и стажировку граждан в российских и зарубежных
 образовательных и научных организациях

Список
 получателей гранта Правительства Республики Татарстан в 2017 году по категории «Проектные группы»

№ п/п	Фамилия, имя, отчество	Год рождения	Наименование организации	Страна обучения, принимающая образовательная организация	Направление подготовки	Срок обучения
1	2	3	4	5	6	7
Проектная группа ФГБОУ ВПО «Казанский государственный энергетический университет» по направлению «Техносферная безопасность»						
16.	Шипков Виктор Павлович	1990	ФГБОУ ВПО «Казанский государственный энергетический университет»	ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ», РФ	Техносферная безопасность	14 дней
17.	Дыганова Роза Яхиевна	1946	ФГБОУ ВПО «Казанский государственный энергетический университет»	ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ», РФ	Техносферная безопасность	14 дней
18.	Фахреев Наиль Насихович	1987	ФГБОУ ВПО «Казанский государственный энергетический университет»	ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ», РФ	Техносферная безопасность	14 дней

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

**СВИДЕТЕЛЬСТВО**

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2017618319**«Автоматизированный расчет образования органических
отходов в птицеводстве»**

Правообладатель: **Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования «Казанский
государственный энергетический университет» (ФГБОУ ВО
«КГЭУ») (RU)**

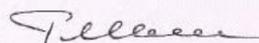
Авторы: **Фахреев Наиль Насихович (RU), Дыганова Роза Яхиевна
(RU), Тухватуллин Ильнар Ленарович (RU)**

Заявка № **2017615135**Дата поступления **31 мая 2017 г.**

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ **27 июля 2017 г.**

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

 **Г.П. Ивлиев**

Приложение 4

**ПРОГРАММА РАСЧЁТА СУТОЧНОГО И ГОДОВОГО ОБРАЗОВАНИЯ
ПОМЁТА ПТИЦЫ НА ЯЗЫКЕ ПРОГРАММИРОВАНИЯ C#**

```

using System;

namespace racc
{
    class MainClass
    {
        public static void Main(string[] args)
        {
            int C, A;
            double G, P, V, M, K;

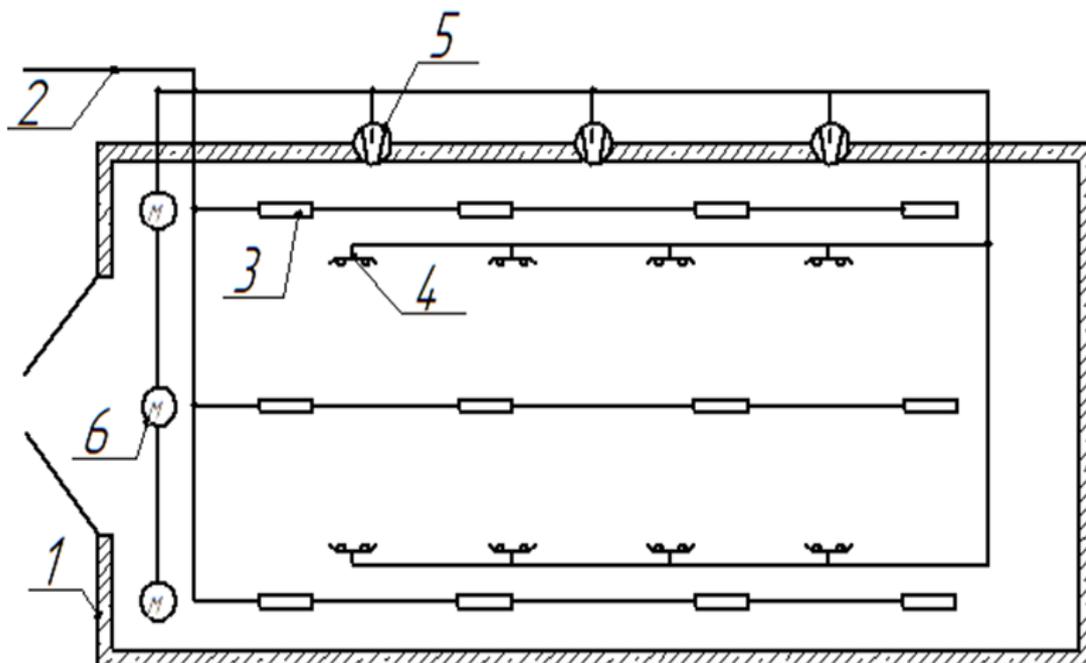
            Console.WriteLine("Введите период выращивания птиц, суток"
);
            C = Convert.ToInt32 (Console.ReadLine());
            Console.WriteLine("\nВведите заданную производительность п
редприятия за один повтор, голов");
            A = Convert.ToInt32(Console.ReadLine());
            Console.WriteLine("\nВведите выход помета от одной птицы,
т/суток");
            G = Convert.ToDouble(Console.ReadLine());
            Console.WriteLine("количество образованного помета, тонн з
а один повтор" + (V = C * A * G));
            Console.WriteLine("\nВведите количество подскилки на 1 пти
цу, кг");
            P = Convert.ToDouble(Console.ReadLine());
            Console.WriteLine("\nВведите коэффициент усушки, %");
            K = Convert.ToDouble(Console.ReadLine());

            Console.WriteLine("общий объем постилочного помета, тонн"
+ (M = P * A + V * K/100));
            Console.Read();

        }
    }
}

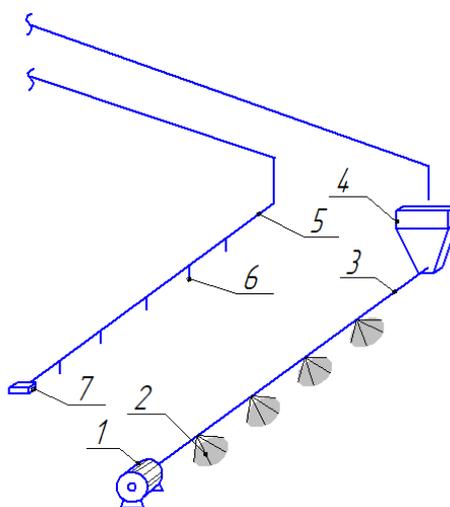
```

