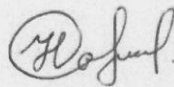


На правах рукописи



Фахреев Наиль Насихович

**РАЗРАБОТКА И ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ
ГАЗИФИКАЦИОННОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ УТИЛИЗАЦИИ
ОТХОДОВ ПТИЦЕВОДСТВА**

4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агропромышленного
комплекса

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Казань – 2023

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Казанский государственный аграрный университет».

Научные руководители: доктор технических наук, профессор, профессор РАН
Зиганшин Булат Гусманович

Официальные оппоненты: Брюханов Александр Юрьевич, доктор технических наук, доцент, федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный агроинженерный центр «Всероссийский институт механизации», директор института агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства – филиала ФГБНУ ФНАЦ ВИМ;

Балтиков Денис Фаилевич, кандидат технических наук, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Башкирский государственный аграрный университет», старший преподаватель кафедры электроснабжения и автоматизации технологических процессов.

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Бурятская государственная сельскохозяйственная академия имени В.Р. Филиппова», г. Улан-Удэ.

Защита диссертации состоится «29» сентября 2023 года в 12 часов 30 минут на заседании диссертационного совета 24.2.312.10, созданного на базе ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет» по адресу: 420015, г. Казань, ул. К. Маркса, д. 68, зал заседаний Ученого совета А-330.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах с подписями, заверенными печатью, просим направлять по адресу: 420015, г. Казань, ул. К. Маркса, д. 68, зал заседаний Ученого совета А-330, Ученый совет.

В отзыве указываются фамилия, имя, отчество, почтовый адрес, телефон и адрес электронной почты (при наличии), наименование организации и должность лица с указанием структурного подразделения, представившего отзыв (п.28 Положения о присуждении ученых степеней), специальность по защите диссертации.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет» и на сайте <https://www.kstu.ru/servlet/contentblob?id=460728>.

Автореферат разослан «__» _____ 2023 года

Ученый секретарь
диссертационного совета



Диляра Фарилевна
Зиягдинова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

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 органического 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.

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.

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. Важные аспекты эколого-экономического подхода к проблемам утилизации отходов птицеводства рассматриваются также в исследованиях Щеткина Б.Н.

Результаты, полученные на основе практических исследований, и потенциальные проблемы, связанные с газификацией в реакторе с псевдоожиженным слоем для производства тепла и электроэнергии, представлены в работах Балтикова Д.Ф., Katsaros G., Silva J.D. и др. 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.

Для решения поставленной цели были сформулированы следующие задачи:

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.

Научная новизна:

1. Обоснованы закономерности режима работы газификационной установки из условий повышения экологической безопасности и энергетической эффективности.
2. Разработана математическая модель процесса газификации подстильного помёта птицы с учётом воздействия на него альтернативного газифицирующего агента – водяного пара.

Теоретическая и практическая значимость:

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 разработанной газификационной установки подтверждена патентом № 2754911.

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

Объекты и методы исследования.

Объект исследования - установка для газификации углеродсодержащих отходов птицеводства.

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.

Достоверность полученных результатов. 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 %.

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 балластовых 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».

Основные 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 (№ 2754911), 2 свидетельства о регистрации программы для ЭВМ (№ RU 2018615144, RU 2017618319).

Объем 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.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обоснована актуальность темы, её научная новизна и практическая значимость, сформулированы основные положения, выносимые на защиту.

В **первой главе** разработана классификация установок по газификации отходов, которая послужит для разработки новых, оценки и модернизации существующих газификационных установок. Выявлено, что наилучшим направлением получения высококалорийного синтез-газа из отходов птицеводства являются установки, реализующие реакцию парового риформинга.

Во **второй главе** проведены моделирование и оценка кинетики процесса газификации в объёме установки. При обосновании процессов в установке применялись численные методы и учитывались следующие реакции: конверсии водяного газа, Будуара, водяного газа, парового риформинга.

Предполагается, что поступающие в локальную зону газификации 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. Учитывались 45 элементов, веществ и других связей атомов.

