КЫРГЫЗСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМ. И. АРАБАЕВА

КАФЕДРА «ПРИКЛАДНАЯ ИНФОРМАТИКА»

На правах рукописи
УДК

АЙТБАЕВА ЗАМИРА КИШКЕМБАЕВА

АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ КАВИТАЦИОННОЙ ДЕСТРУКЦИЕЙ ОТХОДОВ ЖИВОТНОВОДСТВА ДЛЯ ИНТЕНСИФИКАЦИИ АНАЭРОБНОГО СБРАЖИВАНИЯ

05.13.06 - Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (по отраслям)

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:
доктор физико-математических наук,
профессор академик ИА КР
Бийбосунов Б.И.,

Бишкек - 2020

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ 8

ГЛАВА 1. ОБЗОР КАВИТАЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ СЫРЬЯ В БИОГАЗОВОЙ ТЕХНОЛОГИИ И СТЕПЕНЬ ЕЕ АВТОМАТИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ. 14

1.1. Развитие биогазовой технологии в фермерских хозяйствах стран СНГ и ЕАЭС. 14

1.2. Эффективность кавитационной деструкции сырья на процесс анаэробного сбраживания в биореакторе 17

1.3. Характеристика кавитационного оборудования для измельчения, гомогенизации и диспергации сырья 19

1.4. Обзор математического описания и моделирования кавитационной деструкции в устройстве обработки сырья 23

1.5. Обзор математического описания и моделирования психрофильного режима сбраживания субстрата в биореакторе 31

1.6. Выбор разработки программного обеспечения автоматизированной системы управления УОС и биореактора в интегрированной среде TRACE MODE 37

ВЫВОДЫ К ГЛАВЕ 1 39

ГЛАВА 2. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ КАВИТАЦИОННОЙ ДЕСТРУКЦИИ СЫРЬЯ, НАГРЕВА И СБРАЖИВАНИЯ ЕЕ В БИОРЕАКТОРЕ 41

2.1. Характеристика перерабатываемого органического сырья 45

2.2. Разработка способа кавитационной деструкции обработки сырья и сбраживания в психрофильном режиме 47

2.3. Выбор основных параметров системы автоматизации и контроля процессами измельчения сырья и психрофильного режима сбраживания субстрата 53

2.4. Методика расчета психрофильного режима сбраживания субстрата в 58

биогазовой технологии
2.5. Методика расчета режимных характеристик гидродинамического кавитационного диспергатора 69
2.6. Разработка математической модели измельчения, гомогенизации субстрата и ее сбраживание в психрофильном режиме 75
2.7. Математическое моделирование биотехнологического процесса обработки и сбраживания субстрата с использованием программы Mathcad 86
2.8. Математическое моделирование нагрева субстрата в температурном интервале при измельчении и сбраживании с использованием программы COMSOL 96
ВЫВОДЫ К ГЛАВЕ 2 102
ГЛАВА 3. РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ КАВИТАЦИОННОЙ ДЕСТРУКЦИИ И ПСИХРОФИЛЬНОГО РЕЖИМА СБРАЖИВАНИЯ СУБСТРАТА В БИОРЕАКТОРЕ 104
3.1. Разработка системы контроля и автоматизации управления температуры и уровня субстрата в биореакторе в ИС TRACE MODE 105
3.2. Разработка АСУ ТП измельчения, гомогенизации, нагрева субстрата и расчета концентрации метана 109
3.2.1. Алгоритм создания структурной мнемосхемы 110
3.3. Проведение компьютерного эксперимента для нахождения оптимальных параметров процессов кавитационной и биогазовой технологии 130
3.4. Апробация результатов расчета и моделирования кавитационной деструкции сырья в лабораторных условиях 138
3.5. Эффективность применения кавитационных деструкторов 139
3.6. Экономическая рентабельность использования эффекта кавитации 142
3.7. Внедрение результатов компьютерного эксперимента на реальной установке в КФХ «Акжар» и получение опытной партии 144

обработанного субстрата
ВЫВОДЫ К ГЛАВЕ 3 147
ВЫВОДЫ 148
ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ 150
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ 151
ПРИЛОЖЕНИЕ 166

ПЕРЕЧЕНЬ УСЛОВНЫХ ОБАЗНАЧЕНИЙ, СИМВОЛОВ, ЕДИНИЦ И ТЕРМИНОВ

ПЛК – программно - логический контроллер

КФХ – крестьянско - фермерское хозяйство

СНГ – содружество независимых государств

ЕАЭС – евразийский экономический союз

УОС- устройство обработки сырья

ИСTRACEMODE - интегрированная средаTRACE MODE;

