



**КЫРГЫЗСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ А. АРАБАЕВА**

Диссертационный Совет Д 05.18.584

На правах рукописи
УДК 681 5:66.012

АЙТБАЕВА ЗАМИРА КИШКЕМБАЕВНА

**АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ КАВИТАЦИОННОЙ
ДЕСТРУКЦИЕЙ ОТХОДОВ ЖИВОТНОВОДСТВА ДЛЯ
ИНТЕНСИФИКАЦИИ АНАЭРОБИКОГО СБРАЖИВАНИЯ**

**05.13.06 – Автоматизация и управление технологическими процессами и
производствами (по отраслям)**

АВТОРЕФЕРАТ

**диссертации на соискание ученой
степени кандидата технических наук**

Работа выполнена в Кыргызском государственном техническом университете имени А. АРАБАЕВА

Научный руководитель:

Доктор физико -
математических наук,
профессор академик ИА КР
Бийбосунов Б.И.,

Официальные оппоненты:

Ведущая организация:

Защита состоится __ ____ 20120 года в 15-00 часов на заседании Диссертационного совета Д. Кыргызского государственного технического университета имени А. Арабаева по адресу: 720071, г. Бишкек, ул.Мира, 46, ауд. ____.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Кыргызского государственного технического университета имени А. Арабаева по адресу: 720071, г.Бишкек, ул.Мира, 46.

Автореферат разослан « ____ » _____ 2020 г.

Ученый секретарь,
Диссертационного совета

Исраилова Н.А. ✎

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы диссертации. В Казахстане животноводство, является одним из основных видов сельскохозяйственной деятельности. Содержание крупно - рогатого скота в крестьянско - фермерских хозяйствах, производят отходы животноводства, которые не обеззараживаются и не перерабатываются, в виду отсутствия системы частичной или полной его утилизации, что загрязняет окружающую среду близлежащих населенных пунктов.

Деятельность малых и средних КФХ (далее КФХ) всегда было убыточным бизнесом и не привлекательным для инвесторов, в связи с длинным производственным циклом, подверженным природным рискам, потерям урожая при выращивании, сборе, хранении и сбыта продукции. Компьютеры и информационные технологии в КФХ использовались для управления финансами и отслеживания коммерческих сделок. Автоматизации технологических процессов, беспроводная коммуникация, ускоренная селекция и переработка ежедневно возобновляемых отходов животноводства с получением биогаза и биоудобрения является недоступным для КФХ без финансовой поддержки государством.

Биогазовые технологии позволяют фермерам частично решить экологические и социальные задачи, а также и финансовые за счет используемого полученного от ежедневно возобновляемого отхода животноводства в быту биогаза (метана), электричества и биоудобрений для повышения урожайности сельскохозяйственных культур.

Таким образом, у фермеров СНГ и ЕАЭС одним из нерешенных проблем является отсутствие доступных по цене и эффективных способов переработки ежедневно производимых отходов животноводства. Имеющиеся единичные биогазовые установки отличаются: продолжительным сроком сбраживания; примитивной автоматизацией управления и высокой стоимостью биогазовых установок, что неприемлемо для КФХ.

Поэтому биогазовая технология с кавитационной деструкцией, с автоматизацией и беспроводной системой управления, обеспечивающие интенсификацию анаэробного процесса сбраживания в биореакторе с получением биоудобрения и биогаза (метана), а также решающая проблемы экологической безопасности и создания безотходного производства является законченной диссертационной работой, имеющая научный и практический интерес.

Связь темы диссертации с приоритетными научными направлениями, крупными научными программами (проектами), основными научно - исследовательскими работами, проводимыми образовательными и научными учреждениями. Инициативой проведения диссертационной работы явились выполнение работ в соответствии с планом НИР проводимых на кафедре «Прикладная информатика» КГУ им. А. Арабаева и кафедры «Прикладная математика и программирование» ТарГУ им. М. Х. Дулати. В основном результаты диссертации были получены при выполнении ХНИР № 0117РКД0176 (2015-2017гг.) по теме: «Моделирование и оптимизация процесса анаэробного сбраживания в биогазовой установке с получением продуктов метана, двуокиси углерода и воды» заключенных между ТарГУ имени М. Х. Дулати и К/Х «Акжар».

Цель и задачи исследования. Оптимизация параметров управления кавитационной деструкцией отходов животноводства и анаэробного сбраживания субстрата в психрофильном режиме, обеспечивающие интенсификацию работы биогазовой технологии средствами автоматизации.

Задачами исследования являются:

- проведение системного анализа существующих методов и средств автоматизации технологического процесса кавитационной деструкции отходов животноводства, направленных на повышение эффективности процессов анаэробного сбраживания субстрата в биогазовой технологии;
- разработка конструкции устройства обработки сырья (УОС) в биогазовой технологии, обеспечивающую применение кавитационной деструкции с ускоренной анаэробной переработкой эксcrementов КРС;

- проведение расчета режимных характеристик параметров кавитационного диспергатора для обработки сырья;
- проведение аналитического расчета степени измельчения, гомогенизации, диспергации субстрата и построение математической модели оценки влияния степени измельчения и структуры частиц на выход биогаза;
- проведение моделирования процесса измельчения отходов животноводства кавитационной деструкцией для нахождения оптимальных параметров управления степени измельчения и температуры субстрата с решением системы нелинейных уравнений в среде Mathcad
- разработка программного обеспечения моделирования системы автоматизации и управления устройством обработки сырья с кавитационной деструкцией навоза КРС, с контролем степени измельчения и температурного режима, обеспечивающие повышение выхода биогаза в интегрированной среде TRACEMODE;
- получение пробной партии однородной смеси на реальной установке обработки сырья по рекомендациям режимных характеристик параметров полученных по разработанным алгоритмам и методикам исследований.

Научная новизна полученных результатов:

- разработана математическая модель кавитационной деструкции отходов животноводства, выявившая определяющие основные факторы измельчения, структуру частиц и степень их влияния на выход биогаза;
- установлен минимальный диапазон относительной площади кавитационного диспергатора, который соответствует относительному снижению относительного давления $(P_n - P_k)/(P_n - P_{н.п.})$, а минимальная потеря в которой составляет $0,45 \leq \Omega \leq 0,7$.
- обосновано и получено суммарное время, измельчения и гомогенизации частиц субстрата в УОС, $t = 2 \cdot 21 = 42$ мин. который 2,6 раз меньше прежнего, что дает значительную экономию энергии, а также выход биогаза до 70%.
- техническая новизна устройств, обеспечивающая способ переработки органических отходов, подтверждена патентом на полезную модель (патент РК № 103153, 2016 г.);
- разработано программное обеспечение системы контроля и автоматизации управления способом переработки отходов животноводства, обеспечивающие устойчивую непрерывную работу кавитационного деструктора и анаэробного сбраживания психрофильного режима.

