

КЫРГЫЗСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ И. АРАБАЕВА

**КЫРГЫЗСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ И. РАЗЗАКОВА**

ДИССЕРТАЦИОННЫЙ СОВЕТ Д 05.21.640

На правах рукописи
УДК 681.5: 66.012

БАЙЖАРИКОВА МАРИНА АЙТМУХАНОВА

**КОМПЬЮТЕРНЫЙ КОНТРОЛЬ ПАРАМЕТРОВ, АВТОМАТИЗАЦИЯ
УПРАВЛЕНИЯ ТРЕХСТУПЕНЧАТЫМ ПРОЦЕССОМ МЕТАНОВОГО
СБРАЖИВАНИЯ ОРГАНИЧЕСКИХ ОТХОДОВ В БИОРЕАКТОРАХ**

05.13.06 – автоматизация и управление технологическими процессами и производствами
(по отраслям)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой
степени кандидата технических наук

Бишкек – 2021

Работа выполнена на кафедре «Прикладная информатика» факультета физико-математического образования и информационных технологий Кыргызского государственного университета им. И. Арабаева.

- Научный руководитель:** Бийбосунов Болотбек Ильясович, доктор физико-математических наук, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Прикладная информатика» Кыргызского государственного университета им. И. Арабаева
- Официальные оппоненты:** Баймухамедов Малик Файзулович, доктор технических наук, профессор, проректор по науке Костанайского социально-технического университета имени академика З. Алдамжар, г. Костанай, РК
- Умбетов Умирбек Умбетович, доктор технических наук, профессор, вице-президент Международного казахско-турецкого университета им. Х. А. Ясави, г. Туркестан, РК
- Ведущая организация:** Научно-производственный центр агроинженерии, лаборатория «Энергообеспечение и цифровые технологии», г. Алматы, пр. Райымбека, 312

Защита диссертации состоится «24» декабря 2021 года в 14³⁰ часов на заседании Диссертационного совета Д 05.21.640 по защите диссертаций на соискание ученой степени доктора (кандидата) технических наук при Кыргызском государственном университете им. И. Арабаева и Кыргызском государственном техническом университете им. И. Раззакова по адресу: 720026, г. Бишкек, ул. И. Раззакова 51, конференц-зал Кыргызского государственного университета им. И. Арабаева.

Код вебинара: <https://vc.vak/b/05--wx6-gfx-qyw>

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеках Кыргызского государственного университета им. И. Арабаева по адресу: г. Бишкек, ул. И. Раззакова 51 и Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова по адресу: г. Бишкек, пр. Ч. Айтматова 66 и на сайте ВАК КР: <https://vak.kg>

Автореферат разослан «22» ноября 2021 года.

Ученый секретарь
Диссертационного совета Д 05.21.640
доктор технических наук, доцент

Т. Курманбек уулу

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы диссертации.

Во всем мире наблюдается усиление тренда на использование органических отходов: производственных и бытовых, так как это направлено, прежде всего, на решение экологических проблем, но и одновременно способно служить неисчерпаемым источником получения «зеленой» энергии. Получение биогаза и биоудобрения путем анаэробного сбраживания органических отходов животноводства – один из основных путей развития биоэнергетического комплекса в настоящем и будущем.

В настоящее время рынок насыщен биогазовыми установками, которые в основном получают биогаз ферментацией органических отходов бактериями в силосных емкостях в течение длительного времени, с малой автоматизацией и с высокой стоимостью продукции.

Применение инновационных подходов в разработке биогазовой технологии, включающую непрерывную одновременную подачу и отвод субстрата, поэтапное метановое сбраживание в биореакторах, низкая стоимость установки и малое количество отходов крупного рогатого скота (КРС) позволяет достичь максимального количества выхода биогаза (метана) и уменьшить время сбраживания.

Использование современных средств автоматизации и автоматизированной системы управления биогазовой установкой позволит контролировать процесс метанового сбраживания в биореакторах, а также основные параметры в заданных интервалах и безаварийность.

Таким образом, разработка малогабаритной, с высокой степенью измельчения отходов животноводства при непрерывном метановом сбраживании на трех ступенях температурного режима, с системой контроля и управления оптимальными параметрами, доступной по цене биогазовой установки для фермеров является актуальной задачей.

Связь темы диссертации с крупными научными программами, основными научно-исследовательскими работами.

Диссертационная работа выполнялась в соответствии с планом НИР и ХНИР проводимых на кафедре «Прикладная информатика» КГУ им. И. Арабаева и кафедры «Прикладная информатика и программирование» ТарГУ им. М. Х. Дулати. Результаты ХНИР № 0117 РКД0176 (2015-2017гг.) и ХНИИР № 0119 РК Д0324 (2017-2019гг.) по теме: «Компьютерный контроль параметров, автоматизация управления метанового сбраживания органических отходов в биореакторах», заключенных между ТарГУ имени М.Х. Дулати и К/Х «Акжар» и явились основой диссертационной работы.

Цель исследования.

Компьютерное моделирование и контроль параметров автоматизации трехступенчатого метанового сбраживания в биореакторах с целью оптимизации и управления.

Задачи исследования:

- исследовать кинетические условия и их параметры, влияющие на интенсификацию процесса метановым сбраживанием органических отходов бактериями: первичного гидролизного расщепления; повышения кислотности; образования уксусной кислоты и образования метана;
- разработать конструкции устройства обработки сырья и биореактора с мешалкой–нагревателем в трехступенчатой биогазовой установке, обеспечивающие максимальный выход биогаза при укоренном метановом сбраживании субстрата;
- создать информационную модель трехступенчатого метанового сбраживания органических отходов в биореакторах, включающую ее измельчение, нагрев, подачу сырья и перемешивание на каждой ступени процесса и дать ее математическое описание;

- разработать систему автоматического регулирования локальных контуров: степени измельчения субстрата; нагрев и стабилизация температуры; перемешивание и подача загружаемого субстрата в биореакторы, а также системы автоматизации и управления трехступенчатой биогазовой установки в интегрированной среде TRACE MODE.

Научная новизна работы:

- разработана информационная модель непрерывного метанового сбраживания измельченного навоза КРС при оптимальном температурном режиме работы биореакторов на трех ступенях биогазовой установки;

- обоснованы: выбор конструктивно-технологической схемы биореактора с мешалкой-нагревателем; основных параметров контроля и управления, влияющих на увеличения выхода метана и сокращения времени сбраживания;

- разработана обобщенная математическая модель, описывающая процессы кавитации и метанового сбраживания подаваемого субстрата, нагрева и перемешивания на каждой ступени процесса, позволяющая выявить оптимальные режимные параметры для системы контроля и управления биогазовой установкой;

- техническая новизна устройств, заключающаяся в создании трехступенчатой биогазовой установки, обеспечивающей способ переработки органических отходов, подтвержденная патентами на полезную модель (патент РК № 103153, 2016 г. и патент РК № 5340, 2020 г.);

- разработано программное обеспечение (ПО) автоматизации и системы контроля и управления параметрами: измельчения; нагрева; перемешивания; подачи и отбора субстрата на каждой ступени метанового сбраживания, подтвержденное авторским свидетельством РК № 11169 от 29.06.2020.

Практическая значимость полученных результатов:

- программный продукт, устройство обработки сырья и аппаратно-программный комплекс «Автоматизация системы управления», разработанные для тестирования и проведения новых научных экспериментов по биогазовой технологии и автоматической системы управления метановым сбраживанием;

- модель малогабаритной биогазовой установки, доступной по цене и которая позволяет фермерским хозяйствам утилизировать отходы, обеспечивать себя электроэнергией, природным газом и экологически чистыми органическими удобрениями для восстановления плодородия почв.