Приложение 5
СХЕМЫ РАСПОЛОЖЕНИЯ ОСНОВНОГО
ЭНЕРГОПОТРЕБЛЯЮЩЕГО ОБОРУДОВАНИЯ НА
ПТИЦЕВОДЧЕСКОМ ПРЕДПРИЯТИИ



Принципиальная схема расположения основного энергопотребляющего оборудования птичника на 5000 голов птицы

1– Стены птичника из железобетона; 2– внешняя распределительная электрическая сеть города; 3– люминесцентные лампы; 4– инфракрасные обогреватели; 5– осевые вытяжные вентиляторы; 6– электродвигатель кормораздачи;



Система кормления и поения птицы при напольном содержании
(изображение в изометрии)

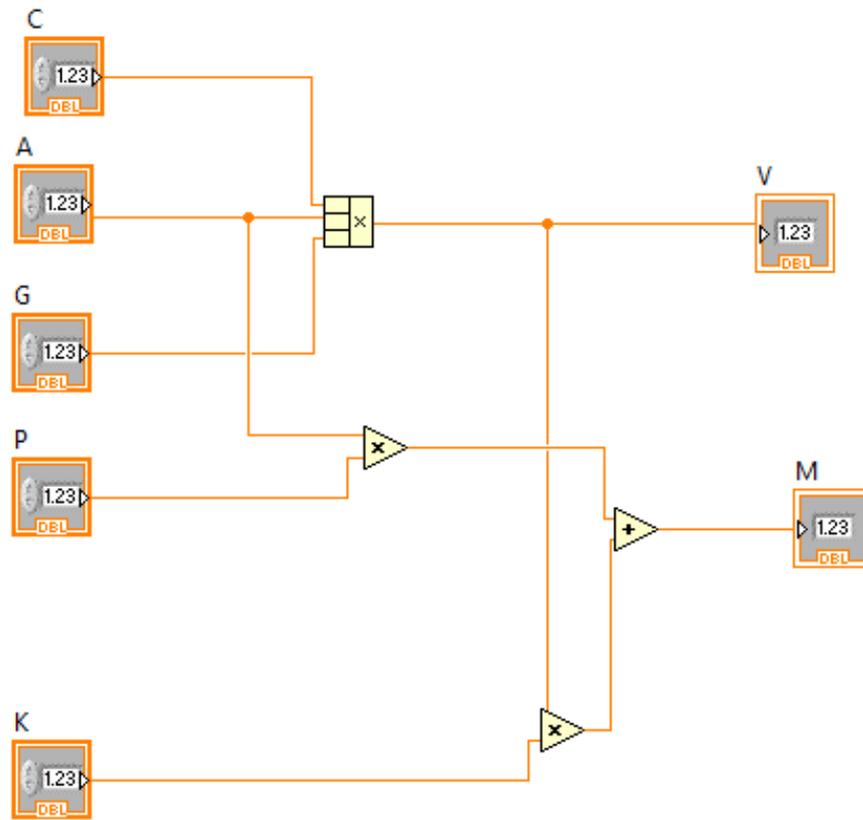
1–электропривод; 2–кормушка; 3–линия кормораздачи; 4–брудер; 5– линия поения; 6–нипельные поилки; 7–датчик уровня воды и регулятор давления.

Приложение 6
ОСНОВНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ В СИСТЕМЕ ЖИЗНЕОБЕСПЕЧЕНИЯ
ПТИЧНИКА

Технические характеристики основного оборудования птичника

Технические характеристики	Ед. изм.	Значение
Система отопления		
Инфракрасные обогреватели Frico IRCF 4500 (количество 29 шт.)		
Установленная мощность	кВт	130,5
Параметры электропитания	В/Гц	230/50
Система освещения		
Лампы люминесцентные Osram T8 (количество—112 шт.)		
Установленная мощность	кВт	4,256
Параметры электропитания	В/Гц	220В/50 Гц.
Система вентиляции		
Вентилятор с ременным приводом WF-1000 (количество 3 шт.)		
Установленная мощность	кВт	4,5 кВт
Производительность	м ³ /ч	при 0 Па – 25 000
Параметры электропитания	В/Гц	380/50
Система кормления		
Электродвигатель АИР50А4 (количество 3 шт.)		
Установленная мощность	кВт	0,18
Параметры электропитания	В/Гц	220/50

Приложение 7

АЛГОРИТМ РАСЧЁТА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ОБРАЗОВАНИЯ
ПОМЁТА

Приложение 8

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЁТОВ ПРОДУКТОВ ГАЗИФИКАЦИИ

Таблица 1 – Параметры синтез-газа из сухой биомассы ($W = 0$ масс. %)

Параметр	Температура газификации, К					
	855	933	1004	1172	1224	1341
h_g , кДж/кг	-5560	-5060	-4360	-2560	-2160	-1560
g_{H_2O}	0,33699	0,2855	0,2216	0,07403	0,04758	0,017456
g_C	0,2128	0,20632	0,18965	0,12779	0,11585	0,10492
g_{sg}	0,25104	0,31374	0,4167	0,64409	0,68248	0,72353
H_u^{sg} , кДж/кг	20143	19644	19406	20012	20128	20190
CO, % об.	4,6646	10,8481	19,267	36,1749	38,3375	40,1326
H ₂ , % об.	31,1584	41,2228	47,7747	53,8606	54,7716	56,3026
CH ₄ , % об.	36,802	25,6328	16,6566	5,3158	3,7863	1,8687
H ₂ S, % об.	1,5853	1,3024	1,0548	0,70138	0,6562	0,60864
CO ₂ , % об.	24,2044	19,6915	14,1921	3,246	1,7923	0,47886
N ₂ , % об.	1,5853	1,3024	1,0548	0,70138	0,6562	0,60864

Таблица 2 – Параметры синтез-газа из влажной биомассы ($W = 10$ масс. %)

Параметр	Температура газификации, К					
	855	934	1005	1172	1224	1341
h_g , кДж/кг	-6150	-5600	-4850	-2900	-2462	-1815
g_{H_2O}	0,335	0,28188	0,21923	0,073576	0,047404	0,017406
g_C	0,15869	0,14972	0,12971	0,056912	0,042517	0,028822
g_{sg}	0,32719	0,39453	0,50104	0,73083	0,7714	0,81509
H_u^{sg} , кДж/кг	18681	18338	18305	19323	19494	19611
CO, % об.	4,8992	11,5284	20,1622	37,7116	39,9765	41,8737
H ₂ , % об.	30,5235	40,5109	46,6991	52,5097	53,3633	54,8213
CH ₄ , % об.	35,2523	24,3273	15,8998	5,0798	3,6192	1,7846
H ₂ S, % об.	1,3104	1,0692	0,86687	0,57382	0,53625	0,49664
CO ₂ , % об.	26,7042	21,495	15,5052	3,5512	1,9685	0,52714
N ₂ , % об.	1,3104	1,0692	0,86687	0,57382	0,53625	0,49664