По итогам исследований получена кинетическая многореакторная модель, описывающая процессы газификации в газификационной установке уравнениями 1 – 4:

$$dy_i^Z / dt = - \exp(\gamma_i^Z) [\sum_j v_{ij} \Omega_j^Z + S_{iz} + R_0 T_Z / p_Z - S_{iz} - \exp(-\gamma_i^Z)] + \sum_q [\sum_j v_{jq} \Omega_j^Z + S_{qz} + R_0 T_Z / p_Z - S_{qz} - \exp(-\gamma_q^Z)]; \quad (1)$$

$$B_Z = \sum_j (\sum_k m_i^{S,Z} h_i^S + m_i^{Z-1,Z} h_i^{Z-1} + m_i^{Z+1,Z} h_i^{Z+1} - \sum_S m_i^{Z,S} h_i^Z + m_i^{Z,Z-1} h_i^Z + m_i^{Z,Z+1} h_i^Z); \quad (2)$$

$$dh_Z / dt = \{ \sum_j m_{j,Z}^+ (h_j - h_Z) + \sum_k [m_{k,Z}^+ (h_k^+ - h_Z) + m_{k,Z}^- (h_Z - h_k^-)] + C_Z + V_Z (dp_Z / dt) \} / M_Z; \quad (3)$$

$$T_z - T_{on} - [h_z \mu_z - \sum_i H_i^{on} r_i^z] / \sum C_{pi}^{on} r_i^z = 0, \quad (4)$$

где уравнения: 1 – изменение состава газовой смеси; 2 – комплекс, учитывающий потоки энергии, внесённые и вынесённые из объёма установки с потоками индивидуальных компонентов; 3 – уравнение изменения удельной массовой энтальпии газовой смеси в установке; 4 – уравнение температуры смеси.

При записи уравнения изменения массы газовой смеси в реакторе Z разработана схема массообменных процессов (рис. 1), основанная на теории нестационарного реактора идеального смешения.

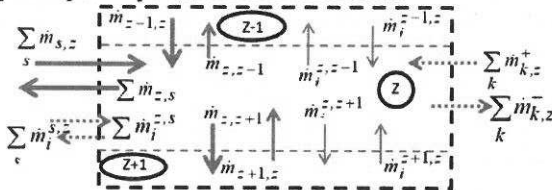


Рис. 1 – Схема массообменных процессов

Модель (1) – (4) позволила определить режимные параметры, при которых достигается максимальная полнота преобразования химической энергии загружаемого сырья и минимизируются вредные выбросы.

Расчёты показали зависимость содержания H_2 , CO и N_2 , теплотворной способности влажного и высушенного синтез-газа (табл. 1) при газификации птичьего помёта для разных значений коэффициента избытка воздуха.

Таблица 1 – Состав синтез-газа

Параметры	Значения			
Коэффициент избытка воздуха	0,1	0,2	0,3	0
Водород (H_2), об. %	39,38	29,36	21,94	52,50
Оксид углерода (CO), об. %	37,59	29,49	23,19	43,91
Азот (N_2), об. %	18,13	29,42	34,95	2,61
Теплота сгорания, кДж/кг	9259	7410	5882	11233

На рис. 2 (а, б) видны экстремумы, при которых наблюдается наибольший выход синтез-газа (монооксида углерода и водорода).

Содержание конденсированного углерода (рис. 3) при добавлении воды снижается практически до нуля и при этом содержание водорода по достижении отметки 1200 К и выше достигает максимального значения.

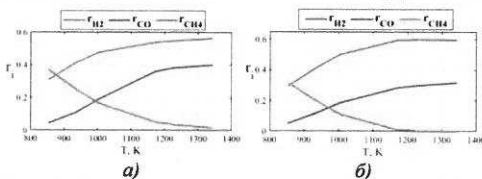


Рис. 2 – Содержание веществ в продуктах газификации ППМ: а) без добавления водяного пара; б) при добавлении водяного пара 40 масс. %

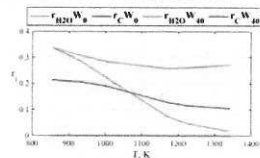


Рис. 3 – Содержание конденсированного углерода (C) и воды (H_2O) в продуктах газификации ППМ

Сравнительный анализ полученных результатов показал, что при более высоких температурах ($T_1 = 1264 \text{ K}$) термического разложения в составе продуктов преобладают оксид углерода (CO) = 54,9 и водород (H_2) = 41,6 об. %.