Практическая значимость полученных результатов:

- в повышении выхода биогаза и сокращения срока анаэробного сбраживания, что дает возможность строительства биореакторов меньших объемов и размеров, с уменьшением затрат на капитальные строения, на обслуживание, ремонт и управление.
- в решении КФХ улучшения экологических и социальных условий, а также устойчивое развитие с использованием в быту биогаза и биоудобрений для повышения урожайности сельскохозяйственных культур.
- в разработанных методиках автоматизации технологических переходов кавитационной деструкции и сбраживания субстрата, позволяющих осуществлять быструю их перенастройку (адаптацию к реальному виду сырья, качеству биогаза и реальной концентрации метана в биогазе).

Экономическая значимость полученных результатов:

- обосновываясь в корректном использовании концепции автоматического управления, теории рационального управления, технологий математического моделирования, концепции эксперимента, а также внедрением результатов на разработанной реально - действующей УОС, с целью коммерциализации их в фермерских хозяйствах;
- с учетом работы кавитационного деструктора время обработки сырья в УОС составляет 42 мин, т.е. в четыре раза меньше, и экономия энергозатратов при этом составляет $0,7 \cdot 11,05 \text{ кВт} = 7,74 \text{ кВт}.$

- от использования кавитационного деструктора в КФХ «Акжар» экономический эффект только от экономии электроэнергии составит 648 216 тенге в год.

Основные положения диссертации, выносимые на защиту:

- комплекс мер по оптимизации режима работы измельчения, гомогенизации и диспергации водной суспензии навоза КРС по основным критериям эффективности увеличения выхода биогаза;

- математическая модель кавитационной деструкции субстрата для анаэробного сбраживания в психрофильном режиме полученная на основе обработки экспериментальных данных;

- алгоритмы контроля и автоматизации управления температурным режимом кавитационной деструкции и сбраживания субстрата в биореакторе;

Моделирование системы автоматизации управления узлов биогазовой установки: кавитационной деструкции и поэтапного анаэробного сбраживания субстрата, функционирующая на базе специализированного электронного программируемого логического контроллера с прикладным программным обеспечением в ИС TRACEMODE.

Личный вклад соискателя:

- основные положения, также результаты диссертационного проекта, которые выносятся на защиту, получены автором самостоятельно;

- постановка и состояние вопроса, цель и поставленные задачи, пути их решения, приведенные в диссертации научные и практические результаты, а также их анализ, итоговые выводы и внедрение в крестьянском хозяйстве «Акжар» СПК «Бірлік - Түймекент» были осуществлены лично автором представленной диссертации.

Апробации результатов диссертации:

- на международных конференциях «Актуальные проблемы развития техники и технологии» (Бишкек, Кыргызстан), 2015, 2016 г г., «Наука сегодня реальность и перспектива» (Вологда, Россия) в 2018 г., «ЖАС ГАЛЫМ - 2019» (Тараз, Казахстан) в 2019 г., «Научная молодежь в аграрной науке: достижения и перспективы» (Алматы, Казахстан) в 2018 г.;

- на форуме инновационных бизнес-лидеров Российской Федерации и Республики Казахстан, Екатеринбург, 2015 г..

Полнота отражения результатов диссертации в публикациях:

По теме диссертационной работы, опубликовано 17 научных трудов, в том числе 1 патент Республики Казахстан, 2 отчета ГОСНТИ Республики Казахстан, 14 статей в изданиях, которые рекомендованы комитетом по контролю в сфере образования и науки Министерства образования и науки Республики Казахстан для публикации основных итоговых результатов кандидатских и докторских диссертаций.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, 3 глав, также приложений. Полный объем диссертационной работы составляет 179 страниц, в том числе основного материала 150 страниц, включая рисунков – 62, таблиц -18. Список использованной литературы состоит из 137 наименований.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Во введении обоснована актуальность исследуемой проблемы, сформулированы цель, задачи исследования, научная новизна, практическая ценность полученных результатов. Приведены сведения об апробации работы и ее связи с государственными научно - техническими программами, дается информация о числе публикаций.

В первой главе « Обзор кавитационной обработки сырья в биогазовой технологии и степень ее автоматизации управления » анализируется современное представление технологии переработки экскрементов КРС в фермерских хозяйствах. Рассматриваются: предварительная подготовка отходов животноводства (далее сырье), путем кавитационной деструкции и анаэробного сбраживания сырья в психрофильном режиме, основные влияющие факторы и требования, предъявляемые к системе контроля и автоматизации управления технологического процесса. измельчения, гомогенизации, деструкции субстрата и ее сбраживание при тепловом режиме в биореакторе.

Проанализированы труды отечественных и зарубежных ученых и специалистов в области интенсификации анаэробного сбраживания экскрементов КРС в биогазовых установках, их степень контроля и автоматизации управления. Огромный вклад в развитие вышеуказанных научных направлений внесли: Дж. В. Стретт (Рейли), Р. Т. Кнэппа, Дж. У. Дейли, Ф. Г. Хэммит, В. С. Дубровский, А. Л. Ковалев, W. Borzani, M. Kottner, В. Кафаров, Д. А. Ярмиркина, В. Баадер, М. Е. Беккер, Е. С. Панцхава, В. П. Друзьянова, Е. Хашимото, А. А. Ковалев, Ю. Н. Сидыганов, Ю. П. Кайманов, И. А. Гладиков, Е. В. Арбузова, С. Е., Орлова и другие ученые.

Анализ показал, что в настоящее время в странах СНГ и ЕАЭС в большинстве случаев отсутствует переработка и утилизация навоза КРС, получаемого за стойловый период в малых и средних фермерских хозяйствах. Отходы животноводства необходимо измельчать перед загрузкой в биореактор, растительные остатки – солому, сено и др. и стремиться к отсутствию твердых веществ в подготовке субстратаи система автоматизации.

Анализ показал, что наиболее технологичными и в то же время оказывающими репающее влияние на процесс анаэробного сбраживания являются влажность сбраживаемого субстрата; степень измельчения частиц субстрата, ее однородность; доза загрузки свежего субстрата; температура сбраживания, перемешивание и время выдерживания субстрата в биореакторе. Было выявлено, что чередование жидких и твердых веществ в составе субстрата заставляют бактерии приспосабливаться к меняющимся условиям, что значительно сокращает выход биогаза, снижают концентрацию метана в нем и увеличивает срок пребывания субстрата в биореакторе. Применение кавитационной деструкции для решения данной проблемы позволяет не только свести к минимуму температурную неоднородность, но и решить вопрос одинаковой нагрузки на биоценоз и максимальную поверхность контакта бактерий во время анаэробного сбраживания сырья в биореакторе.

Во второй главе « Математическое моделирование процессов кавитационной деструкции отходов животноводства. нагрева и сбраживание ее в биореакторе », рассмотрены закономерности измельчения и однородности состава субстрата, распространения теплоты и психрофильного анаэробного сбраживания в биореакторе.

В отходах животноводства имеются разные твердые частицы, как песок, глина и др., которое обуславливают образование осадка, легкие же материалы как солома и др. поднимаются на поверхность биореактораи образуют корку, что ведет к уменьшению газообразования. Поэтому необходимо измельчать перед загрузкой в реактор растительные остатки – солому, объедки и др. и стремиться к отсутствию твердых веществ в сырье. Для устранения проблемы на рисунке 1 разработана первичная обработка кавитационной деструкцией экскрементов КРС и анаэробного сбраживания в психрофильном режиме.