Таблица 3 – Параметры синтез-газа из влажной биомассы ($W = 20$ масс. %)

Параметр	Температура газификации, К					
	855	934	1005	1172	1224	1341
1	2	3	4	5	6	7
h_g , кДж/кг	-6740	-6160	-5345	-3320	-2950	-2440
g_{H_2O}	0,33271	0,28008	0,21728	0,086455	0,076387	0,067587

Продолжение таблицы 3

1	2	3	4	5	6	7
g_c	0,10431	0,093355	0,069788	0,0	0,0	0,0
g_{sg}	0,40391	0,47296	0,58473	0,79029	0,80035	0,80915
H_u^{sg} , кДж/кг	17512	17305	17430	18665	18760	18870
CO, % об.	5,0864	11,8603	20,8458	37,8224	38,9475	40,0286
H ₂ , % об.	29,9574	39,653	45,7637	52,6837	54,8321	56,6881
CH ₄ , % об.	33,9504	23,5229	15,3078	4,2581	2,2197	0,43223
H ₂ S, % об.	1,076	0,87841	0,70947	0,47605	0,45442	0,43566
CO ₂ , % об.	28,8538	23,207	16,6638	4,2837	3,092	1,9797
N ₂ , % об.	1,076	0,87841	0,70947	0,47605	0,45442	0,43566

Таблица 4 – Параметры синтез-газа из влажной биомассы ($W = 25$ масс. %)

Параметр	Температура газификации, К					
	855	934	1005	1172	1224	1341
h_g , кДж/кг	-7037	-6431	-5591	-3729	-3412	-2984
g_{H_2O}	0,33174	0,27845	0,21628	0,12347	0,11742	0,11651
g_c	0,077076	0,064904	0,039769	0,0	0,0	0,0
g_{sg}	0,44213	0,51332	0,62674	0,76097	0,76702	0,76793
H_u^{sg} , кДж/кг	17016	16865	17058	18146	182667	18447
CO, % об.	5,1446	12,1035	21,1541	35,5086	36,6882	37,9811
H ₂ , % об.	29,6545	39,3707	45,3577	55,0159	56,5786	57,4748
CH ₄ , % об.	33,4205	23,0496	15,0369	2,9288	1,3561	0,21899
H ₂ S, % об.	0,97214	0,79119	0,63949	0,45256	0,43682	0,42673
CO ₂ , % об.	29,8361	23,8939	17,1723	5,6417	4,5034	3,3717
N ₂ , % об.	0,97214	0,79119	0,63949	0,45256	0,43682	0,42673

Таблица 5 – Параметры синтез-газа из влажной биомассы ($W = 30$ масс. %)

Параметр	Температура газификации, К					
	855	934	1005	1172	1224	1341
h_g , кДж/кг	-7330	-6710	-5840	-4188	-3920	-3542
g_{H_2O}	0,33041	0,27754	0,21526	0,16485	0,16264	0,1672
g_c	0,049764	0,036643	0,009797	0,0	0,0	0,0
g_{sg}	0,48081	0,55264	0,6671	0,7273	0,72951	0,72495
H_u^{sg} , кДж/кг	16562	16465	16730	17641	17786	18028
CO, % об.	5,237	12,2368	21,4584	33,1917	34,4055	35,9092
H ₂ , % об.	29,4564	39,0228	45,0144	56,9324	57,8826	58,3185
CH ₄ , % об.	32,8435	22,7114	14,7651	2,0213	0,85965	0,12834
H ₂ S, % об.	0,87421	0,71216	0,5745	0,43428	0,42371	0,41924
CO ₂ , % об.	30,7146	24,6047	17,6131	7,086	6,0048	4,8058
N ₂ , % об.	0,87421	0,71216	0,5745	0,43428	0,42371	0,41924

Таблица 6 – Параметры синтез-газа из влажной биомассы ($W = 32$ масс. %)

Параметр	Температура газификации, К					
	855	934	1005	1172	1224	1341
h_g , кДж/кг	-7450	-6820	-5950	-4380	-4132	-3767
g_{H_2O}	0,33016	0,27708	0,21783	0,1824	0,18155	0,18776
g_C	0,038875	0,025305	0,0	0,0	0,0	0,0
g_{sg}	0,49595	0,56853	0,6774	0,71283	0,71368	0,70747
H_u^{sg} , кДж/кг	16394	16316	16598	17444	17597	17861
CO, % об	5,243	12,3042	21,4039	32,2717	33,4824	35,072
H ₂ , % об	29,3226	38,9096	45,1324	57,4647	58,3278	58,601
CH ₄ , % об	32,6824	22,5618	14,5374	1,7338	0,72588	0,10628
H ₂ S, % об	0,83748	0,68177	0,55201	0,42792	0,41921	0,4164
CO ₂ , % об	31,0763	24,8608	17,8222	7,6739	6,6254	5,388
N ₂ , % об	0,83784	0,68177	0,55201	0,42792	0,41921	0,4164

Таблица 7 – Параметры синтез-газа из влажной биомассы ($W = 35.716$ масс. %)

Параметр	Температура газификации, К					
	855	934	1005	1172	1224	1341
h_g , кДж/кг	-7668	-7024	-6214	-4752	-4532	-4185
g_{H_2O}	0,32931	0,27641	0,2478	0,2164	0,21768	0,22635
g_C	0,018585	0,0043343	0,0	0,0	0,0	0,0
g_{sg}	0,52454	0,59777	0,65308	0,68457	0,68328	0,67462
H_u^{sg} , кДж/кг	16095	16053	16265	17080	17248	17551
CO, % об	5,3024	12,424	20,0476	30,5392	31,7631	33,5056
H ₂ , % об	29,1884	38,7301	47,4866	58,5072	59,089	59,1168
CH ₄ , % об	32,293	22,279	12,9505	1,3142	0,53283	0,076082
H ₂ S, % об	0,77145	0,62764	0,52833	0,41744	0,41156	0,41121
CO ₂ , % об	31,6733	25,3117	18,4587	8,8045	7,7919	6,4791
N ₂ , % об	0,77145	0,62764	0,52833	0,41744	0,41156	0,41121