Экономическая значимость полученных результатов:

- раздельное метановое сбраживание субстрата в мезофильном и термофильном ступенях биогазовой установки позволяет получать наряду с метаном и ценное обезвреженное биоудобрение;

- экономический эффект от применения биогазовой технологии и биогазовой установки в фермерских хозяйствах составляет приблизительно 1 230 000 сомов 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 и ускорения длительности метанового сбраживания;

- математическая модель трехступенчатого метанового сбраживания субстрата подвергнутой кавитационной деструкции, измельчения и гомогенизации, а также нагрева, перемешивания, и подачи частями сбраживаемого субстрата в биореакторах;

- алгоритмы контроля и автоматизации управления измельчения, температурного режима, перемешивание, подачи и отбора загружаемой дозы субстрата для сбраживания в биореакторе;

- моделирование автоматизированной системы управления узлов биогазовой установки: кавитационной деструкции и трехступенчатого метанового сбраживания субстрата,

функционирующие на базе специализированного электронного программируемого логического контроллера с прикладным программным обеспечением в ИС TRACE MODE.

Личный вклад соискателя. Основные положения и результаты диссертации, которые выносятся на защиту, получены автором самостоятельно. Приведенные в диссертации научные и практические результаты, а также их анализ, итоговые выводы и внедрение результатов в К/Х «Акжар», «ИП Күнім», СПК «Ак-Мол» были осуществлены лично автором.

Апробации результатов исследований. Полученные результаты докладывались на следующих научных семинарах и конференциях:

- Международных конференциях «Актуальные проблемы развития техники и технологии» (Бишкек, Кыргызстан), 2015, 2016, 2017, 2019, 2021 гг.

- Международных конференциях «Наука сегодня реальность и перспектива» (Вологда, Россия) 2018, 2019гг.

- Международной научно-технической конференции студентов, магистрантов и молодых ученых (Усть-Каменогорск, Казахстан) 2021 г.

Полнота отражения результатов диссертации в публикациях.

По теме диссертационной работы, опубликовано 31 научных трудов, из них 2 патента РК, одно свидетельство РК и 16 в изданиях, которые рекомендованы НАК КР.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа включает: введение, три главы основного текста и выводы, которые приведены на 144 страницах, список использованной литературы из 135 наименований, 5 приложений, 63 рисунка и 25 таблиц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

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.

Первая глава «Обзор литературы и основных параметров системы контроля и управления анаэробного (метанового) сбраживания отходов животноводства в биогазовой технологии» посвящена обзору литературы. Исследование трудов отечественных и зарубежных ученых Chen J.R., Hashimoto A.G., Панцхава Е.С., Ковалева А.А., Осмонова О.М., Калюжный С.В., Друзьяновой В.П., Бийбосунова Б.И., Тлебаева М.Б., Вачагина Е.К., Токмолдаев А.Б., Сидыганов Ю.Н. и др. показало, что в основном биогаз в промышленных масштабах получают в крупных биогазовых установках, которых отличает первоначальная высокая стоимость, длительный процесс ферментации в силосных емкостях, большое количество ежедневного потребления отходов и биомассы, сложность контроля параметров и длительная окупаемость доступное не каждому фермерскому хозяйству.

Проведен аналитический обзор эффективности применения трехступенчатого производства метана и биоудобрения и анализ современного состояния автоматизации и управления параметрами процесса метанового сбраживания на всех ступенях в биореакторах. Было определено, что основными узлами биогазовой установки являются: узел – шнекового и кавитационного измельчения подстилочного навоза КРС; узел - процесса трехступенчатого метанового сбраживания в биореакторах.

Установлено, что биогазовая установка работает в устойчивом режиме при стабилизации следующих параметров: -температурного режима на всех ступенях; - подачей измельченной загружаемой дозы частями во все биореакторы и с одновременным отбором такой же части загружаемой дозы; - поддержанием оптимального перемешивания сбраживаемой среды, обеспечивающей не только смешивание новой порции субстрата с имеющимся в биореакторе но и быстрым восстановлением оптимальной температуры.

На основе сформулированных целевых функций и основных параметров сформулирована постановка задач, решение которых направлены на разработку высокоэффективной

Во второй главе «Математическое и компьютерное исследование трехступенчатого процесса метанового сбраживания субстрата в биореакторе» изложены основы биогазовых технологий и методы математического и компьютерного моделирования, а также объект исследования и предмет исследования.

По результатам обзора и анализа в первой главе, а также проведенных расчетов была спроектирована трехступенчатая биогазовая установка. Метановое сбраживание осуществляется на трех ступенях при оптимальных температурных режимах и других оптимальных значениях основных параметров. Технологическая схема узлов подготовки сырья и метанового сбраживания в трехступенчатой биогазовой установке приведена на рис. 1.



биореактора во 2-ю мезофильного режима 12, 14- насос для подачи субстрата из 2 биореактора в 3-ю термофильного режима 16, 17-труба сферической формы для подачи CO₂, 18-компрессор для перекачки биогазов в газгольдер, 20-газгольдер, 21-емкость для очистки биогаза, 22- насос для откачки биоудобрения из 3 биореактора. 23-емкость для хранения биоудобрения, 25 - горелки для подогрева биореакторов, 26-насос для перекачки оборотного жидкого шлама для перемешивания с навозом.

Описание объекта исследования.

Процесс грубого и тонкого измельчения в узле происходит в следующем порядке (см. рис. 1). Смешанный навоз с соломой поступает на грубое дробление в приемный бункер шнекового сепаратора, где проходит дробление через валцы и затем поступает на шнековое измельчение 5 и ножевое 8,9, далее подается в смесительную камеру 11, куда поступает и оборотная вода. Навозная жижа и вода смешивается каноническим шнек-смесителем 14 и затем через выгрузное окно 15 сырье самотеком поступает в емкость для перешивания 19, где подогревается и перемешивается с помощью мешалки и происходит кавитационная деструкция сырья с помощью мацератора 24, гетероторного насоса 23 и диспергатора 23. Цикл не подаст дозу пока субстрат не достигнет однородной консистенции.

Потом с помощью насоса 21 измельченная однородная смесь – субстрат подается на теплообменник и далее в биореактор психрофильного режима на метановое сбраживание при температуре 23 С.

Процесс метанового сбраживания в узле происходит в следующем порядке. В биореактор 5 психрофильного режима субстрат заливают ежедневно дозу субстрата 11 дней, в процессе анаэробного сбраживания в 5 биогаз обогащенный CO₂ насосом 7 подается на барботаж в биореактор - термофильный режим 16. При поступлении 12 дозы, из нижней части 5 отбирается одна доза и проходит теплообменник 13 и с помощью насоса 15 подается в биореактор - мезофильного режима 12 на сбраживание. Процесс подачи доз ежедневно продлится до 9 раз, при этом получаемый биогаз отбирается через компрессор 21 в газгольдер 23. После 20 суток перекачивающий насос 14 отбирает одну дозу, которая проходит теплообменник 13 и подается в биореактор 16. Процесс подачи доз ежедневно продлится до 8 раз. Выделяемый биогаз с помощью компрессора 18 откачивается в газгольдер 20 и после очистки 21 отправляется к потребителю биогаза 24 и на отопление биореакторов 11,17,20.

По истечению 28 суток и выхода на непрерывный процесс трехступенчатой биогазовой установки ежедневно в 5 будет подаваться одна порция и из 5 будет отбираться и далее подаваться на 12 и далее с 12 на 16 и далее насосом 26 отбирается биошлам из 16.