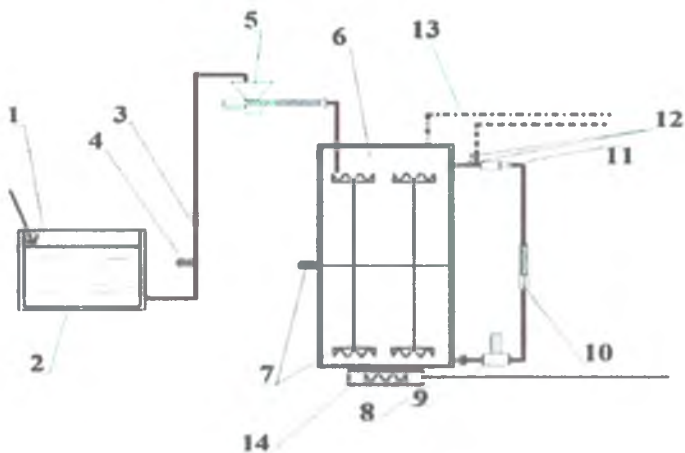


Рис 1. Технологическая линия узлов кавитационной деструкции отходов животноводства и анаэробного сбраживания в психрофильном режиме.

1 - емкость для перемешивания навоза КРС с водой, 2 - жидкий навоз, 3 - труба 57 мм, 4 - насос для перекачивания жидкого навоза в шнек, 5 - шнековый сепаратор, 6 - емкость для временного хранения, измельчения и сбраживания биомассы, 7 - автоматическая мешалка, 8 - муфта, 9 - мацератор, 10 - героторный насос, 11 - диспергатор, 12 - клапаны, регулирующие направление субстрата, 13 - труба выхода биогаза, 14 - котел для подогрева емкости (6).

Описание объекта исследования. В емкость 1 поступает бесподстилочное сырье (навоз КРС) 2 массой 600 литров, влажностью 80 – 85 %, где смешивается с водой при комнатной температуре, в пропорции 1:1, до получения влажности 92%. Из емкости 1 сырье поступает по трубе 3, с помощью насоса 4, в шнековый сепаратор 5, где происходит измельчение крупных частиц сырья. Далее предварительно измельченная биомасса поступает в емкость 6. Поступая в мацератор 9, измельчаются твердые частицы и одновременно отделяются тяжелые примеси. Далее, героторный насос 10 разрывает имеющиеся в составе биомассы длинные волокнистые включения, перекачивая субстрат в диспергатор 11, который подвергает состав субстрата деструкции и создает однородную смесь. Пока биомасса находится в емкости 6, она периодически перемешивается автоматической мешалкой 7. Во время измельчения биомассы в емкости 6 выделяется биогаз обогащенный CO_2 удаляющийся по трубе 13. При достижения необходимого размера измельчения, нижний клапан 12 закрывают и открывается верхний клапан 12, где измельченный субстрат перекачивают в биореактор второй ступени биогазовой установки.

Для описания необходимых биотехнологических процессов получения биогаза используем граф древовидной структуры (рисунок 2).

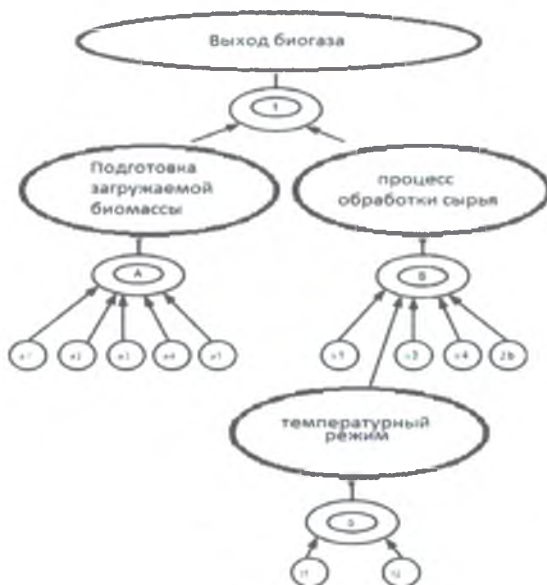


Рис. 2. Структура граф узлов биотехнологического процесса получения биогаза

Одним из важнейших этапов производства метана и биоудобрений в анаэробном сбраживании навоза КРС является предварительная деструкция субстрата для сбраживания в биореакторе. Специальная конструкция деструктора позволяет использовать деструктивный эффект кавитации для обеспечения однородной массы сырья. Улучшение качества субстрата позволяет повысить эффективность биореактора.

Вычислительные эксперименты и теоретические концепции в этой области основаны на дифференциальных уравнениях:

а) аналитическое определение числа кавитации:

$$\sigma = (P_2 - P_{\min}) / (\rho_c V_{c2}^2 / 2) \quad (7)$$

где P_{\min} - струйном пограничном слое у среза сопла; $P_{\min} = P_{\text{н.п.}}$, где $P_{\text{н.п.}}$ - давление насыщенного пара жидкой присадки.

б) формула В. К. Темнова, которая устанавливает связи числа кавитации σ с соотношением размера сечений струи жидкости за соплом A_0 и рабочей камерой A_3 .

При $\Omega = \frac{A_0}{A_3} = \frac{A_2}{A_3}$, тогда

$$\sigma = 0,07 + 1,36 \cdot \Omega \cdot (1 - \Omega) \quad (8)$$

Система уравнений (3) - (9) с учетом равенства площадей (2) сечений нормального потока $A_n = A_k$ и $A_l = A_3$ дает следующую формулу:

$$\frac{P_n - P_k}{P_n - P_{н.п}} = \frac{\zeta_{\text{соп}} + (\zeta_{\text{кон}} + \zeta_{\text{диф}} + \zeta_r) \Omega^2 + (1 - \Omega)^2}{1 + \sigma + \zeta_{\text{соп}} + \zeta_{\text{кон}} \cdot \Omega^2} \quad (10)$$

Эти формулы являются основным при расчете работы диспергатора с многоструйным соплом.

Для расчета алгоритма гидродинамического кавитационного устройства в основу взяты следующие начальные исходные данные: $Q_{\text{ж}} = 1 \cdot \text{м}^3/\text{с}$; $Q_r = 1 \cdot \text{м}^3/\text{с}$; $A = 0,6$; $P_c = 0,7$; $P_{\text{мин}} = 0,2 \text{ МПа}$; $\zeta_r = 0,008$; $\zeta_{\text{кон}} = 0,15$; $\zeta_{\text{диф}} = 0,25$; $\zeta_{\text{соп}} = 0,10$; $Q = 1 \text{ л/с}$; Q ; P - абсолютное давление до $0,7 \text{ МПа}$; $T = 10 \dots 12^\circ$ диапазон температур жидкости.