Таблица 8 – Параметры синтез-газа из влажной биомассы ($W = 40$ масс. %)

Параметр	Температура газификации, К					
	855	934	1005	1172	1224	1341
1	2	3	4	5	6	7
h_g , кДж/кг	-7920	-7288	-6518	-5196	-4998	-4666
g_{H_2O}	0,3371	0,30761	0,28358	0,2575	0,26073	0,27139
g_C	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
g_{sg}	0,54393	0,57945	0,62399	0,65007	0,64683	0,63617
H_u^{sg} , кДж/кг	15794	15749	15890	16667	16853	17193

Продолжение таблицы 8

1	2	3	4	5	6	7
---	---	---	---	---	---	---

CO, % об	5,2914	11,7129	18,6361	28,5286	29,7857	31,6841
H ₂ , % об	29,7032	41,1935	50,1297	59,5608	59,89	59,7017
CH ₄ , % об	31,4482	20,3499	11,1401	0,95438	0,37143	0,052504
H ₂ S, % об	0,70725	0,59164	0,50175	0,40684	0,40351	0,40532
CO ₂ , % об	32,1426	25,5604	19,0906	10,1425	9,1458	7,7511
N ₂ , % об	0,70725	0,59164	0,50175	0,40684	0,40351	0,40532

Протокол
 результатов лабораторных анализов проб сырья
 помёта из птичника и высушенного при температуре 300 °С.
 Контрольная масса навески – 200 г

Наименование сырья	Номер параллельной пробы	Маркировка пробы	Время выдержки пробы, мин	$M_{нач}$	$M_{кон}$	$M_{сух}$	$M_{зл}$	$M_{вл}$
Свежий из птичника	1	СВ1	7	200	171,4	137,6	62,4	33,8
	2	СВ2	7	200,05	169,04	139,43	60,615	29,607
	среднее	СВ3	7	200,03	170,22	138,52	61,508	31,704

Протокол
результатов лабораторных анализов проб продукта,
полученного в результате экспериментальных исследований при различных температурах
Контрольная масса навески – 200 грамм

Наименование сырья	Номер параллельной пробы	Температура, °С	Маркировка пробы	Время выдержки пробы	M _{нач}	M _{кон}	M _{сух}	M _{зл}	M _{вл}
Предварительно высушенный	1	600	CX1 ₆₀₀	30	200	171,8	160,2	39,8	11,6
		700	CX1 ₇₀₀	30	200	188	169	31	19
		800	CX1 ₈₀₀	30	200	189,8	167,6	32,4	22,2
		900	CX1 ₉₀₀	30	200	196	169	31	27
	2	600	CX2 ₆₀₀	30	200	174,4	160,4	39,6	14
		700	CX2 ₇₀₀	30	200	186,2	169	31	17,2
		800	CX2 ₈₀₀	30	200	194	171,4	28,6	22,6
		900	CX2 ₉₀₀	30	200	189	169	31	20
	среднее	600	CX3 ₆₀₀	30	200	173,1	160,3	39,7	12,8
		700	CX3 ₇₀₀	30	200	187,1	169	31	18,1
		800	CX3 ₈₀₀	30	200	191,9	169,5	30,5	22,4
		900	CX3 ₉₀₀	30	200	192,5	169	31	23,5

Приложение 9

**ПРОГРАММА РАСЧЕТА ВЫХОДА СИНТЕЗ-ГАЗА НА ЯЗЫКЕ
ПРОГРАММИРОВАНИЯ MATLAB**

```

% ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ
%p=_____ % давление, Па
Wh2o=____; % влажность, %
T=_____; % температура, К
Msmesi=____; % молярная масса, кг/кмоль
Z=_____;% % массовая доля конденсированной фазы (зольный остаток +
конденсированный углерод)
% *****
disp(['Влажность W = ',num2str(Wh2o)])
disp(['Температура смеси = ',num2str(T),' К '])
disp(['Температура смеси = ',num2str(T-273.15),' С '])
disp(['Молярная масса смеси = ',num2str(Msmesi),' кг/кмоль '])
Ggas=1-Z; disp(['Массовая доля синтез-газа = ',num2str(Ggas)])
disp(['Массовая доля конденсированной фазы = ',num2str(Z)])
% СОСТАВ:
%O   H   N   C   S
%SI  CA  MG  P   K
%C1O1  C1O2  H2   C1H4  H2O1
%H2S1  N2    O2   C2H2  C2H4
%C2H6  C1H3  C1H2  C1H1  C2H1
%C2H3  C2H5  H2C1O1 H1C1O1 H1C2O1
%N2H2  N2H1  N1H3  N1H2  N1H1
%H1N1O1 H1C1N1 C1N1  N1C1O1 N1O2
%N2O1  H1S1  H1O2  O1H1  N1O1
%S2    S1O1  S1O2  MG1O1* CA1O1*
%C1*   SI1O2* P4O9O1* K2O1*
r=[... ..
.
.
.
... ..];

% *****
nCO=11; % проверяется номер вещества, который должен соответствовать его
порядковому номеру % в списке веществ
s(1,1)=r(1,nCO);
nCO2=12; s(1,2)=r(1,nCO2);
nH2=13; s(1,3)=r(1,nH2);
nCH4=14; s(1,4)=r(1,nCH4);
nH2O=15; s(1,5)=r(1,nH2O);
nH2S=16; s(1,6)=r(1,nH2S);