В сепараторе 23 биошлам делится на твердое и жидкое удобрение. Потом проходит теплообменники 9, 13, которая нагревает субстрат из 5 и 12 и подается в шнек 1. Нагрев субстрата в трех биореакторах до оптимальных температур производится с помощью получаемого биогаза через горелки 25. Перемешивание способствует нагреву субстрата и равномерному распределению температуры и кислотности, а также разбивает корку на поверхности сбраживаемой смеси.

Трехступенчатый процесс метанового сбраживания в биореакторе, отличается сложностью математического описания, которая заключается в том, что каждая фаза живой биомассы описывается множеством химических уравнений. В ней одновременно происходит несколько различных реакций на каждой фазе. Поэтому экспериментальные исследования и рекомендованные параметры при применении различных типов сырья имеют разброс величин до 50%. В связи с этим, в диссертационной работе предложено математическое описание поэтапного процесса подготовки сырья измельчением и метанового сбраживания на примере экскрементов КРС в биореакторах, позволяющие определить взаимосвязь параметров в каждой ступени и в едином цикле; обоснование конструктивных параметров ступени по критериям ускорения и эффективности.

Описание математической модели процесса измельчения, диспергирования и гомогенизация отходов. Для нахождения функции описывающий процесс грубого и тонкого измельчения в работе использовали метод аппроксимации, найденный автором в совместной работе с учеными Тлебаевым М.Б и Бийбосуновым Б.И., Айтбаевой З.К.

$$y = -45.5042 + \frac{232.1369}{x}, \quad (1)$$

где x - это количество проходов, а y - размер частиц измельченной смеси после x -го прохода.

Однако, данная функция (1) рассчитывает правильно процесс измельчения лишь до $x \leq 4$ или до измельчения в 14 мкн. Далее расчеты показывают на ошибки аппроксимации, и они становятся некорректными. Поэтому, применим уравнения процесса обработки сырья через предпочтительные параметры (время обработки и загружаемый объем), тогда количество циклов необходимых выполнить в одном проходе определяется как:

$$\begin{cases} T_{об} = \frac{475 \cdot V}{L + 45.5042}, x \leq 4 (x \geq 18 \text{ мкн}) \\ T_{об} = \left(\frac{543.67 \cdot V_{об}^{1.705}}{L} \right)^{0.59}, x > 4 (x < 18 \text{ мкн}) \end{cases} \quad (2)$$

Построим полученную систему уравнений в Mathcad, рис.2.

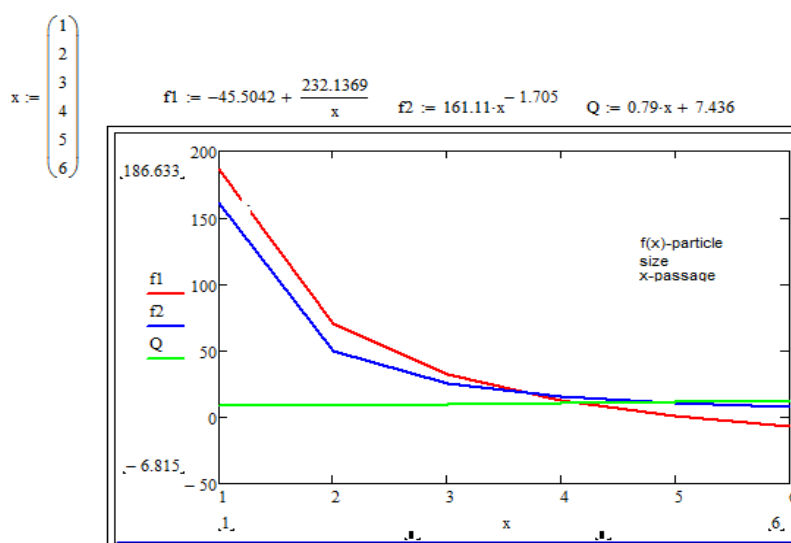


Рис. 2. Система уравнений

Результаты расчетов показывают, влияние параметра измельчения на выход метана, который находится в прямой зависимости от эффективности переработки субстрата метановым сбраживанием микроорганизмами в биореакторах.

Описание математической модели метанового сбраживания на трех ступенях подробно приведены автором в совместных работах с учеными Тлебаевым М.Б и Бийбосуновым Б.И.

Для инженерных расчетов значительный интерес представляет модель Конто, применяемая для математического описания процесса анаэробного сбраживания ряда органических отходов. А для определения скорости выхода биогаза (СВБ) принимаем уравнение Чена и Хашимото, модифицированный модель Конто:

$$v = \frac{B_0 \cdot S}{\tau} \cdot \left(1 - \frac{K}{\mu_m \cdot \tau - 1 + K}\right), \quad (3)$$

где: v - СВБ; B_0 - предельный выход биогаза; S - концентрация субстрата; τ - продолжительность сбраживания субстрата; K - кинетический параметр; μ_m - максимальная удельная скорость роста биомассы (МСП).

МСП- μ_m зависит от температуры сбраживания субстрата и рассчитывается по следующей формуле:

$$\mu_m = 0.013 \cdot t - 0.129 \text{ сут}^{-1}, \quad (4)$$

где, t -температура сбраживания, $^{\circ}\text{C}$. Для нашей биогазовой установки приняты три режима сбраживания в интервалах: психрофильный -18-25 $^{\circ}\text{C}$; мезофильный - 25-40 $^{\circ}\text{C}$; термофильный - 40-55 $^{\circ}\text{C}$.

Рассчитаем значения МСП для разных температурных режимов для психрофильного 0,586, для мезофильного 0,391 и для термофильного 0,196. Кинетический параметр (K) определим из эмпирического уравнения, предложенного Хашимото и соавторов:

$$K = 0.6 + 0.0206e^{(0.051 \cdot S)} \quad (5)$$

Для определения K понадобится концентрация субстрата (S). S зависит от состава навоза и определяется содержанием сухого органического вещества в биомассе:

$$S = \rho(100 - W)(100 - A)10^{-4} \quad (6)$$

где, A - зольность сухого вещества навоза, %; W - влажность биомассы в биореакторе, %; ρ - плотность биомассы определяется соотношением:

$$\rho = W\rho_w + (1 - W)\rho_{mv}, \quad (7)$$

где, $\rho_w=1000 \text{ кг/м}^3$ - плотность воды, $\rho_{mv}=1400 \text{ кг/м}^3$ - плотность сухого (твердого) вещества навоза, $W=88\%$ - влажность биомассы. Согласно формуле (7) $\rho = 1048 \text{ кг/м}^3$ - плотность биомассы. По формуле (6) находим: $S = 106,896$, определим $K=5,402957129$, по формуле (5).

График СВБ, составленный по табл.1, приведен на рис.3.