Таблица 1 - Результаты расчета числа кавитации

Давление на устройстве, P	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7
Число кавитации, σ	0	0,32	0,64	0,96	1,29	1,61

Таблица 2 - Результаты расчета относительного наделения давления на смесителе

относительная площадь сопла, Ω	0,45	0,5	0,55	0,6	0,65	0,77
относительный перепад давления на смесителе, $(P_n - P_r)/(P_n - P_{н.п})$	0,16	0,151	0,142	0,135	0,129	0,127

Согласно расчетам мат. модели гидродинамического кавитационного устройства в программе MatLab получен график определения числа кавитации (рис. 3 а) и снижения относительного давления в смесителе (рис. 3 б).

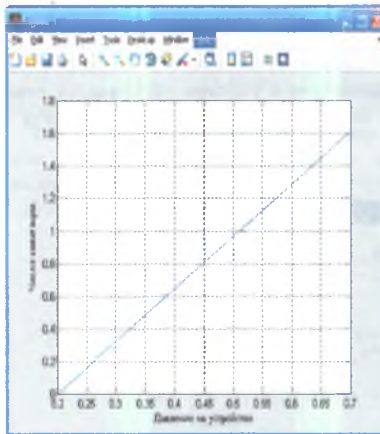


Рисунок 3 а. Число кавитации

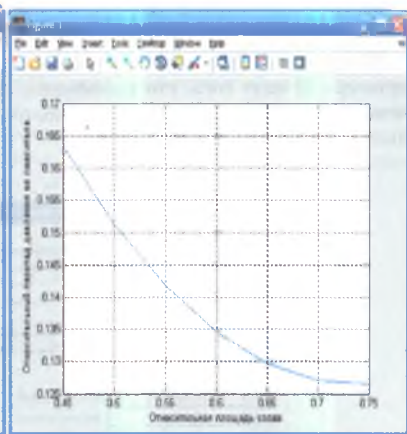


Рисунок 3 б. Относительный перепад давления на смесителе

Откуда следует, что минимальный диапазон относительной площади смесителя соответствует относительному снижению относительного давления $(P_n - P_k)/(P_n - P_{н.п})$, а минимальная потеря в диспергатора составляют $0,45 \leq \Omega \leq 0,7$.

Расчет и моделирование процесса измельчения и деструкции сырья проводили по математической модели полученной путем проводимых экспериментов на устройстве обработки сырья изготовленным в лаборатории ТарГУ им. М. Х. Дулати:

$$\begin{cases} f(x) = -45,5042 + \frac{232,1369}{x}, \\ f(x) = 161,11x^{-1,705} \end{cases} \quad (11)$$

Находим точку пересечения графиков, для определения условий системы (рисунок 4)

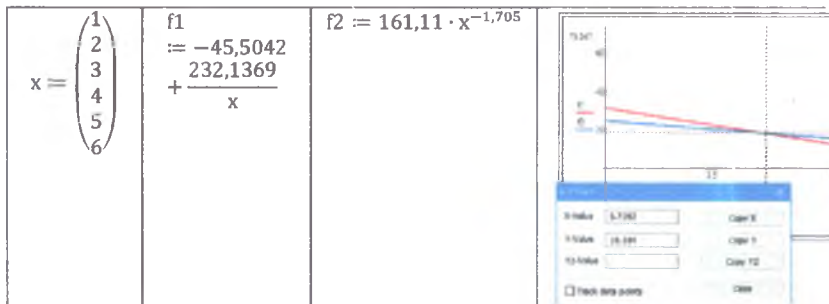


Рис. 4. Определения ограничений системы

По полученным данным система уравнений принимает следующие ограничения.

$$\begin{cases} f(x) = -45,5042 + \frac{232,1369}{x}, x < 4(f(x) \geq 18) \\ f(x) = 161,11x^{-1,705}, x > 3(f(x) < 18) \end{cases} \quad (12)$$

Находим зависимость между числом выполненных проходов и производительностью диспергатора. В виду того, что взаимосвязь параметров в таблице описывается линейным уравнением, то воспользуемся инструментом линейного регрессионного анализа Excel функцией «ЛИНЕЙН» (рис. 5).

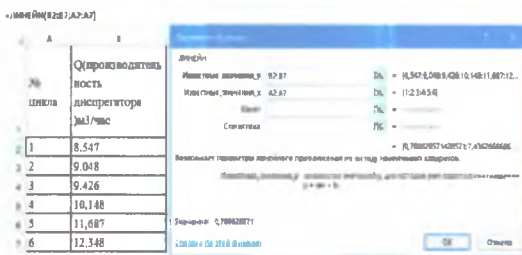


Рис. 5. Линейная регрессия

Искомое уравнение принимает вид. $Q=0.79x+7.436$, где x - число проходов.

Для отображения общего уравнения процесса обработки сырья через предпочтительные параметры (время обработки и загрузаемый объем), выводим формулу времени обработки, итак количество циклов необходимых к выполнению в одном проходе определяется как $N = V_{об}/V_{тр}$, где $V_{об}$ - объем загружаемого сырья (л), параметр $V_{тр}$ – общий объем труб системы ($V_{тр} = 4,69$).

Время обработки в одном проходе вычисляем как $T_{об} = N * T_{ц}$, где 9,61 - общее время выполнения одного цикла.

Тогда, общее время выполнения процесса обработки сырья представляем в виде:

$$T_{об} = V * 9.61/4.69 * x = 2.049 * V * x \quad (13)$$

$$X = T_{об}/(2.049 * V) = 0.49 T_{об}/V_{об} \quad (14)$$

Подставляя полученное значение X в систему уравнений

$$\begin{cases} f(x) = -45,5042 + \frac{232,1369 * V_{об} * T_{и}}{V_{тр} * T_{об}}, x \leq 4 (x \geq 18 \text{ мкн}) \\ f(x) = 161,11 \left(\frac{V_{тр} * T_{об}}{V_{об} * T_{и}} \right)^{-1,705}, x \leq 4 (x < 18 \text{ мкн}) \end{cases} \quad (15)$$

Упрощая получим,

$$\begin{cases} f(x) = -45,5042 + 437,7 \frac{V}{T_{об}}, x \leq 4 (x \geq 14 \text{ мкн}) \\ f(x) = 161,11 \left(\frac{0,49 * T_{об}}{V} \right)^{-1,705}, x > 4 (x < 14 \text{ мкн}) \end{cases} \quad (16)$$

Следовательно, определяем, что время необходимое на измельчение заданной величины (мкн) вычисляется следующей функцией:

$$T_{об} = \frac{437,7V}{L+45,5042}$$

где $V_{об}$ – объем загружаемого сырья (л), L - желаемый размер на выходе (мкн), $T_{об}$ - необходимое время выполнения процесса (сек).

Для того чтобы отобразить общую математическую модель биотехнологического процесса обработки органического сырья, введем в функцию параметры производительности. т.к. $Q = 0,79x + 7,436$, то $x = (Q - 7,436)/0,79$.

Получаем систему уравнений:

$$f(x) = -45,5042 + \frac{183,39}{Q-7,436} = -45,5042 + \frac{183,39}{V\rho\omega^2t-7,436}$$

$$\frac{437,7V}{T_{об}} = \frac{183,39}{(Q*1000/3600)-7,436}$$

$$437,7V * ((Q * 1000/3600) - 7,436) - 183,39T_{об} = 0 \quad (17)$$

Из уравнений получаем обратно пропорциональную зависимость между производительностью и размерами измельчения.