Из рис. 3 видно, что при повышении температуры достигается более полное преобразование конденсированного углерода (C) в оксид углерода (CO). Расчётные значения теплотворной способности синтез-газа с внешней подачей тепловой энергии указаны в таблице 2.

Таблица 2 – Параметры синтез-газа из сухой и влажной биомассы (масс. %)

Параметр	Температура газификации, K											
	0	40	0	40	0	40	0	40	0	40	0	40
	855		933		1004		1172		1224		1341	
$H_u^{\text{сг}}$, кДж/кг	15794		15749		15890		16667		16853		17193	
	20143		19644		19406		20012		20128		20190	

Из таблицы 2 видно, что при добавлении 40 масс. % H_2O снижение количества CH_4 обусловлено реакцией парового риформинга. По результатам расчётов определён удельный расход водяного пара, равный 0,223 кг/кг с ожидаемым образованием остатка полукокса всего 0,005 кг/кг.

Был разработан математический аппарат расчёта основных узлов установки. Установка обеспечивает более полную конверсию полезных составляющих ППМ в синтез-газ. На рисунке 4 представлен математический аппарат расчёта основных узлов установки.

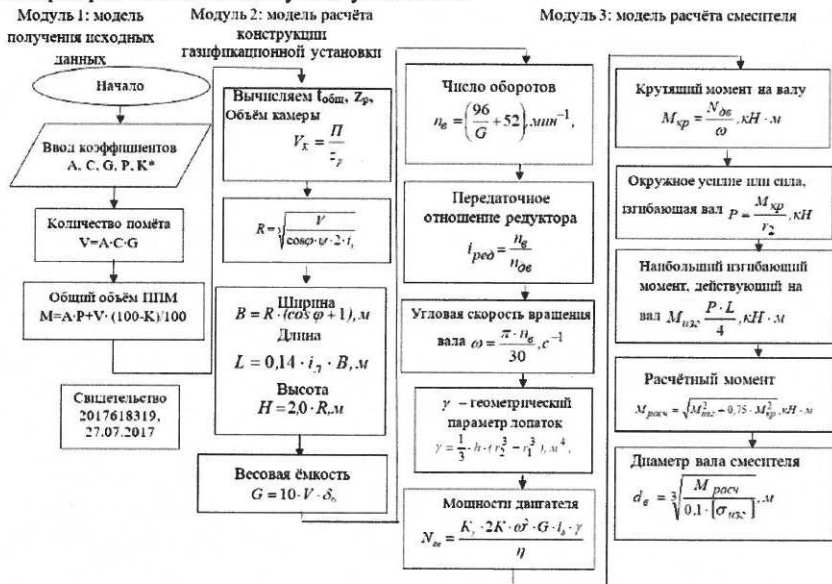


Рисунок 4 – Математический аппарат расчёта основных узлов установки

Для осуществления смоделированных реакций проведено обоснование конструктивных решений и предложены схемы основных узлов: во избежание комкования и для равномерного распределения температур в объеме установки предполагается механизировать процесс газификации с помощью мешалок. По рассчитанной методике автором разработана кинематическая схема (рис. 5) привода мешалок; для осуществления реакций с применением водяного пара обоснована пропускная способность и конструкция форсунки (рис. 6).

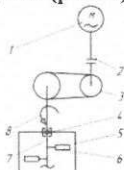


Рисунок 5 – Кинематическая схема привода мешалок:
1 – электродвигатель; 2 – муфта; 3 – ременная передача;
4 – двусторонний радиально-упорный подшипник качения;
5 – корпус газификационной установки; 6 – плужки; 7 – вал;
8 – направление вращения вала

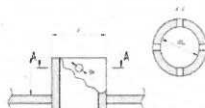


Рисунок 6 – Паровая форсунка. Общий вид

В третьей главе изложена общая программа и методика экспериментальных исследований, описание экспериментальной установки, а также представлены приборы и оборудование лаборатории.

Целью проведения экспериментов являлась проверка результатов численных исследований. По результатам расчетов режимов с подачей водяного пара был собран экспериментальный образец установки.

Для проведения исследования по газификации отходов птицеводства и проверке адекватности математической модели была разработана газификационная установка (рис. 7) (Патент № 2 754 911).