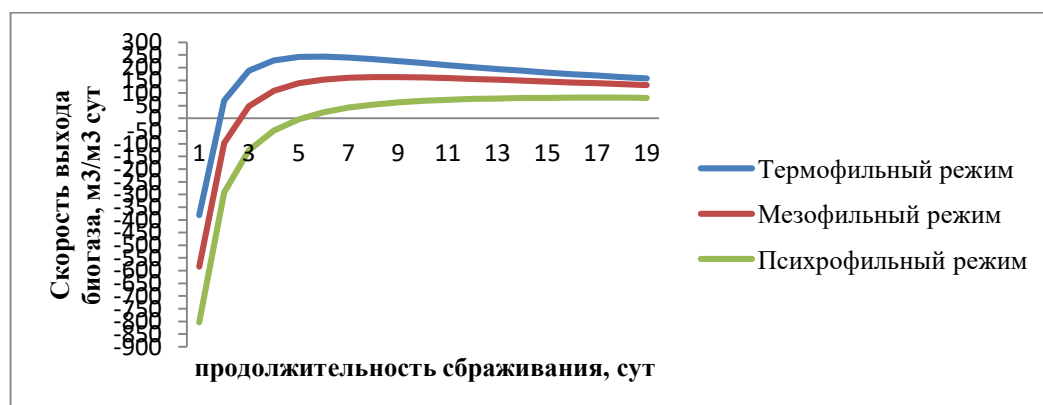


Рис.3. График скорости выхода биогаза

В табл. 1 приведены значения СВБ при трех температурных режимах, которые зависят от продолжительности сбраживания:

Таблица 1. Значения СБВ при трех температурных режимах

Скорость выхода метана при 55 ⁰ С	Скорость выхода метана при 40 ⁰ С	Скорость выхода метана при 25 ⁰ С
-381,4349458	-583,9196047	-803,5753342
70,90662741	-96,62983502	-291,4196049
188,5079515	47,53738988	-126,480051
228,9081401	108,6165752	-47,85320291
241,9569318	138,0847386	-3,415615536
243,4004095	152,7872275	24,16786594
239,4978034	159,7482408	42,29860506
233,0887032	162,3533937	54,65681313
225,5709151	162,3988989	63,27174756
217,6675377	160,9041918	69,34931024
209,7620259	158,4769141	73,64788284
202,0577237	155,4925909	76,66599182
194,6589033	152,1895315	78,74317175
187,6140257	148,7218179	80,11746105
180,9397381	145,1902486	80,95979284
174,6345812	141,6610865	81,39540755
168,686992	138,1777712	81,51764483
163,0800437	134,7684257	81,39708875
157,7942747	131,4507739	81,08778614

Решающее значение на определение значений концентраций по метану, расхода отбираемого потока и температуры на всех ступенях технологического процесса метанового сбраживания экскрементов КРС имеет конструктивные решения проектирования биогазовой установки. Из рис. 3 следует, что в термофильном режиме количества выхода биогаза (КВБ) ускоряется уже на 2 -й день, при мезофильном режиме на 3-й день, а при психрофильном режиме выход биогаза осуществляется только после 5-го дня. Соответственно в 1 биореакторе объем и количество порций субстрата увеличивается до 11, в 2 биореакторе до 9 и в третьем биореакторе до 8.

Исследование закономерностей протекания химической реакции в реакторе идеального вытеснения методом математического моделирования заключалась: - в изменении концентрации метана в биореакторах от времени контакта и температуры; - в степени превращения субстрата бактериями в промежуточные продукты на каждой ступени за время контакта; - в стабилизации температуры на всех ступенях технологического процесса. Алгоритм расчета состоит из следующих этапов: расчет МСР, СБВ, КВБ из биореактора согласно математической модели процесса анаэробного сбраживания биомассы в биореакторе, рис 4.

Схема процесса метанового сбраживания навоза КРС в пакете прикладных программ Simulink MatLab приведена на рисунке 5 и на рисунке 6, зависимость значения удельного роста микроорганизмов от температуры показана на рисунке 7 и зависимость суточного выхода биогаза и метана из реактора от температуры процесса сбраживания (при влажности 92%) показана на рис. 8.

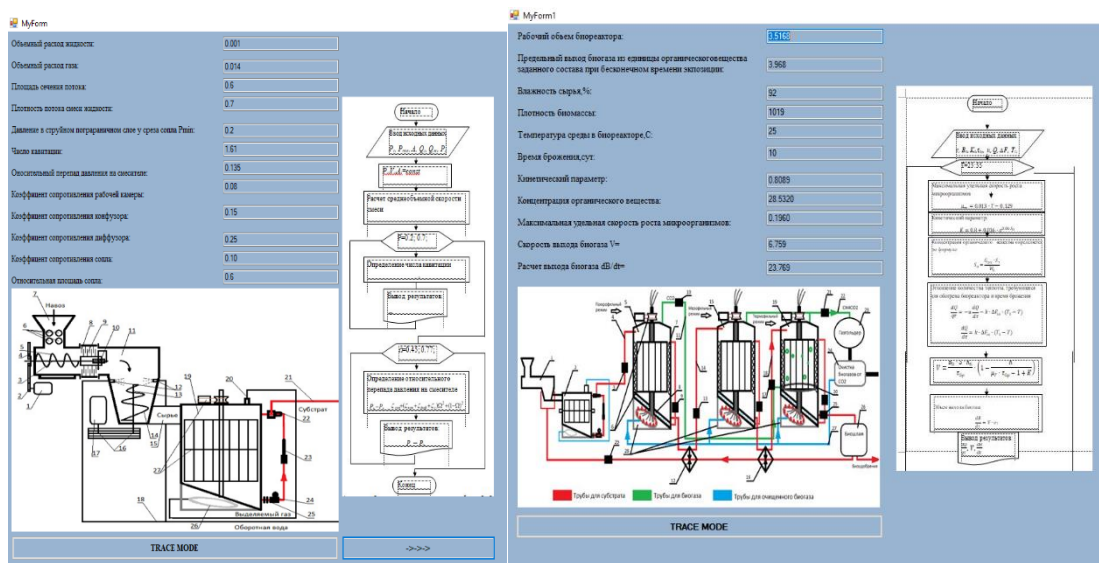


Рис. 4. Значения степени измельчения твердых частиц в сбраживаемом субстрате от числа кавитации и значения МСР, СВБ и КВБ

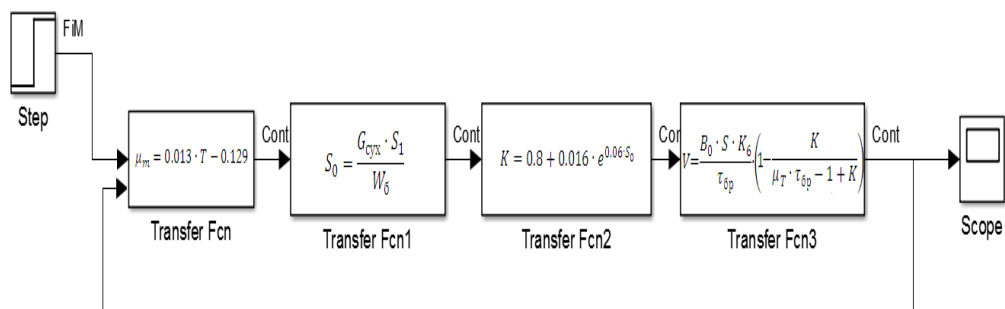


Рис. 5 Схема процесса сбраживания биомассы в интерфейсе SimulinkMatLab.