Результаты решения полученной системы уравнений в Mathcad приводятся на рисунке 6.

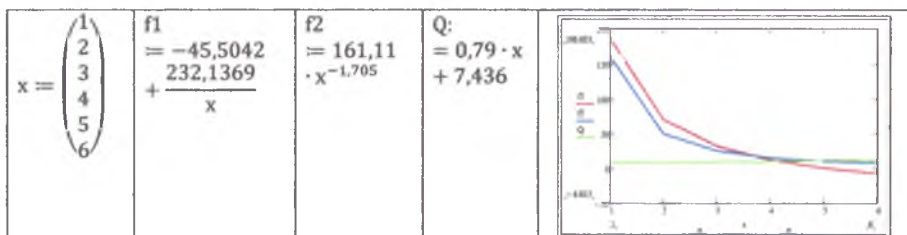


Рис. 6. Система уравнений обработки сырья

Использование данной математической модели позволяет определять эффективные конструктивные и режимные параметры загрузки сырья. Исследуемые процессы были смоделированы в среде Mathcad.

Математическую модель анаэробного сбраживания представим в виде системы уравнений:

$$\left. \begin{aligned} \frac{dT}{dt} &= (\mu - \bar{\mu})T \\ \frac{dS}{dt} &= \tau_{js}T - V - \bar{V} \\ \frac{dP}{dt} &= \tau_{jp}T - M + \bar{M} \end{aligned} \right\} \quad (18)$$

где T, S, P – температура, сбраживание и выход биогаза, кг/т; τ – время сбраживания; $\mu, \bar{\mu}$ – рост биомассы сбраживаемого субстрата, сут⁻¹; j_s, j_p – удельные скорости сбраживания субстрата и образование продукта, сут⁻¹; V, \bar{V} – скорость разложения субстрата и образование продукта метаболизма, кг/т*сут.; M, \bar{M} – скоростисбраживания субстрата и биогаза при переходе от одной фазы к другой, кг/т*сут.

Результаты расчета выхода биогаза, при измельченном и неизмельченном субстрате, по математической модели анаэробного сбраживания представлены на рис. 7.

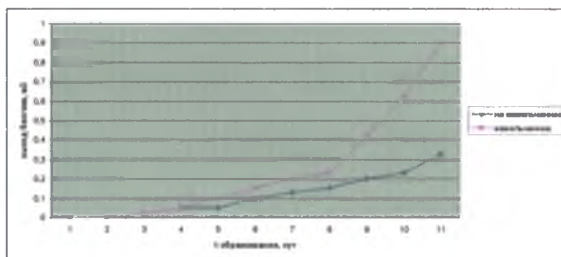


Рис.7. Выход биогаза из субстрата (с измельченным и с неизмельченным веществом)

Анализируя кривые полученные на рисунке 7 видим значительный эффект от измельчения сухого вещества исходного навоза (увеличение выхода биогаза в 2,6 раза). При расчетах были приняты значения:плотность измельченного ($\rho_{изм} = 1001 \text{ кг/м}^3$) и неизмельченного ($\rho_{неизм} = 1020 \text{ кг/м}^3$) субстрата.

Анализ научных работ показал, что скорость и степень анаэробного сбраживания, количество вырабатываемого биогаза находятся в прямой зависимости от следующего фактора - температуры. Расчет процесса теплообмена в системе поддержания температурного

режима в реакторе анаэробного сбраживания проводили по математической модели (Е. К. Вачагина, Г. Р. Халитова, Ю. В. Караева):

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} + u_{v\phi} \frac{\partial \theta}{\partial \phi} = \frac{a_v}{dv_{\phi 0}} \left(\frac{1}{y} \frac{\partial}{\partial y} y \frac{\partial \theta}{\partial y} + \frac{1}{y^2} \frac{\partial^2 \theta}{\partial \phi^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} \right) \quad (19)$$

, где $a_v = \frac{\lambda_v}{\rho_v \cdot C_{pv}}$

Температуропроводность греющего теплоносителя; ρ_v , C_{pv} , λ_v - плотность, теплоемкость и коэффициент теплопроводности греющего теплоносителя; $u_{v\phi} = \frac{v_{v\phi}}{V_{v\phi 0}}$ безразмерная скорость движения жидкости в греющих трубах; v , $v\phi$ - скорость движения жидкости в греющих трубах, которая имеет параболический характер для ламинарных режимов течения; $u_{v\phi 0} = \frac{vQ}{\pi \cdot d^2 \cdot v_{\phi 0}}$

Алгоритм работы терморегулятора отражена в блок - схеме (рисунок 8).

Для поддержания оптимальной температуры в биореакторе психрофильного режима анаэробного сбраживания используем терморегулятор. Основной принцип работы терморегуляторов состоит в том, что он сравнивает фактическую температуру, измеряемый термодатчиком и заданной, которая запрограммирована ПЛК и принимает решение о подаче или прекращения питания климатической системы.

Для решения процесса нагрева психрофильного режима сбраживания в биореакторе используем метод конечных элементов в Comsol Multiphysics 4.3 представляющий мощную интегрированную систему или рабочую область с построителем модели Model Builder, который является администратором модели, дающий полный обзор модели и доступ ко всей функциональности. Визуализация процесса нагрева психрофильного режима сбраживания в интерактивной среде моделирования COMSOL MULTIPHYSICS приведена на рисунке 9.

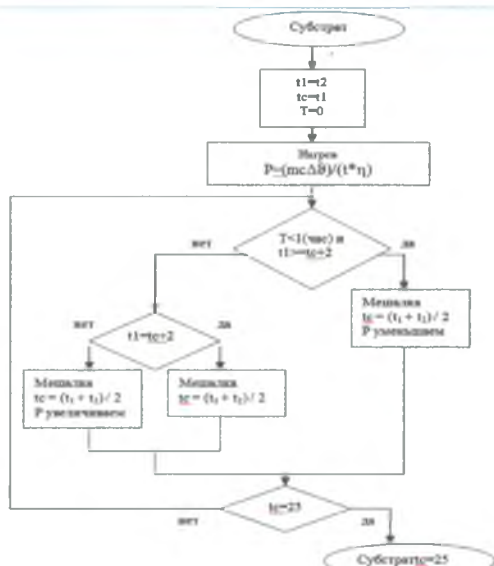


Рис. 8. Функциональная схема процесса нагрева субстрата

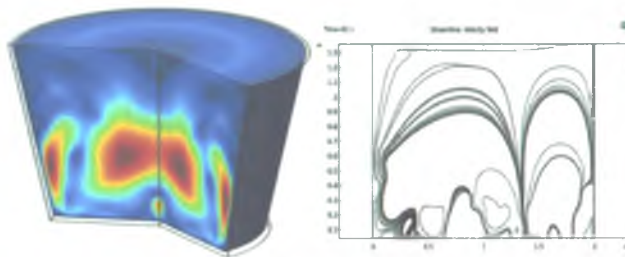


Рис. 9. Визуализация процесса нагрева психрофильного режима сбраживания в интерактивной среде моделирования COMSOL MULTIPHYSICS 4.3.