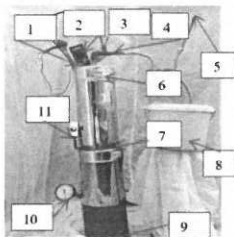


Рис.7 – Газификационная установка: 1 – термopар; 2 – мультиметр; 3 – выходной штуцер; 4 – пробоотборное отверстие; 5 – факел; 6 – загрузочный люк; 7 – корпус парового газогенератора; 8 – конденсатор; 9 – парогенератор; 10 – манометр; 11 – регулятор нагревателя

В настоящей главе изложена программа исследований газификационной установки в лабораторных и реальных условиях крестьянского (фермерского) хозяйства «Чербаев М.В.».

На первом этапе проведена проверка адекватности модели нестехиометрического режима газификации при различных коэффициентах

избытка воздуха. Коэффициент регулировался в диапазоне от 0 до 0,3.

На втором этапе проведен анализ синтез-газа при паровой газификации и проверка на воспламенение.

В четвертой главе представлены основные результаты экспериментальных исследований.

Анализ синтез-газа оценивался, в первую очередь, стабильностью горения факела. 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 водорода и монооксида углерода.

Эксперименты выявили зависимость изменения горючих компонентов от температуры (рис. 8).

Согласно реакции $\text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO} + 3\text{H}_2$ вырабатываемый CH_4 при высоких температурах преобразуется в H_2 и CO , не снижая его высокие топливные свойства.

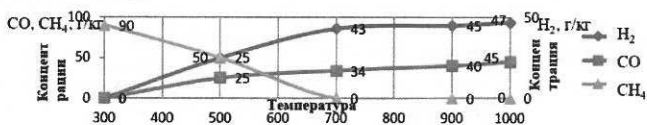


Рисунок 8 – Результаты экспериментальных исследований по замеру концентрации горючих компонентов

Для исследования взаимного влияния количества ППМ, количества подаваемого пара и температуры был проведен эксперимент. В качестве функции отклика Y была выбрана calorийность синтез-газа.

В результате стат.обработки данных получено уравнение регрессии:

$$Y = 29,9935 + 44,3139 X_1 + 0,03244 X_2 + 11,2251 X_3 \quad (5)$$

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 (рис. 9), позволяющего исследовать влияние режима газификации.

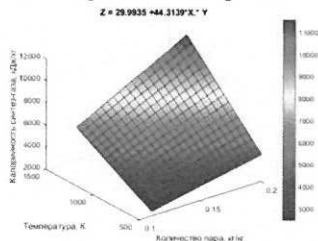


Рисунок 9 – Зависимость calorийности синтез-газа от температуры и количества подаваемого альтернативного газифицирующего агента (пар)

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

Образующаяся в процессе газификации помёта зола составляет до 20% от массы исходного сырья. Полученная зола содержит калия K_2O – 15,5%, фосфора P_2O_5 – 23,9%, кальция CaO – 17%. Патогенная микрофлора уничтожается.

При норме внесения 300 кг/га, образующимся удобрением можно покрыть 583 м² (0,5 га) полей. При этом стоимости 1 тонны удобрения в 20000 руб., дополнительная прибыль составит 3 500 000 руб. в год.

Для расчёта количества вырабатываемого синтез-газа на покрытие собственных нужд птицеводческого предприятия поголовьем 5000 голов птицы необходимо рассчитать количество секций газификационной установки. Расчет включает 3 этапа:

1. Количество первой секции:

$$P = V_{\text{П}} / V_{\text{СТ.}} \quad (6)$$

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

$$V_{\text{ППМ1}} = (V_{\text{ППМ}} - V) / 1980. \quad (7)$$

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

$$V_{\text{ГГ}} = V_{\text{излГ}} + V_{\text{д.СТ.}} \quad (8)$$

По результатам расчётов разработана технологическая схема станции с газификационными установками (рис. 10).

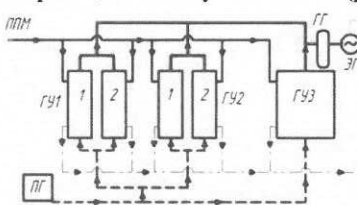


Рисунок 10 – Технологическая схема станции с газификационными установками на птицеводческом предприятии: ПГ – парогенератор; ГУ1, ГУ2 – секции газификационных установок; ГУ3 – третья секция ГУ; 1, 2 – газификационные установки в секциях ГУ1 и ГУ2; ППМ – подстильно-помётная масса; ГГ – газгольдер; ЭГ – электрогенератор; ПФ – птицеферма

Технические характеристики газификационных установок приведены в таблице 3. Птицефабрика с поголовьем 5000 голов включает 3 установки.