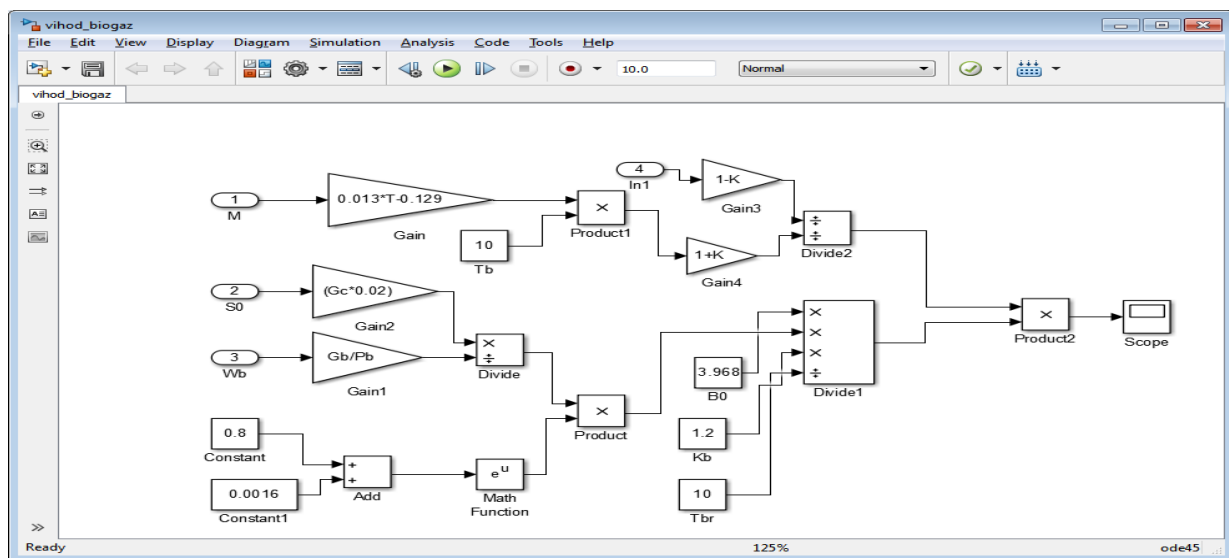


Рис.6. Схема модели процесса сбраживания биомассы в среде MatLab.

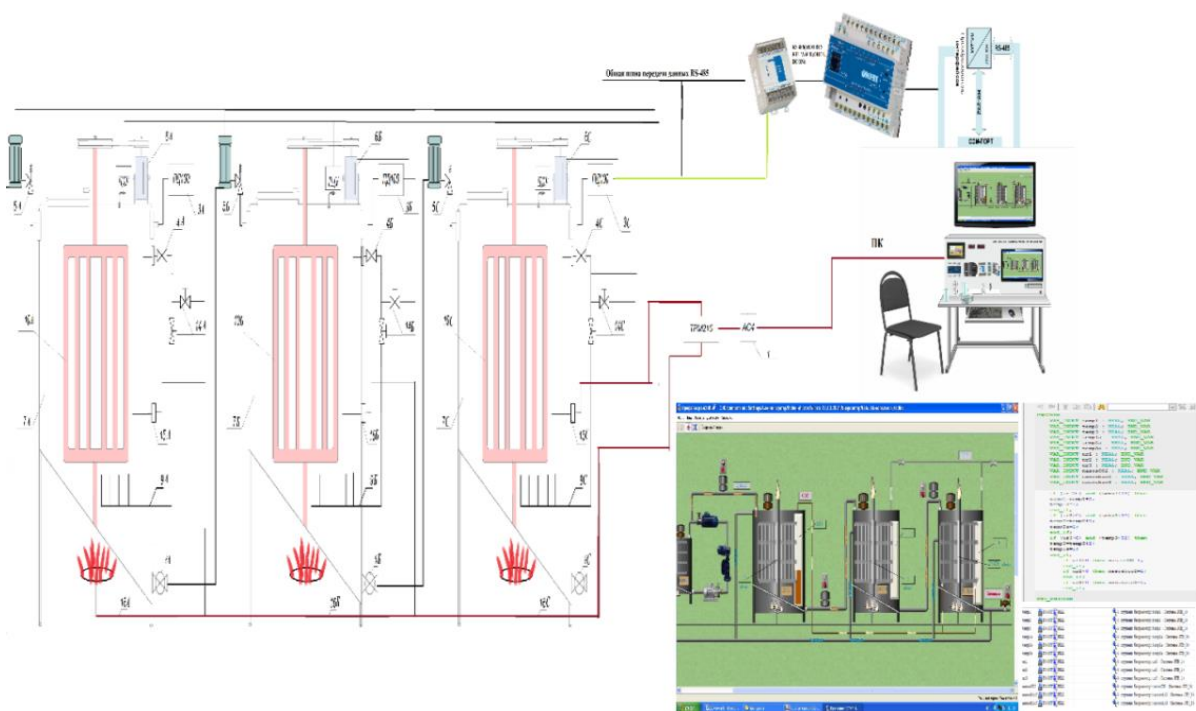


Рис 10. АРМ в системе Scada Trace Mode для оператора визуализация всего процесса метанового сбраживания в биореакторе (время и аварийная ситуация работы насосов, измельчение, подача и отбор дозы, уровень в реакторах, стабилизация температуры и перемешивание)

Компьютерный эксперимент проводился АСУ метановым сбраживанием в системе Scada Trace Mode на аппаратно-программном комплексе «Автоматизированная система управления процессом метанового сбраживания» разработанным в ТарПУ им. М.Х. Дулати, рис10.

В качестве входных параметров приняты: 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.

Есть величины постоянные, а изменяется только желаемый размер частиц на выходе. Таким образом, входные значений для проведения эксперимента примут вид, приведенный в таблице 2.

Для выявления зависимости между размером частиц на выходе и концентрацией биогаза вводим объем загружаемого сырья; желаемый размер частиц на выходе; объем труб системы узла обработки сырья; мощность обогревательного элемента; начальная температура сырья; желаемая температура сырья. Матрица входных и выходных значений проведения эксперимента примет вид (рис. 11).

Таблица 2. Входные значения для проведения опыта

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

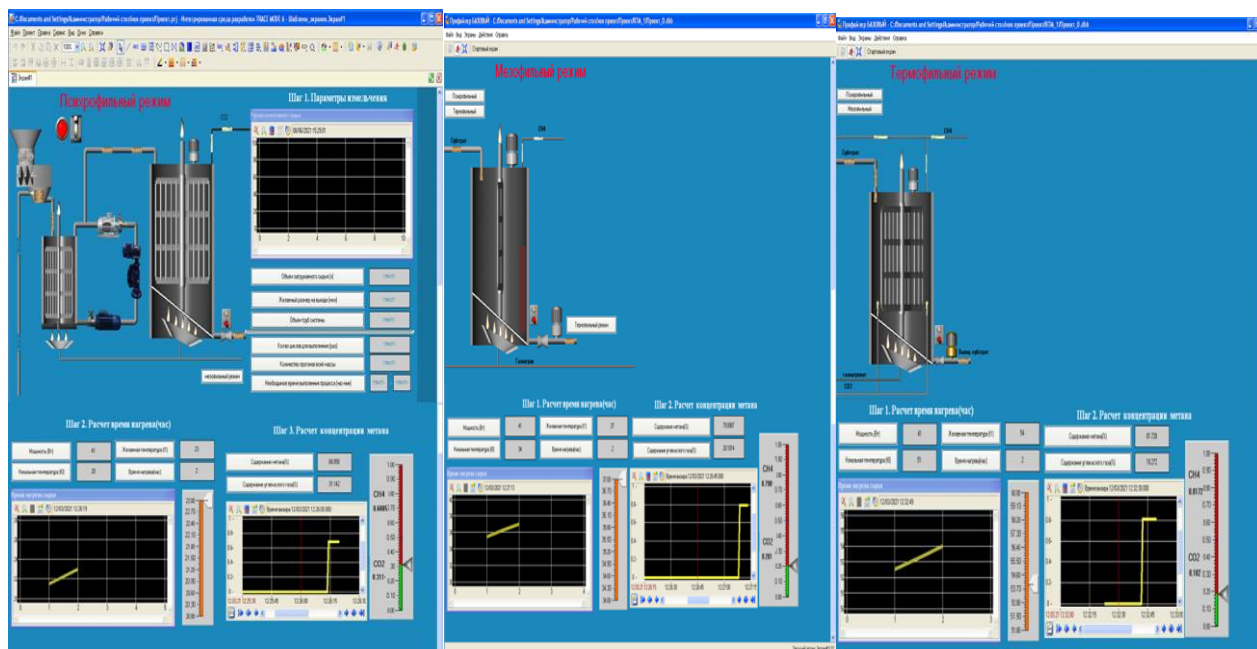


Рис. 11. Входные и выходные параметры психрофильного, мезофильного и термофильного режимов при температурах в интервале 20 до 23 C⁰, 34 до 37 C⁰, 51 до 54 C⁰

Из рис.11 следует, что при температуре от 20 до 23C⁰ - выход CH₄ - 68,8%, а выход CO₂- 31,1%. При температуре от 34 до 37 C⁰, CH₄ -79,8%, CO₂ 20,1% и от 51 до 54 C⁰, CH₄-81,7%, CO₂ -18,2%. Откуда видно, что, что с увеличением температуры концентрация CH₄ возрастает, а CO₂ уменьшается.