На рисунке 10 показано, что степень анаэробного сбраживания субстрата в психрофильном режиме увеличивается с ростом температуры, а также происходит интенсивнее по всему объему биореактора, за счет мгновенного нагрева нижней части поверхности биореактора.

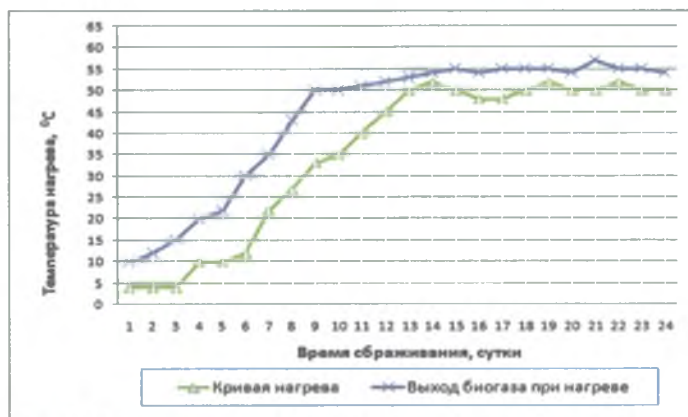


Рис.10. Кинетика получения биогаза в едином цикле сбраживания при

В третьей главе рассмотрены: вопросы алгоритмического обеспечения и программной реализации системы автоматизации и управления процессом кавитационной деструкции и анаэробного сбраживания субстрата в биореакторе; вопросы практической реализации основных методик, алгоритмов автоматизации технологических процессов измельчения, гомогенизации и диспергации субстрата и анаэробного сбраживания в психрофильном режиме. Программно - логический контроллер обеспечивает управление параметрами: степени измельчения субстрата; температуру сбраживаемого субстрата, изменение которых, осуществляется по заданному алгоритму. Интерфейсы управления оператора позволяют: контролировать значения технологических параметров биогазовой конструкции; выбирать режимы работы «ручной - автоматический»; производить корректировку задания; просматривать журналы событий. Приведенные на рисунках 11, 12 они представляют собой мнемосхемы с изображением оборудования УОС и биореактора, трубопроводов, кнопок управления процессом; индикаторов; полей отображения числовой и графической информации измельчения.

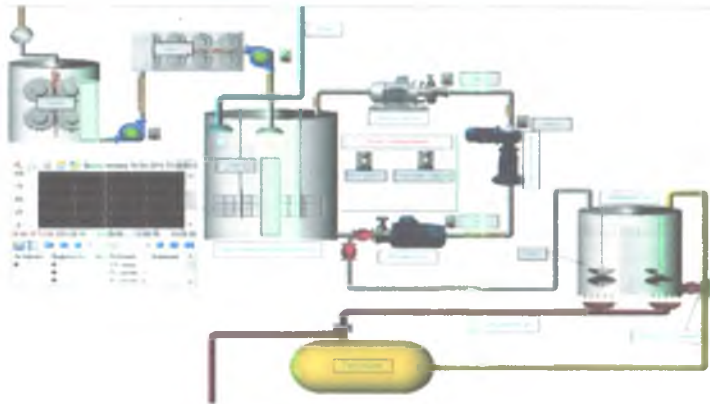


Рис.11. Мнемосхема технологической линии системы обработки сырья и анаэробного кавитационного деструктора сбраживания в психрофильном режиме

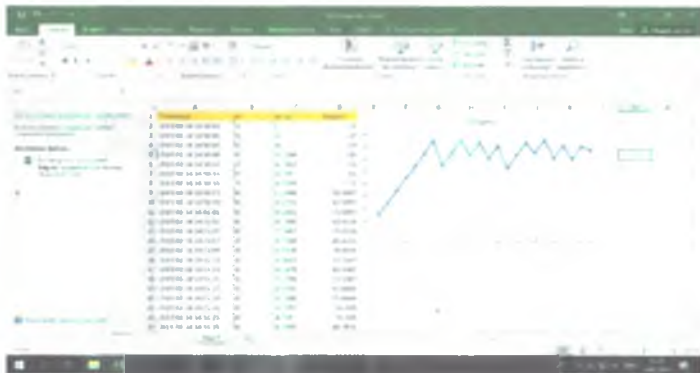


Рис.12. График динамизации степени измельчения субстрата

Все операторские действия сопровождаются появлением дополнительных диалоговых окон, которые ожидают от оператора принятия решений, также подтверждения действий. При сбоях, аварийных ситуациях диалоговые окна сигнализируют о событии оператору, также ожидают принятия решений. Все действия протоколируются в журнал событий, также доступны для изучения. Примеры диалоговых окон приведены на рисунках 13, 14, на которых мы видим работоспособный контроль за УОС и биореактором, включающий в себя анализ параметров температуры и уровня. Программа контролирует уровень жидкости, не превышая уровня 80 % от объема биореактора, при повышении происходит сброс уровня в автоматическом режиме. Температурный режим так же подвержен контролю, система не даст повышению температуры выше + 25 градусов. При повышении будет выдан сигнал в виде окна тревоги. Создан дополнительный пульт управления процессами, например: для повышения/понижения температуры или уровня оператором.



Рис. 13. Сигнал о повышении температуры



Рис. 14. Пульта управления оператора в реакторе

Для обоснования и нахождения оптимальных режимных параметров управления работой УОС и биореактора проводится компьютерный эксперимент, который помогает предугадать поведение исследуемой системы, выявить оптимальные начальные параметры для получения высоких показателей на выходе при минимизации расходов вспомогательных ресурсов и уменьшения износа оборудования. Компьютерный эксперимент проводится с использованием созданной в 3 главе работы АСУ ТП в системе ScadaTraceMode. В качестве входных параметров выступают следующие компоненты: объем загружаемого сырья; желаемый размер частиц на выходе, объем труб системы узла обработки сырья; начальная температура сырья; желаемая температура сырья. В качестве выходных параметров: количество циклов для выполнения; количество прогонов общей массы; время измельчения сырья; время нагрева; содержание метана, содержание углекислого газа.

В качестве опорного плана проведения эксперимента создадим матрицу начальных и конечных значений параметров. Для выявления зависимости между размером частиц на выходе и концентрацией биогаза примем, что объем загружаемого сырья; объем труб системы узла обработки сырья; начальная температура сырья; желаемая температура сырья. Матрица входных значений проведения эксперимента примет вид (табл. 3).

Таблица 3 - Начальные значения параметров для компьютерного эксперимента

Параметр	Число опытов N							
	1	2	3	4	5	6	7	8
объем загружаемого сырья	600	600	600	600	600	600	600	600
желаемый размер частиц на выходе	2000	1000	200	100	50	20	10	5
объем труб системы узла обработки сырья	5	5	5	5	5	5	5	5
мощность обогревательного элемента	50	50	50	50	50	50	50	50
начальная температура сырья	10	10	10	10	10	10	10	10
желаемая температура сырья	25	25	25	25	25	25	25	25

Тестирование данных полученных по компьютерному моделированию измельчения отходов животноводства на собранной УОС показали на незначительное отклонение, однако это может быть вызвано неучтенными многими факторами, нестабильностью параметров подаваемого сырья на обработку. На основании полученных результатов заполним таблицу 4 выходных параметров.