```

```

nN2=16; s(1,7)=r(1,nN2);
nC1=51;
gC1=12000/Msmesi*r(1,nC1);
disp(['Массовая доля C* = ',num2str(gC1), ''])
Sym_s=sum(s)
s=s/Sym_s;
Sym_S=sum(s)

ms=s(1,1)*28.01114+s(1,2)*44.01109+s(1,3)*2.016+s(1,4)*16.043+s(1,5)*18.016 ...
+s(1,6)*34.05199+s(1,7)*28.0134;
%disp(['Молярная масса влажного синтез-газа = ',num2str(ms),''])
gH2O=s(1,5)*18.016/ms;
disp(['Массовая доля H2O = ',num2str(gH2O),''])
GgasD=1-Z-gH2O; disp(['Массовая доля сухого синтез-газа = ',num2str(GgasD)])
s1=s;
SR=sum(s) ;
k=(SR-s(1,5))/SR;
rH2O=s(1,5);
s(1,5)=0;
S=s/k;
sum(S);
MS=S(1,1)*28+S(1,2)*44+S(1,3)*2+S(1,4)*16+S(1,5)*18+S(1,6)*34+S(1,7)*28;
Hu=(126.44*S(1,1)+107.6*S(1,3)+358.18*S(1,4)+231.11*S(1,6))*100;
HuH2O=(126.44*s(1,1)+107.6*s(1,3)+358.18*s(1,4)+231.11*s(1,6))*100;
roGaza=0.101325*10^6*MS/8314/273;
roGaza298=0.101325*10^6*MS/8314/298;
roGazaW=0.101325*10^6*ms/8314/273;
roGaza298W=0.101325*10^6*ms/8314/298;
Vgaza273=(Ggas-gH2O)/roGaza;
Vgaza298=(Ggas-gH2O)/roGaza298;
Vgaza273W=Ggas/roGazaW;
Vgaza298W=Ggas/roGaza298W;
disp(' Безольное состояние синтез-газа')
disp(['Теплота сгорания сухого синтез-газа = ',num2str(Hu),' кДж/нм3'])
disp(['Теплота сгорания сухого синтез-газа = ',num2str(Hu/roGaza),' кДж/кг'])
disp(['Потенциальное количество тепловой энергии сингаза из 1 кг биомассы =
',num2str(Hu/roGaza*GgasD),' кДж'])
disp(['Молярная масса сухого синтез-газа = ',num2str(MS),' кг/кмоль'])
disp(['Плотность сухого синтез-газа = ',num2str(roGaza),' кг/нм3 (273 К)'])
disp(['Плотность сухого синтез-газа = ',num2str(roGaza298),' кг/м3 (298 К)'])
disp(' ')
disp(['Теплота сгорания влажного синтез-газа = ',num2str(HuH2O),' кДж/нм3'])
disp(['Теплота сгорания влажного синтез-газа = ',num2str(HuH2O/roGazaW),'
кДж/кг'])
disp(['Молярная масса влажного синтез-газа = ',num2str(ms),' кг/кмоль'])

disp(['Плотность влажного синтез-газа = ',num2str(roGazaW),' кг/нм3 (273 К)'])

```

```

disp(['Плотность влажного синтез-газа = ',num2str(roGaza298W),' кг/м3 (298
K)'])
disp(['Удельный выход сухого синтез-газа = ',num2str(Vgaza273),' нм3/кг (273
K)'])
disp(['Удельный выход сухого синтез-газа = ',num2str(Vgaza298),' м3/кг (298
K)'])
disp(['Удельный выход влажного синтез-газа = ',num2str(Vgaza273W),' нм3/кг
(273 K)'])
disp(['Удельный выход влажного синтез-газа = ',num2str(Vgaza298W),' м3/кг
(298 K)'])
disp(' Состав синтез-газа, об. %')
disp(' Компоненты; влажное состояние; сухое состояние')
disp(['CO ;',num2str(s(1,1)*100),' ; ',num2str(S(1,1)*100)])
disp(['H2 ;',num2str(s(1,3)*100),' ; ',num2str(S(1,3)*100)])
disp(['CH4 ;',num2str(s(1,4)*100),' ; ',num2str(S(1,4)*100)])
disp(['H2S ;',num2str(s(1,6)*100),' ; ',num2str(S(1,6)*100)])
disp(['CO2 ;',num2str(s(1,2)*100),' ; ',num2str(S(1,2)*100)])
disp(['H2O ;',num2str(rH2O*100),' ; ',num2str(S(1,5)*100)])
disp(['N2 ;',num2str(s(1,7)*100),' ; ',num2str(S(1,7)*100)])
Sym_S=sum(S);
disp('Контроль: сумма объемных долей веществ в сухом синтез-газе')
disp(['должна быть равна 1, Sym_S = ',num2str(Sym_S)])

```

Приложение 10

ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОСНОВНОГО ОБОРУДОВАНИЯ И ПРИБОРОВ

Технические характеристики весов САРТОГОСМ СЕ 623 С

Наибольший предел взвешивания (НПВ), Max, гр	Наименьший предел взвешивания (НмПВ), Min, гр	Дискретность (d), мг	Класс точности по ГОСТ*	Гиря для юстировки	Размер весовой чашки, (мм)
620 гр	0,02	1	II	встроенная	д 115

Технические характеристики муфельной печи SNOL 8,2/1100

Материал камеры: волокно Нагревательные элементы: закрытые Терморегулятор: OMRON (Япония) электронный Номинальная мощность, кВт:	1.8
Напряжение питающей сети, В:	220
Частота переменного тока, Гц:	50
Число фаз:	1
Время разогрева электропечи до номинальной температуры без садки, мин:	40
Диапазон автоматического регулирования температуры, °С:	50 – 1100
Стабильность температуры в установившемся тепловом режиме, без садки, °С:	+/- 2
Размеры рабочей камеры (ширина x глубина x высота), мм, не менее	200x300x133
Габаритные размеры (ширина x глубина x высота), мм, не более	440x560x510
Масса муфельной печи, кг:	33

Технические характеристики газоанализатора КОМЕТА-М

Параметр	Значение
1	2
Относительная погрешность измерения по горючим и токсичным газам в нормальных условиях (δ)	25 %
Погрешность измерения по кислороду при н. у. (Δ)	0,5 %
Дополнительная погрешность от изменения температуры окружающей среды на каждые 10 °С	не более 0,2 δ
Дополнительная погрешность от изменения влажности окружающей среды на каждые 10 %	не более 0,2 δ
Время срабатывания сигнализации Т(0,9) при нормальных условиях без пробоотборного зонда (зависит от типа сенсора):	– для горючих газов не более 15 с – для токсичных газов не более 45 с – для кислорода не более 30 с
Кол-во газочувствительных сенсоров (зависит от модели ГС)	от 1 до 6
Сигнализация:	– световая общая на все каналы
	– звуковая общая на все каналы
Срок службы сенсоров (среднестатистический):	– для кислорода и оптических сенсоров до 5 лет – для остальных газов до 3 лет
Условия эксплуатации:	– относительная влажность 30 ... 95 % – атмосферное давление 84 ... 120 кПа (630 ... 900 мм.рт. ст.)
Зарядка от блока питания	12В
Время полной зарядки, не более	4 часа