В реальных условиях исследуемые параметры, полученные с помощью компьютерного эксперимента, влияют также другие факторы, контролировать которые трудно или невозможно. В связи с этим реализация основ методик, алгоритмов автоматизации технологических процессов кавитационной деструкции и метанового сбраживания проводили на действующей установке в КХФ «Акжар» для уточнения и регулирования входных параметров (рис.12).



Рис. 12. Устройство УОС и аппаратно-программный комплекс в ТарПУ им. М. Х. Дулати и действующая установка в К/Х «Акжар».

Результаты показали, что весь цикл непрерывного метанового сбраживания одной загружаемой дозы измельченного субстрата в сутки на трех ступенях при благоприятной температуре занял 23 дня, с высокой степенью концентрации метана в биогазе, а по расчетам планировалось 28 дней. После выхода на непрерывный режим работы биогазовый комплекс производит: - $37 \text{ м}^3/\text{сутки}$ биогаза; - 240 кг/сутки «твердых» биоудобрений; - 360 кг/сутки «жидких биоудобрений». Доходы от основной деятельности – получение электричества и биоудобрений, а также теплоэнергии – являются главным источником денежных поступлений, которые позволяют внедренному опытно-экспериментальному биогазовому комплексу сделать биогазовую установку окупаемым

Установлено, что при сжигании биогаза $37 \text{ м}^3/\text{сутки}$, в когенераторе получают: - 37 кВт электрической мощности (брутто); - 42 кВт тепловой мощности (брутто). В денежном выражении доход за год от внедрения биогазового комплекса составит: - от электроэнергии ($27 \text{ тг. за } 1 \text{ кВт}$) $37 \text{ кВт} \times 360 = 13320 \times 27 = 359640,00 \text{ тг.}$; - от теплоэнергии ($3708,23 \text{ тг. за } 1 \text{ Гкал переводной коэффициент} = 1 \text{ кВт} = 0,00086 \text{ Гкал/час} = 0,02064 \text{ Гкал/сут.}$) $42 \text{ кВт} \times 0,02064 \text{ Гкал/сут} = 0,86688 \text{ Гкал} \times 360 = 312,0768 \text{ Гкал} \times 3708,23 \text{ тг.} = 1157252,55 \text{ тг.}$; - от твердых биоудобрений ($50 \text{ тг. за } 1 \text{ кг.}$) $240 \text{ кг} \times 360 = 86400 \text{ кг} \times 50 \text{ тг.} = 4320000 \text{ тг.}$ - от осветленных стоков 360 кг (на поля вводят под корень и рециркуляцию новой партии до 5 тонн). $360 \text{ кг.} \times 360 = 129600 \text{ кг} \times 10 \text{ тг.} = 1296000 \text{ тг.}$ Итого доходы за год составят: $7132892,00 \text{ тг.}$

Таким образом, модель малогабаритной биогазовой установки доступная в цене, утилизирующая отходы на фермах, обеспечивающая электричеством, природным газом и биоудобрениями – собрана в ИП «Кунім» и внедрена в К/Х «Акжар».

Созданный аппаратно-программный комплекс «Автоматизация систем управления метановым сбраживанием» в интегрированной системе Scada Trace Mode, позволит молодым аспирантам, докторантам и магистрам составлять системы контроля и автоматизация управления основными параметрами технологических процессов.

По данной диссертационной работе выполнены государственные НИР и хоздоговорные НИР, результаты в виде отчетов сданы в КазГОСНТИ РК, получены патенты РК и свидетельство РК.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. На основе полученных результатов было выявлено, что температура является основным параметром, влияющим на выход биогаза и концентрации метана в нем. При высокой температуре максимальная удельная скорость роста микроорганизмов и скорость выхода биогаза увеличиваются, а при низкой частицы в субстрате вместо внесения вклада в образование метана, будут выпадать в виде осадка.

2. Доказано, что биомасса общей влажности 92% является оптимальной влажностью для обработки сырья в биореакторе. При такой влажности расчеты показали, что скорость смеси $V_c=0,0250$, число кавитации $\sigma = 1,61$, перепад давления на смесителе $\frac{P_n - P_k}{P_n - P_{н.п.}} = 0,135$.

3. Математическое моделирование процесса метанового сбраживания показало, что целевые выходные параметры: максимальная удельная скорость микроорганизмов и скорость выхода биогаза увеличивается и составляет - 0,1960 сут⁻¹ при температуре 25 °С, 37 °С, 52 °С, -плотность субстрата 1019 при влажности 92%; -концентрация субстрата - 28,5320 кг/м³; -кинетический параметр для навоза КРС – 0,8089; -скорость выхода биогаза – 6,7589; -объем выхода биогаза из биореактора – 37,8498 м³, -объем выхода метана из биореактора - 26,4948 м³. При данных целевых значений от производства биогаза и биоудобрений доходы за год составят: 1 230 000 сом.

4. Впервые для восстановления температурного режима и быстрого смешения свежей порции с имеющимся объемом субстрата в биореакторах предложено использовать мешалку-нагреватель, в которой трубки обогреваются топочным газом (эффект-самовара), а полученное тепло передается по всей внутренней площади сбраживаемому субстрату.

5. Разработан способ переработки органических отходов, включающий использование установки с тремя концентрично расположенными цилиндрическими секциями, работающих в непрерывном режиме при загрузке один раз в сутки порции подготовленного субстрата, с температурами, соответствующие заданному режиму метаногенеза (психрофильный, мезофильный и термофильный) и заданным значением показателя pH для стадии гидролиза, отличающейся тем, что отбор с первой ступени отходящего газа, содержащего высокую концентрацию CO₂ и подачи ее на барботаж в третью ступень осуществляют дополнительным получением CH₄ по химической реакции $CO_2 + 4H_2 > CH_4 + 2H_2O$ (при более высоких температурах, чем 20-30°C), патент РК № 5340, 2020.

6. Разработаны схемы локальных контуров регулирования: измельчения; стабилизация температуры; подача и отбор; перемешивание сбраживаемого субстрата, и автоматизация управления процессом метанового сбраживания в биореакторе и всей трехступенчатой биогазовой установке.

7. Разработано программное обеспечение в ИС Trace Mode, которое определяет оптимальные значения параметров: время измельчения сырья; время нагрева; регулирование мощности нагревательного элемента; запуск и остановка мешалки; подача и отбор субстрата; стабилизация температурного режима; расчет концентрации метана. (Программное обеспечение имеет охранное свидетельство РК № 11169 от 29.06.2020).