Таблица 4 – Результаты полученных значений компьютерного эксперимента

Параметр	Число опытов N							
	1	2	3	4	5	6	7	8
количество циклов для выполнения	-	-	120	240	240	480	600	950
количество прогонов общей массы	-	-	1	2	2	4	5	8
время измельчения сырья;	10 мин	21 мин	1,31	2,33	3,54	5,42	6,43	7,23
время нагрева	8	8	8	8	8	8	8	8
содержание метана	22,92	32,92	53,36	61,1	68,26	76,91	82,89	88,43
содержание углекислого газа.	77,07	67,07	46,63	38,9	31,74	23,08	17,10	11,56

После проведения экспериментов проанализируем полученные данные. Для удобства создадим таблицу, показывающую зависимость интересующих нас параметров (табл. 5.)

Таблица 5 - Зависимость выхода концентраций метана и диоксида углерода в биогазе от размера частиц

Параметр	Число опытов N							
	1	2	3	4	5	6	7	8
желаемый размер частиц на выходе	2000	1000	200	100	50	20	10	5
время измельчения сырья;	10 мин	21 мин	1,31	2,33	3,54	5,42	6,43	7,23
содержание метана	22,92	32,92	53,36	61,1	68,26	76,91	82,89	88,43
содержание углекислого газа.	77,07	67,07	46,63	38,9	31,74	23,08	17,10	11,56

Построим график отображающий зависимость между размером частиц и концентрацией биогаза. Как видно из графика с уменьшением частиц происходит увеличение выхода метана и уменьшение процентного содержания углекислого газа, а также что после измельчения частиц менее чем на 10 микронов увеличение метана незначительное, зато увеличивается время обработки сырья и следовательно увеличивается износ оборудования.

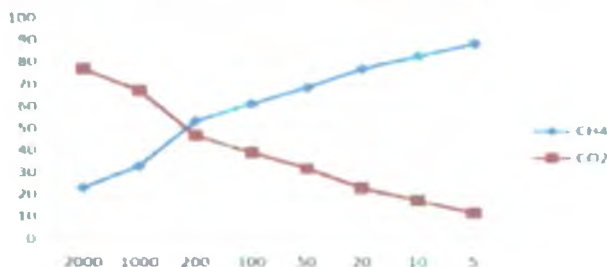


Рис. 15. Общий вид мнемосхемы с описанием объектов

В реальных условиях производства на показатели процесса помимо основных факторов, исследуемых с помощью компьютерного эксперимента, влияют также другие

факторы, контролировать которые трудно или невозможно. Поэтому оптимальные условия, найденные через компьютерный эксперимент, часто не воспроизводятся на производстве. В связи с этим практическая реализация основ методик, алгоритмов автоматизации технологических процессов кавитационной деструкции и анаэробного сбраживания в психрофильном режиме проводили на действующей установке в КХФ «Акжар» СПК «Бірлік-Түймекент» РК для уточнения и регулирования входных параметров. (рис 16). Результаты измельчения отходов животноводства посредством кавитационного деструктора приведены на рисунке 17.



Рис. 16. Устройство УОС и биореактора и система управления внедренные в СПК «Бірлік-Түймекент»

Получение пробных партии однородной смеси на реальной УОС по рекомендациям режимных характеристик параметров полученных по разработанным алгоритмам и методикам исследований.



Рис. 17. Структура отходов животноводство после 4 циклов измельчения

Таким образом, внедрение биогазовой технологии на всех крестьянских хозяйствах СНГ и ЕАЭС предоставляет возможность посуточно извлекать в среднем 4 651, 8 т высококачественного органического удобрения и 16,9 тыс. м³ биогаза. При цене 5 тенге/кг, размер средств получаемых от осуществлении реализации органических удобрений составит 1118,16 млн. тенге.

ВЫВОДЫ

1. Применение кавитационного деструктора для обработки сырья в биогазовой установке позволило осуществить его за 2 цикла. Получаемый при этом разброс частиц в интервале от 50 мкм до 1 мм, полезная площадь для воздействия микроорганизмов увеличилась за счет влияния ультразвуковых частот на структуру мембранных клеток.
2. Согласно расчету гидродинамического диспергатора определен, минимальный диапазон относительной площади диспергатора, который соответствует относительному снижению относительного давления $(P_n - P_k)/(P_n - P_{нп})$, а минимальная потеря в диспергатора составляют $0,45 \leq \Omega \leq 0,7$.

3. Получено суммарное время измельчения и гомогенизации субстрата за время $t = 2 * 21 = 42$ мин, который 2.6 раз меньше прежнего, что дает значительную экономию энергию, а также выход биогаза до 70%.
4. Разработан алгоритм автоматизации и беспроводного управления по показаниям датчиков, по сигналам таймера. Блок автоматики включает и отключает систему обогрева, систему размешивания, кроме того сигнализирует о начале и завершении залива и слива сырья.
5. Разработан способ переработки органических отходов (патент РК № 103153, 2016 г.);
6. Разработано программное обеспечение системы контроля и автоматизации управления для, осуществляя моделирования и управления работой основных параметров процессов деструкции и сбраживания органических отходов в ИС TRACEMODE;
7. Проведен компьютерный эксперимент, выявивший что частицы фракции 10 мкм будут основными для выработки биогаза и будут иметь высокий уровень флотирования, частицы меньшего размера вносят малый вклад в образование метана и склонны к выпадению в виде осадка
8. Построен интерфейс в онлайн – режиме, следящий за реальным ходом работы оборудований попредварительной подготовки и сбраживание отходов в ИС TRACEMODE, а также процесса нагрева в COMSOLMULTIPHYSICS 4.3.

ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

Результаты исследований по УОС использованы и внедрены в КФХ «Акжар», КФХ «Чуаш - Оглы (Казахстан, Жамбылская область, Байзакский район); – НОЦ «Академия цифрофизация и экологические технологии» СПК «Бірлік - Түймекент» (Казахстан, Тараз); – учебном процессе кафедры «Прикладная информатика и программирование» ТарГУ имени М. Х. Дулати (Казахстан, Тараз); – учебном процессе кафедры «Прикладная информатика» КГУ имени А. Арабаева (Кыргызстан, Бишкек). На способ переработки органических отходов, плученпатент на полезную модель (патент РК № 103153, 2016 г.); на способ интенсификации метанового сбраживания и биогазовый комплекс для его осуществления подана заявка. (Регистрационный № 2019/0911.2).

Результаты диссертации могут использоваться: - для утилизации отходов животноводства молочно - товарных ферм стран СНГ и ЕАЭС; - для внедрения готовой высокоскоростной биогазовой технологии, состоящей из системы измельчения, гомогенизм и сбраживания в малых КФХ, имеющих откормбазу

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

1. Автоматизация системы управления и контроля трехступенчатым процессом сбраживания субстрата в биогазовой установке. [Б. И. Бийбосунув, Р. Н. Тажиева, Ж. Е. Дуумчариева, З. К. Айтбаева]. Известия вузов Кыргызстана. № 5 – Бишкек, 2016. С. 90 - 93.