Таблица 3 – 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, покрытие)	Без ограничений	

В пятой главе проведен расчет экологической эффективности установки, позволяющей исключить экологические платежи за размещение отходов на сумму 1328048 рублей и в сумме с платой за эмиссию метана предприятие может сэкономить порядка 1400000 руб. в год.

Экономический эффект от внедрения газификационной установки составил 148 952,96 рублей. Срок окупаемости предлагаемой установки составил 1,36 года.

В приложении представлены результаты статистической обработки расчетных и экспериментальных данных, программный расчет процесса газификации, протоколы испытаний, акт о внедрении предлагаемой установки к внедрению.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. На основе проведенного анализа существующих направлений газификации отходов птицеводства предложена классификация газификационных установок по трем категориям и выявлено, что ряд авторов 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 расчетов 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 процесса газификации, описывающая сложный характер химических реакций в объеме газификационной установки, а также предложена методика расчета, 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. Образующаяся 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.

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.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНЫ В СЛЕДУЮЩИХ РАБОТАХ

Статьи в рецензируемых изданиях, рекомендуемых ВАК:

1. 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.

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

3. Фахреев Н.Н. Экспериментальные исследования процесса утилизации подстилочного помёта птицы методом термического разложения с применением паровой газификации / Н.Н. Фахреев // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2020. – № 10(192). – С. 133-137.

4. 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.

5. Фахреев Н.Н. Теоретические и экспериментальные исследования при разработке новой газификационной установки / Н.Н. Фахреев // Известия Дагестанского ГАУ. – 2022. – № 4 (16). – С. 302-307.

Статьи в научных изданиях, сборниках научных трудов и материалов конференций, индексируемых базой данных Scopus и Web of Science:

6. 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.

7. 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.

Патент:

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

Свидетельства о регистрации программы для ЭВМ:

9. 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 / Н.Н. Фахреев, Р.Я. Дыганова, И.Л. Тухватуллин; Оpubл. 26.04.2018.

10. Фахреев, Н.Н. Авторское свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2017618319. Автоматизированный расчет образования органических отходов в птицеводстве / Н.Н. Фахреев, Р.Я. Дыганова, И.Л. Тухватуллин; Оpubл. 27.06.2017.

Труды в прочих изданиях:

11. Фахреев, Н.Н. 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.

12. 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 «Энергоресурсо-эффективность и энергосбережение», Казань. – 2016. – С. 304-307.

13. Тухватуллин, И.Л. Программное обеспечение обработки массива данных для оценки экологической обстановки в зоне влияния птицефабрик / И.Л. Тухватуллин, **Н.Н. Фахреев** // Тинчуринские чтения: Тезисы докладов XIII молодежной научной конференции. – 2018. – С. 437-438.

14. 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.

15. 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.

16. Фахреев, Н.Н. Альтернативный способ утилизации органических отходов птицефабрик для снижения антропогенной нагрузки на окружающую среду и экологических платежей предприятия / Н.Н. Фахреев // Перспективы развития механизации, электрификации и автоматизации сельскохозяйственного производства: материалы II Национальной (Всероссийской) научно-практической конференции. Чебоксары. – 2020. – С. 212-215.

17. Фахреев, Н.Н. Утилизация отходов птицеводства в энергетических установках / Н.Н. Фахреев // Тинчуринские чтения – 2021 «Энергетика и цифровая трансформация». Материалы Международной молодежной научной конференции, Казань. – 2021. – С. 418-420.

18. Фахреев, Н.Н. Расчет дополнительного оборудования для газификационной установки по утилизации отходов птицеводства / Н.Н. Фахреев // Современные тенденции развития аграрной науки. Сборник научных трудов международной научно-практической конференции. Брянский государственный аграрный университет. – 2022. – С. 646-648.

19. 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.

20. 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.

Заказ № Тираж 100 экз.
Офсетная лаборатория КГАУ, 420015, Казань, К. Маркса, д.65