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ:

1. Способ переработки органических отходов [Байжарикова М.А., Тлебаев М.Б., Тажиева Р.Н. и др.] Патент № 103153. Республика Казахстан. 2016.
2. Mathematical Research of the Accelerated Three - Stage Process of Substrate Fermentation in Bioreactors [Текст] [Tlebayev M.B., R.N. Tazhiyeva, Z.E., M.A. Baijarikova и др.]. Journal of Pharmaceutical Sciences and Research (ISSN-India-Scopus). - Vol. 9 (4), 2017. – С. 392-400. Электронный ресурс: www.jpsr.pharmainfo.in.
3. Расчет скорости выхода метана технологического процесса метанового сбраживания органического субстрата. [Текст] / [Доумчариева Ж.Е., Нуржигитова Ж.Н., Байжарикова М.А. и др.]. Молодой ученый, Международный научный журнал, № 4.1 (138.1) / 2017. – С. 332-338.
4. Моделирование работы биогазовой установки в интегрированной среде Trace Mode [Текст] / [Тлебаев М.Б. Исаев С.М., Байжарикова М.А. и др.]. Республиканский научно-теоретический журнал. Известия вузов Кыргызстана №5, 2017г. Стр 56-60.
5. Разработка программного обеспечения абсорбционно адсорбционной очистки биогаза. [Текст] / [Тлебаев М.Б., Маматаева Д.У., Байжарикова М.А. и др.]. Республиканский научно-теоретический журнал Известия вузов Кыргызстана №5, 2017г. Стр 51-55.
6. Система управление температурным режимом, перемешиванием и подачей субстрата биогазовом комплексе [Текст] / [Байжарикова М.А. Тлебаев М.Б., Дуйсебаева К. и др.]. Наука сегодня: реальность и перспективы: сб. науч. тр. – Вологда, 2018. – С. 28 - 31. Электронный ресурс: <https://volconf.ru> > archive.
7. Способ эффективного процесса метаногенеза экскрементов КРС в биогазовом комплексе [Текст] / [Тлебаев М.Б. Байжарикова М.А., Исаев С.М. и др.]. Наука сегодня: реальность и перспективы: сб. науч. тр. – Вологда, 2018. – С. 25-27. Электронный ресурс: <https://volconf.ru> > archive.
8. Investigation Of The Influence Of High Frequency Electromagnetic Fields On Sorption Processes. [Galimbekov A.D., Kadyrov M.A., Baizharikova M.A., и др.]. Latvian Journal of Physics and Technical Sciences, (ISSN-Scopus). Volume 56, Issue 1, 2019, pp.53-59.
9. Способ интенсификации метанового сбраживания и биогазовый комплекс для его осуществления. [Тлебаев М.Б., Айтбаева З.К., Байжарикова М.А. и др.] Патент № 5340 Республика Казахстан. 2019.
10. Программирование приложений функций телемеханического REMOTE TERMINAL UNIT. [Байжарикова М.А. Маматаева Д.У., Даулетбаева Ж.М., и др.]. Наука сегодня глобальные вызовы и механизмы развития. Материалы международной научно-практической конференции. 24 апреля 2019г. Вологда. Стр 45-47
11. Тлебаев М.Б. Автоматизация NGN сетей с применением технологии RADIUS. [Текст] /Тлебаев М.Б., Байжарикова М.А., Маматаева Д.У. Международная научно-практическая конференция «Наука сегодня: глобальные вызовы и механизмы развития» Россия, г. Вологда, 24 апреля 2019 г.
12. Creation of a computer – assisted mathematical model for the raw materials biological processing [Текст] / [M.B. Tlebayev, B.I. Biibosunov, Z.K., Baizharikova M.A., и др.]. Periodic Tchê Química. ISSN 2179-0302-Scopus).. (2020), vol.17 (n°35).- P.640-654. Электронный ресурс: <https://journals.indexcopernicus.com/api/file/viewById/1022118.pdf>
13. Бийбосунов Б.И. Кинетика и выбор основных параметров метанового сбраживания для системы контроля и автоматизации [Текст] /Бийбосунов Б.И., Байжарикова М.А. Вестник Dlaty University-Тараз, 2021, №1. С. 50-58.
14. Разработка технологической схемы процесса образования метана в трехступенчатой биогазовой установке. [Текст] / [Байжарикова М.А., Ардашер А.Н., Тлебаев М.Б., и др.]. Материалы VII Международной научно-технической конференции студентов, магистрантов и молодых ученых. 8-9 апреля 2021 г. Часть V. Усть-Каменогорск 2021 г. Стр. 32-35.

15. Байжарикова М.А. Выбор средств автоматизации контроля и управления параметрами метанового сбраживания в биореакторе. [Текст] /Байжарикова М.А. Вестник КГУ им. И. Арабаева. Бишкек 2021. Часть 2. Специальный выпуск. Стр. 221-227

16. Байжарикова, М.А. Расчет и моделирование процесса образования метана в трехступенчатой биогазовой технологии в ИС TRACE MODE [Текст] \ Байжарикова М.А.. Материалы VII Международной научно-технической конференции студентов, магистрантов и молодых ученых. 8-9 апреля 2021 г. Часть V. Усть-Каменогорск 2021 г. Стр. 36-41

17. Система контроля и автоматизации управления процесса обработки и сбраживания органического сырья в Scada Trace Mode. [Текст] \ [Маковецкая А.А., Беглерова С.Т., Байжарикова М.А. и др.]. Свидетельство объекта авторского права: программа для ЭВМ. 2020г. № 11169 от «29» июня 2020 года.

РЕЗЮМЕ

диссертации Байжариковой Марины Айтмухановны на тему «Компьютерный контроль параметров, автоматизация управления трехступенчатым процессом метанового сбраживания органических отходов в биореакторах» на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.06 – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (по отраслям)

Ключевые слова: трехступенчатая биогазовая установка, биогаз, метановое сбраживание, математическая модель, компьютерное моделирование, автоматизация управления, система контроля.

Объект исследования. Технологический процесс непрерывного метанового сбраживания измельченного субстрата в трехступенчатой биогазовой установке.

Предмет исследования. Автоматизация управления основными параметрами степени измельчения и метанового сбраживания субстрата в биореакторах.

Цель работы. Повышение эффективности способа переработки отходов животноводства путем интенсификации анаэробного сбраживания и автоматизации управления с целью сокращения периода сбраживания субстрата в биореакторе и максимального выхода биогаза.

Методы исследования. Математическое моделирование, теория автоматизации и управления, методы статистики, численные методы и методы разработки программного обеспечения.

Полученные результаты и их новизна:

-разработана информационная модель непрерывного метанового сбраживания измельченного навоза КРС при оптимальном температурном режиме работы биореакторов на трех ступенях биогазовой установки;

- обоснованы: выбор конструктивно-технологической схемы биореактора с мешалкой-нагревателем; основных параметров контроля и управления, влияющих на увеличения выхода метана и сокращения времени сбраживания;

-разработана обобщенная математическая модель, описывающая процессы кавитации и метанового сбраживания подаваемого субстрата, нагрева и перемешиванием ее на каждой ступени процесса, позволяющая выявить оптимальные режимные параметры для системы контроля и управления биогазовой установкой;

-техническая новизна устройств, заключающаяся в создании впервые трехступенчатой биогазовой установки, обеспечивающий способ переработки органических отходов, подтвержденная патентами на полезную модель (патент РК № 103153, 2016 г.); (патент РК № 5340, 2020);

- разработано ПО автоматизации и системы контроля и управления параметрами: измельчения; нагрева; перемешивания; подачи и отбора субстрата на каждой ступени метанового сбраживания, подтвержденная (свидетельством РК № 11169 от 29.06.2020).