2. Разработка и проектирование трехступенчатой высокоскоростной биогазовой установки. [Тлебаев М. Б., Тажиева Р. Н., Айтбаева З. К., Нуржигитова Ж. Н.] Известия вузов Кыргызстана, № 5.– Бишкек., 2016. С. 124 - 127.

3. Тажиева Р. Н. « Расчет процесса метаногенеза и автоматизация регулирования потоками субстрата в каскаде биореакторов » /Р. Н. Тажиева, З. К. Айтбаева. Жарчысы вестник НГУ имени С.Нааматова, №4. - Бишкек. 2016. С. 148 - 150.

4. Айтбаева З. К. « Способ переработки органических отходов » /М. Б. Тлебаев, Р. Н. Тажиева, Ж. Е. Дуумчариева, М. А. Байжарикова Патент №103153. - Казахстан. 2016.

5. Тлебаев М. Б. «Исследование влияния гидродинамики на процесс анаэробного сбраживания биомассы в ферментаторе биогазовой установки» / М. Б. Тлебаев, З. К. Айтбаева Известия КГТУ им И. Раззакова Теоретический и прикладной научно – технический журнал №3.-Бишкек. 2015. С. 199 - 201.

6. Система управление температурным режимом, перемешиванием и подачей субстрата биогазовом комплексе. [Тлебаев М. Б., Тажиева Р. Н., Айтбаева З. К., Нуржигитова Ж. Н.] Наука сегодня реальность и перспективы: сб. науч. тр. — Вологда. 2018. — С. 28 - 30.

8. Mathematical Research of the Accelerated Three - Stage Process of Substrate Fermentation in Bioreactors. [Tlebayev M. B., Tazhiyeva R. N., Doumcharieva Z. E., Aitbayeva Z. K., Baijarkova M. A] Journal of Pharmaceutical Sciences and Research Vol. 9 (4), 2017, - С 392 - 400

9. Айтбаева З. К. «Применение системы программирование контроллеров tracetodesoftlogic в визуализации операторского интерфейса» /З. К. Айтбаева, А. М. Бостан. Природопользование и проблемы антропосферы. Вестник ТарГУ им. М. Х. Дулати №4.- Тараз. 2018. С. 88 - 98.

10. Айтбаева З. К. « Создание приложений с помощью языков программирования стандарта esmэк 6-1131.3 » /З. К. Айтбаева, А. В. Юдин. Природопользование и проблемы антропосферы. Вестник ТарГУ им. М. Х. Дулати №4. - Тараз. 2018. С. 99 - 106.

11. Айтбаева З. К. « ЖАС ГАЛЫМ-2019 » Разработка алгоритма построения мнемосхемы и программирования устройства измельчения, гомогенизации и деспергации навоза КРС З. К. Айтбаева. — Тараз. 2019. 34 - 36 с.

Авторские свидетельства

Способ переработки органических отходов, подтверждена патентом на полезную модель (патент РК № 103153, 2016 г.);

РЕЗЮМЕ

диссертации Айтбаевой Замиры Кишкембаевны на тему «Автоматизация и управление кавитационной деструкцией отходов животноводства для интенсификации анаэробного сбраживания» на соискание ученой степени кандидата технических наук

Ключевые слова: биогазовая установка, биогаз, сбраживание, метан, кавитационная деструкция, гомогенизация, диспергация.

Диссертационная работа посвящена вопросам повышения эффективности способа переработки отходов животноводства и ее параметров для интенсификации анаэробного сбраживания и автоматизации с целью сокращения периода и максимального выхода биогаза. В работе поставлены и решены следующие основные задачи:

- провести системный анализ существующих методов и средств автоматизации технологических процессов сбраживания и кавитационной деструкции, направленных на повышение эффективности и устойчивой работы трехступенчатой биогазовой установки;
 - разработать способ переработки отходов животноводства, с первоначальной подготовкой субстрата кавитационной деструкцией и с ускоренным поэтапным сбраживанием навоза КРС;
 - провести аналитический расчет степени измельчения, гомогенизации, диспергации субстрата и построить математические модели оценки влияния степени измельчения и структуры частиц на выход биогаза;
 - разработать программное обеспечение моделирования системы автоматизации управления поэтапного сбраживания, с контролем степени измельчения и гомогенизации, обеспечивающий повышение выхода биогаза;
- получить пробную партию однородной смеси на реальной установке обработки сырья по рекомендациям режимных характеристик параметров полученных по разработанным алгоритмам и методикам исследований.

Результаты в виде специального аппаратно - программной установки были апробированы и внедрены в крестьянское хозяйство « Акжар », СПК « Бирлик-Туймекент » и показали высокую эффективность в непрерывной работе кавитационного деструктора и анаэробного сбраживания психрофильного режима.

Техническая новизна устройств, обеспечивающая способ переработки органических отходов, подтверждена патентом на полезную модель (патент РК № 103153, 2016 г.);

Также результаты диссертационного исследования используются в учебном процессе кафедры « Прикладная информатика и программирование » ТарГУ имени М.Х Дулати (Тараз) и кафедры « Информационные технологии » Национального университета им. И.Арабаева (г. Бишкек).

SUMMARY

Aitbayeva Zamira Kishkembayeva's dissertation on "automation and management of cavitation destruction of animal waste for intensification of anaerobic digestion" for the degree of candidate of technical Sciences

Keywords: biogas plant, biogas, fermentation, methane, cavitation destruction, homogenization, dispersion.

The thesis is devoted to improving the efficiency of the method of processing animal waste and its parameters for the intensification of anaerobic digestion and automation in order to reduce the period and maximize the yield of biogas. The following main tasks were set and solved:

- conduct a system analysis of existing methods and tools for automating technological processes of fermentation and cavitation destruction aimed at improving the efficiency and sustainable operation of a three-stage biogas plant;

- develop a method for processing animal waste, with the initial preparation of the substrate by cavitation destruction and accelerated step-by-step fermentation of cattle manure;

- perform analytical calculation of the degree of grinding, homogenization, and dispersion of the substrate and build mathematical models for estimating the impact of the degree of grinding and particle structure on the biogas yield;

- develop software for modeling the control automation system for step-by-step fermentation, with control of the degree of grinding and homogenization, which provides an increase in the yield of biogas;

get a trial batch of a homogeneous mixture at a real raw material processing plant based on the recommendations of the operating characteristics of the parameters obtained using the developed algorithms and research methods.

The results in the form of a special hardware and software installation were tested and implemented in the farm "Akzhar", SEC "Birlik-Tuymekent" and showed high efficiency in the continuous operation of the cavitation destructor and anaerobic digestion of the psychrophilic regime.

The technical novelty of devices that provide a method for processing organic waste is confirmed by a utility model patent (RK patent No. 103153, 2016);

The results of the dissertation research are used in educational process of chair "Applied Informatics and programming" of tarsu named after M. H. Dulati (Taraz) and Department of Information technology National University. I. Arabaev Kyrgyz state University (Bishkek).