1	2
Электрическое питание от внутреннего аккумулятора	3,7 В
Время непрерывной работы без подзарядки	не менее 12 часов
Габаритные размеры (с чехлом), мм	не более 170×80×85
Масса	не более 700 г
Рабочий диапазон температур:	– холодоустойчивое исполнение –30 ... +50 °С – исполнение для нормальных условий –20 ... +40 °С
Рабочий диапазон относительной влажности	30 ... 95 %
Режим установки «0»	– автокалибровка есть – принудительная калибровка есть
Периодичность поверки	не реже 1 раза в 12 мес.
Чувствительность сенсоров	указана в спецификации на сенсоры в прил. к РЭ
Регулируемая производительность микронасоса	300–900 см ³ /мин.
Уровень взрывозащиты	1ExdibIIBT4+H2 X
Уровень защиты корпуса	IP54 – 9

Таблица единиц измерения концентраций газов и их взаимный пересчёт

Перевести и из (C _a):	Перевести в (C _x):						
	г/м ³	мг/м ³	моль/д м ³	% (об.)	дм ³ /м ³ (частей на тысячу)	ppm _v	ppb _v
1	2	3	4	5	6	7	8
г/м ³	1	10 ³ ·C _a	10 ⁻³ ·C _a / M	8312,6·10 ⁻¹ ·C _a ·T / M·P	8312,6·C _a T / M·P	8312,6·10 ³ ·C _a ·T / M·P	8312,6·10 ⁶ ·C _a ·T / M·P
мг/м ³	10 ⁻³ ·C _a	1	10 ⁻⁶ ·C _a / M	8312,6·10 ⁻⁴ ·C _a ·T / M·P	8312,6·10 ⁻³ ·C _a T / M·P	8312,6·C _a ·T / M·P	8312,6·10 ³ ·C _a ·T / M·P
моль/дм ³	10 ³ ·C _a · M	10 ⁶ ·C _a ·M	1	8312,6·10 ² ·C _a ·T / P	8312,6·10 ³ ·C _a T / P	8312,6·10 ⁶ ·C _a ·T / P	8312,6·10 ⁹ ·C _a ·T / P
% (об.)	0,12·10 ⁻² ·C _a · P / T	0,12·10 ⁻¹ ·C _a ·M·P / T	0,12·10 ⁻⁵ ·C _a ·M· P / T	1	10·C _a	10 ⁴ ·C _a	10 ⁷ ·C _a

$\text{дм}^3/\text{м}^3$	$0,12 \cdot 10^{-3} \text{Ca} \cdot \text{М} \cdot \text{P} / \text{T}$	$0,12 \cdot \text{Ca} \cdot \text{М} \cdot \text{P} / \text{T}$	$0,12 \cdot 10^{-6} \text{Ca} \cdot \text{P} / \text{T}$	$10^{-1} \cdot \text{C}_a$	1	$10^3 \cdot \text{C}_a$	$10^6 \cdot \text{C}_a$
1	2	3	4	5	6	7	8
ppm_v	$0,12 \cdot 10^{-6} \text{Ca} \cdot \text{М} \cdot \text{P} / \text{T}$	$0,12 \cdot 10^{-3} \text{Ca} \cdot \text{М} \cdot \text{P} / \text{T}$	$0,12 \cdot 10^{-9} \text{Ca} \cdot \text{М} \cdot \text{P} / \text{T}$	$10^{-4} \cdot \text{C}_a$	$10^{-3} \cdot \text{C}_a$	1	$10^4 \cdot \text{C}_a$
ppb_v	$0,12 \cdot 10^{-9} \text{Ca} \cdot \text{М} \cdot \text{P} / \text{T}$	$0,12 \cdot 10^{-6} \text{Ca} \cdot \text{М} \cdot \text{P} / \text{T}$	$0,12 \cdot 10^{-12} \text{Ca} \cdot \text{М} \cdot \text{P} / \text{T}$	$10^{-7} \cdot \text{C}_a$	$10^{-6} \cdot \text{C}_a$	$10^{-3} \cdot \text{C}_a$	1

Примечание:

- C_a - числовое значение концентрации в заданных единицах;
- C_x - числовое значение концентрации в искомых единицах;
- М - молекулярная масса газа = молярная масса газа;
- Р - общее давление газовой смеси, Па;
- Т - температура, °К;
- $1 \text{ г}/\text{м}^3 = 1 \text{ мг}/\text{л}$
- $1 \text{ мг}/\text{м}^3 = 1 \text{ мкг}/\text{дм}^3 = 1 \text{ мкг}/\text{л}$;
- $1 \text{ моль}/\text{дм}^3 = 1 \text{ моль}/\text{л}$;
- $1 \text{ см}^3/\text{м}^3 = 1 \text{ мл}/\text{м}^3$