Степень использования результатов. Результаты компьютерного моделирования, полученные на специальном аппаратно – программном комплексе, были апробированы и внедрены К/Х «Акжар», СПК «Бирлик-Туймекент» и показали высокую эффективность в непрерывной работе кавитационного деструктора, анаэробного сбраживания психрофильного, мезофильного и термофильного режимов. Также результаты диссертации используются в учебном процессе кафедры «Прикладная информатика и программирование» ТарПУ им. М.Х.Дулати и кафедры «Прикладная информатика» КГУ им. И. Арабаева.

Область применения. Результаты исследования находят широкое применение в биогазовой технологии, утилизации органических отходов с ферм со стойловым режимом содержания крупнорогатого скота в сельском хозяйстве.

05.13.06 – Технологиялык процесстерди жана өндүрүштөрдү автоматташтыруу жана башкаруу (тармактар боюнча) адистиги боюнча техника илимдеринин кандидаты илимий даражасы үчүн " Биореакторлордогу органикалык калдыктарды үч этаптуу метандык ачытуу процессин башкарууну автоматташтыруу, параметрлерин компьютердик көзөмөлдөө " деген темада Марина Айтмухановна Байжарикованын диссертациялык изилдөөсүнүн РЕЗЮМЕСИ

Негизги сөздөр: үч баскычтуу биогаз түзүлүшү, биогаз, метандык ачытуу, математикалык модель, компьютердик моделдөө, башкарууну автоматташтыруу, башкаруу системасы.

Изилдөө объектиси. Үч этаптуу биогаз түзүлүшүндөгү майдаланган субстраттын метандык үзгүлтүксүз ачытуу технологиялык процесси.

Изилдөө предмети. Биореакторлордо субстраттын майдалануу жана метандык ачытуу даражасынын негизги параметрлерин башкарууну автоматташтыруу.

Иштин максаты. Биореактордогу субстраттын ачытуу мөөнөтүн кыскартуу жана биогаздын максималдуу чыгышы үчүн анаэробдук ачытуу жана башкарууну автоматташтыруу аркылуу жаныбарлардын калдыктарын кайра иштетүү ыкмасынын эффективдүүлүгүн жогорулатуу.

Изилдөө методдору. Математикалык моделдөө, автоматташтыруу жана башкаруу теориясы, статистиканын методдору, программалык камсыздоону иштеп чыгуунун сандык ыкмалары жана методдору.

Алынган натыйжалар жана алардын жаңылыгы:

- биогаз түзүлүшүнүн үч баскычтуу биореакторлордун иштөөсүндөгү оптималдуу температуралык режимде майдаланган малдын кыгынан үзгүлтүксүз метандык ачытуу үчүн маалыматтык модель иштелип чыккан;

- негизделди: аралаштыргыч-жылыткычы бар биореактордун конструкциялык жана технологиялык схемасын тандоо; метандын өндүрүмдүүлүгүн жогорулатууга жана ачытуу убактысын кыскартууга таасир этүүнү контролдоо жана башкаруу негизги параметрлери;

- биогаз станциясын көзөмөлдөө жана башкаруу системасы үчүн оптималдуу иштөө параметрлерин аныктоого мүмкүндүк берүүчү, берилген субстраттын кавитация жана метан ачытуу процесстерин, процесстин ар бир баскычында ысытуу жана аралаштыруу процесстерин баяндаган жалпыланган математикалык модель иштелип чыкты;

- органикалык калдыктарды кайра иштетүү ыкмасын камсыз кылган үч этаптуу биогаз станциясын түзүүдөн турган приборлордун техникалык жаңылыгын тастыктаган патенттер алынган (РК №103153 патенти, 2016-ж. жана РК №5340 патенти, 2020 ж.);

- параметрлерди башкаруу, автоматташтыруу жана көзөмөлдөө системалары үчүн программалык камсыздоо иштелип чыккан: майдалоо; жылытуу; аралаштыруу; метандык

ачытуунун ар бир этабында субстратты тандоо жана аны менен камсыз кылуу Казакстан Республикасынын 29.06.2020-жылдагы №11169 автордук күбөлүгү менен тастыкталган.

Натыйжалардын колдонулуш даражасы.

Атайын аппараттык-программалык комплексте алынган компьютердик моделдештирүүнүн натыйжалары «Акжар» Д/Ч, «Бирлик-Туймекент» АӨК тарабынан сыналып, ишке киргизилди жана кавитациялык деструктордун үзгүлтүксүз иштешинде, психрофилди анаэробдук ферментациялоодо жогорку натыйжалуулукту көрсөттү. Ошондой эле, диссертациянын натыйжалары М.Х.Дулати атындагы ТарМУнун «Колдонмо информатика жана программалоо» кафедрасынын жана И.Арабаев атындагы КМУнун «Прикладдык информатика» кафедрасынын окуу процессинде колдонулат

Колдонуу чөйрөсү. Изилдөөнүн натыйжалары биогаз технологиясынын негизинде айыл чарбасында мал кармоо үчүн фермердик чарбасы бар бодо малдарды багып өстүргөн чарбалардын органикалык калдыктарын утилизациялоодо кеңири колдонулат.

RESUME

Marina Aitmukhanovna Bayzharikova dissertation on " Computer control of parameters, automation of control of a three-stage process of methane fermentation of organic waste in bioreactors " for the degree of candidate of technical Sciences in the specialty 05.13.06 – Automation and management of technological processes and production.

Keywords: three-stage biogas plant, biogas, methane fermentation, mathematical model, computer modeling, control automation, control system.

Research object. Technological process of continuous the methane fermentation of crushed substrate in a three-stage biogas plant.

Research subject. Automation of control the main parameters of the degree of grinding and methane fermentation of the substrate in bioreactors.

Purpose of work. Increasing the efficiency of the method for processing animal waste by intensifying anaerobic digestion and automating control in order to reduce the period of substrate fermentation in the bioreactor and maximize the yield of biogas.

Methods of research. Mathematical modeling, automation and control of statistical, numerical methods and software development methods.

The results obtained and their novelty:

- an information model has been developed for continuous methane digestion of crushed cattle manure at the optimal temperature mode of operation of bioreactors of three stages of a biogas plant;
- substantiated: the choice of design and technological scheme of a bioreactor with a stirrer-heater; the main parameters of control and management, affecting the increase in the yield of methane and the reduction in the time of digestion;
- a generalized mathematical model has been developed describing the processes of cavitation and methane fermentation of the supplied substrate, heating and mixing it at each stage of the process, which allows to identify the optimal operating parameters for the control and management system of the biogas plant;
- the technical novelty of the devices, which consists in the creation for the first time of a three-stage biogas plant providing a method for processing organic waste, confirmed by utility model patents (patent of the Republic of Kazakhstan №103153, 2016); (patent of the Republic of Kazakhstan №5340, 2020);

- developed software for automation and control and management systems for parameters: grinding; heating; mixing; supply and selection of the substrate at each stage of methane fermentation are confirmed (certificate of the Republic of Kazakhstan No. 11169 dated 06/29/2020).

Efficiency of results usage. The results of computer modeling, obtained on a special hardware and software complex, were tested and implemented at the Akzhar state farm, Birlik-Tuymekent SPK and showed high efficiency during continuous operation of the cavitation destructor, anaerobic fermentation of psychrophilic, mesophilic and thermophilic modes. Also, the results of the dissertation are used in the educational process of the Department of Applied Informatics and Programming of DuraliTarRU and the Department of Applied Informatics of KSU named after I. Arabaev.

Field of application. The research results are widely used in biogas technologies, utilization of organic waste from farms with a stall regime for keeping cattle in agriculture.