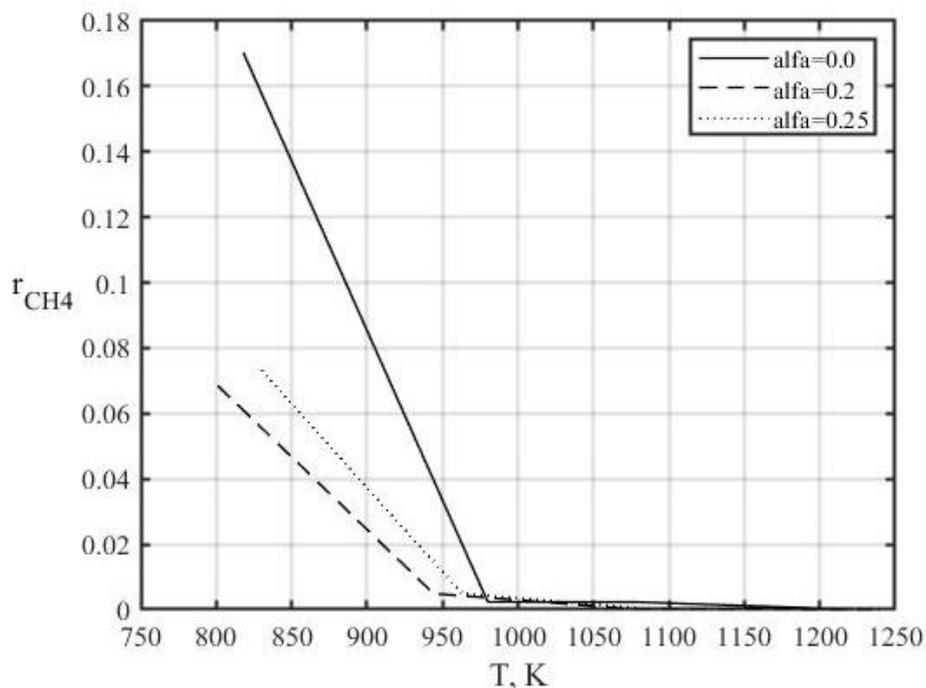
Технические характеристики термопары

НСХ	Диапазон измеряемых температур, °С	Класс допуска	Количество рабочих спаев	Материал защитной оболочки
ХА (К)	от -40 до +850	1; 2	1; 2	сталь 310
	от -40 до +1250			ХН45Ю
ХК (L)	от -40 до +600	2	1; 2	сталь 310
НН (N)	от -40 до +850	1; 2		ХН45Ю
	от -40 до +1250			сталь 310
ЖК (J)	от -40 до +750			сталь 310
Показатель тепловой инерции, с:				
– изолированный спай			40	
– неизолированный спай			10	
Условное давление, МПа			0,4	
Пылевлагозащита			IP54	
Длина монтажной части L, мм			160; 200; 250; 320; 400; 500; 630; 800; 1000; 1250; 1600; 2000; 2500; 3150	

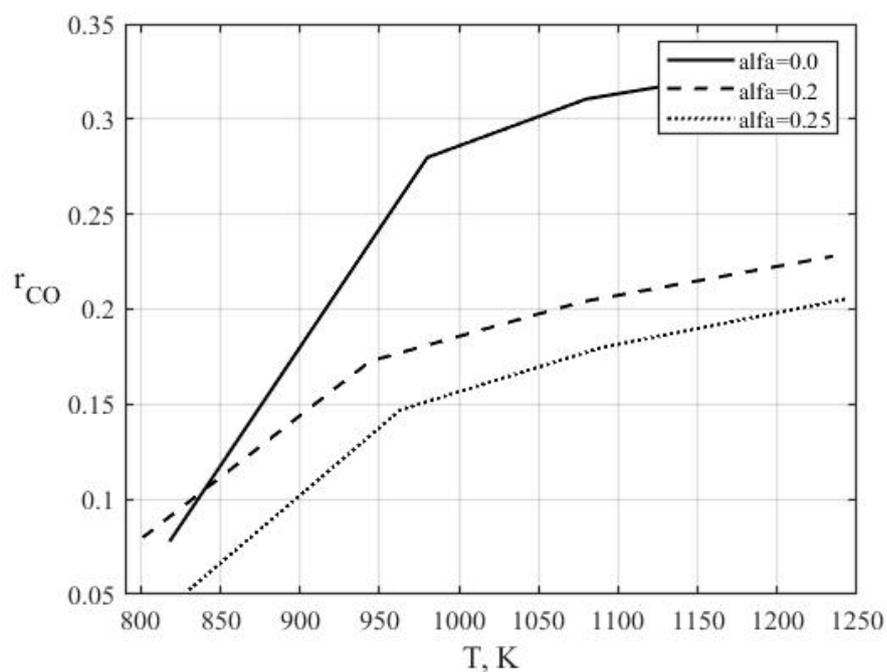
Технические характеристики мультиметра

Основные характеристики	
Тип	мультиметр
Вид прибора	цифровой
Тип элемента питания	6F22
Класс электробезопасности	CAT II
Рабочая температура	40 °С (макс.)
Характеристики измерений	
Измерение переменного напряжения	есть
Переменное напряжение (погрешность)	1.2 %
Переменное напряжение	750 В (макс.)
Измерение постоянного напряжения	есть
Постоянное напряжение (погрешность)	0.5 %
Постоянное напряжение	1000 В (макс.)
Измерение силы постоянного тока	есть
Сила постоянного тока	10000 мА (макс.)
Измерение сопротивления	есть
Максимальное сопротивление	2 МОм
Измерение работоспособности диодов и транзисторов	есть
Выявление повреждения проводки и соединения	есть

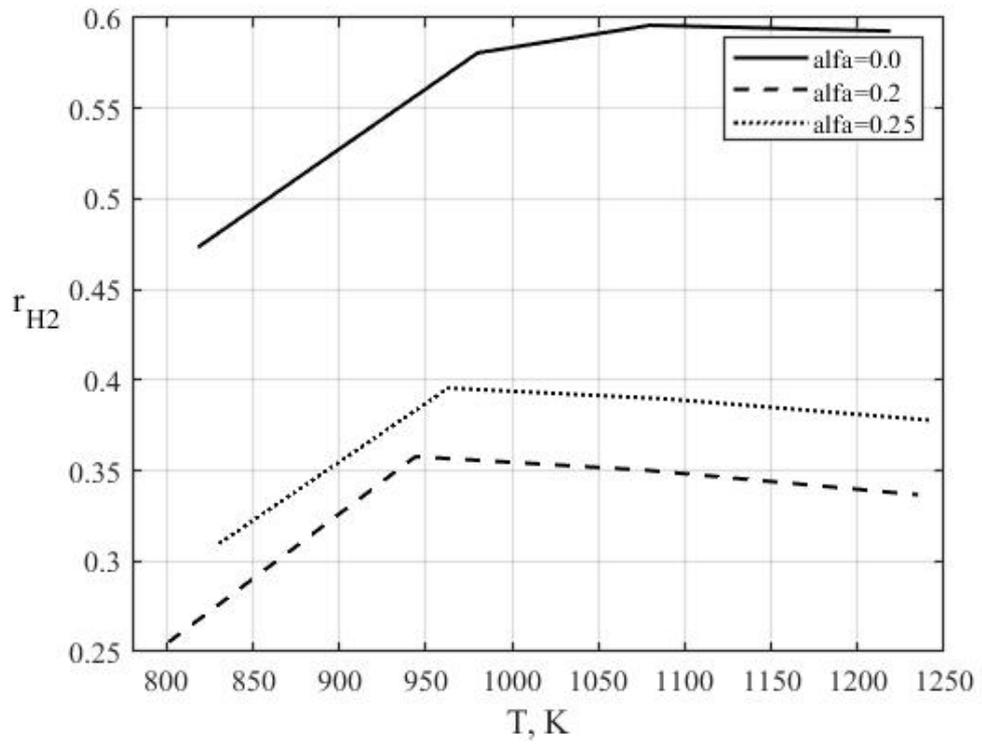
Приложение 11

**ГРАФИКИ РЕЗУЛЬТАТОВ РАСЧЁТА КОНЦЕНТРАЦИИ ГОРЮЧИХ
КОМПОНЕНТОВ СИНТЕЗ-ГАЗА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ
КОЭФФИЦИЕНТА ИЗБЫТКА ВОЗДУХА**

Концентрация метана в зависимости от температуры при различных коэффициентах избытка воздуха



Концентрация монооксида углерода в зависимости от температуры при различных коэффициентах избытка воздуха



Концентрация водорода в зависимости от температуры при различных коэффициентах избытка воздуха

Приложение 12

АКТ ВНЕДРЕНИЯ ГАЗИФИКАЦИОННОЙ УСТАНОВКИ НА ПРЕДПРИЯТИИ

УТВЕРЖДАЮ

Глава КФХ «Чербаев Михаил
Владиславович»



Чербаев М.В.

20__ г.

АКТ

внедрения энергетической установки для выработки синтез-газа с внешним подводом тепла и паровым газифицирующим агентом для переработки сельскохозяйственных отходов

Настоящим актом подтверждается, что в КФХ Чербаев Михаил Владиславович Тетюшского района Республики Татарстан была внедрена энергетическая установка для выработки синтез-газа с последующим применением его для выработки тепловой и электрической энергии приводящий в движение механизированные системы птичников, путем переработки сельскохозяйственных отходов.

Предложенная и разработанная сотрудниками кафедры «Инженерная экология и безопасность труда» ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет» старшим преподавателем Н.Н. Фахреевым, профессором Р.Я. Дыгановой и профессором А.В. Деминым, энергетическая установка применяется для выработки синтез-газа для птичников по выращиванию 5000 голов птицы.

Предложенная энергетическая установка показала высокую эффективность и надежность при эксплуатации. Основным преимуществом перед другими методами получения альтернативной энергии: высокая калорийность получаемого синтез-газа, малые габариты позволяют разместить установку на небольшой площадке, низкие удельные затраты на получения энергии. Использование подстилочного помета не требует добавления дополнительных компонентов в отход, что позволило окупить вложения на реализацию технологической линии менее чем за 1,5 лет работы птицефабрики.

Глава КФХ

М.В. Чербаев

Разработчик

Н.Н. Фахреев

Приложение 13

СПРАВКА ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ В
УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по НР
ФГБОУ ВО «КГЭУ»



И.Г.Ахметова

« » 20 г.



СПРАВКА

об использовании результатов диссертационного исследования

Результаты диссертационного исследования по направлению «Инженерные решения по утилизации отходов предприятий в различных отраслях экономики» и «Защита окружающей среды от негативного воздействия техногенного характера» старшего преподавателя Фахреева Н.Н. под руководством докт. биол. наук, проф. Дыгановой Р.Я. и научного консультанта докт. техн. наук, проф. Демина А.В. используются при разработке Электронных образовательных ресурсов по дисциплинам «Экологический аудит, надзор и контроль» и «Техногенная безопасность», оригинальность которых подтверждена Свидетельствами о регистрации электронных ресурсов в объединенном фонде электронных ресурсов науки и образования Минобрнауки РФ, а так же при подготовке бакалаврских и магистерских работ на кафедре «Инженерная экология и безопасность труда» ФГБОУ ВО «КГЭУ».

Заведующий кафедрой «Инженерная
экология и безопасность труда»
ФГБОУ ВО «КГЭУ», д.б.н., проф.

 Р.Я. Дыганова

Свидетельство о регистрации электронного курса по дисциплине «Техногенная
безопасность»

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное научное учреждение
ИНСТИТУТ УПРАВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАНИЕМ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ
ОБРАЗОВАНИЯ
ОБЪЕДИНЕННЫЙ ФОНД ЭЛЕКТРОННЫХ РЕСУРСОВ "НАУКА И ОБРАЗОВАНИЕ"
(основан в 1991 году)

**СВИДЕТЕЛЬСТВО О РЕГИСТРАЦИИ
ЭЛЕКТРОННОГО РЕСУРСА**

№ 22358

ИУО РАО
ОФЭРНиО

Настоящее свидетельство выдано на электронный ресурс, отвечающий
требованиям новизны и приоритетности:

Техногенная безопасность

Дата регистрации: 07 декабря 2016 года
Авторы: Дыганова Р.Я., Демин А.В., Фахреев Н.Н.

Директор ФГБНУ ИУО РАО,
доктор экономических наук *С.С. Неустроев* С.С. Неустроев

Руководитель ОФЭРНиО, почетный
работник науки и техники России *А.И. Галкина* А.И. Галкина

Свидетельство о регистрации электронного курса по дисциплине
«Экологический аудит в энергетике и промышленности»

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное научное учреждение
ИНСТИТУТ УПРАВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАНИЕМ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ
ОБРАЗОВАНИЯ
ОБЪЕДИНЕННЫЙ ФОНД ЭЛЕКТРОННЫХ РЕСУРСОВ "НАУКА И ОБРАЗОВАНИЕ"
(основан в 1991 году)

**СВИДЕТЕЛЬСТВО О РЕГИСТРАЦИИ
ЭЛЕКТРОННОГО РЕСУРСА**

№ 22562

ИУО РАО
ОФЭРНиО

Настоящее свидетельство выдано на электронный ресурс, отвечающий
требованиям новизны и приоритетности:

Экологический аудит в энергетике и промышленности

Дата регистрации: 07 февраля 2017 года

Авторы: Дыганова Р.Я., Фахреев Н.Н.

Организация-разработчик: ФГБОУ ВО «Казанский государственный
энергетический университет»

Директор ФГБНУ ИУО РАО,
доктор экономических наук  С.С. Неустроев

Руководитель ОФЭРНиО, почетный
работник науки и техники России  А.И. Галина