КРС – крупно - рогатый скот

ХНИР – хозрасчетная научно-исследовательская работа

НИР – научно - исследовательская работа

СПК – сельско - хозяйственный кооператив

ОВ –оптимальная влажность

CO2 – диоксид углерода

CH4 - метан

pH - уровень кислотного щелочного баланса

H – численность навоза, который подлежит загрузке

B1 - первоначальная влажность навоза

B2 - содержание влажности, которое требуется в субстрате

ρ – концентрация плотности жидкости

σ - поверхностное натяжка жидкости

γ - адиабатный показатель

R - микровязкость жидкости

R_0 - радиус ядра

$p_{г0}$ - напор , давление газа

p_∞- напор , давление жидкости

R_{max} – радиус

α - амплитуда колыханий

φ - прогресс фазы

$P_П$ – напор, давление насыщенных паров

v – темп, скорость жидкости

P - тензор напряжения жидкости

p_m – амплитуда колебаний напора, давления

u_m – темп, скорость среды

p_i- напор, давление пара

$2H_i$ - изгиб плоскости

σ - показатель натяжения

C_0 - темп, скорость звука в жидкостно-паровой консистенции

$Q_г$ и $Q_ж$ - затраты жидкости и газа

$τ_ж$– напряжение, напор трения

$C_nH_aO_b$ – органический элемент

H_2O - вода

B – объем, размер выхода биогаза

V – темп, скорость выхода биогаза

v – рабочий размер, объем биореактора

B_0 - максимальный вывод биогаза из единиц органических элементов установленного состава при бесконечном периоде экспозиции

$K_б$ – показатель барботажного размешивания

$T_{бр}$ – период ферментации

S – микроконцентрация субстрата

K – макрокинетический параметр

$μ_m$ - предельная удельная скорость увеличения бактерий

Q – число теплоты, требующееся для подогревания биореактора

u – темп перемещения по трубопроводу

k – показатель теплопередачи

$ΔF_{зм}$ – область соприкосновения теплопередающей плоскости с поверхностью биореактора

$T_т$ - температура теплоносителя

T – температура сферы в биореакторе

a_1, a_2, a_3, a_4 – коэффициенты укрепления поддержания температуры

$L_{зм}$ – протяженность , длина змеевика теплообменника

$n_{зм}$ – количество витков змеевика теплообменника

ρ – напор, давление, которая подается в барботажную трубу с целью размешивания бродильной массы изнутри биореактора

$\Delta p_{ст}$ – утраты напора давления в преодолеваниестолба жидкости

$\Delta p_{тр}$ – утраты давления на трение

$\Delta p_{мс}$ – утраты напора давления на преодолевание местных противодействий

p_0 – влияние над жидкостью в биореакторе

$P_{жв}$ = содержимое жидкого элемента

$P_{св}$ = содержимое сухого элемента

W_M = влагосодержание экскремента

Q_B = численность воды в тоннах

B_X = период сохранения

$К_И$ = показатель применения

ВВЕДЕНИЕ

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 и атмосферу быбросами метана и диоксида углерода, влияющих на потепление климата и создания парникового эффекта.

Деятельность малых и средних КФХ (далее КФХ) всегда было убыточным бизнесоми 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 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 малых фермерских хозяйств 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 биогазовые технологии с устройствами обработки сырья (УОС) кавитационной деструкцией, с автоматизацированной системой управления, обеспечивающие интенсификацию анаэробного процесса сбраживания в биореакторес получением биоудобрения и биогаза (метана) и к тому же, 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 соответсвии 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 психрофильного режима анаэробного сбраживания субстрата, обеспечивающие интенсификацию работы биогазовой технологии средствами автоматизации.

Задачами исследования являются:

- проведение системного анализа существующих методов и средств автоматизации технологического процессакавитационной деструкции отходов животноводства, направленных на повышение эффективности процессов анаэробного сбраживания субстрата в биогазовой технологии;

- разработать конструкцию УОС в биогазовой технологии, обеспечивающую измельчение, гомогенизацию и диспергацию с ускоренной психрофильной анаэробной переработкой экскрементов КРС;

- провести аналитический расчет степени измельчения, гомогонизаци, диспергации субстрата и построить математическую модель оценки влияния степени измельчения и структуры частиц на выход биогаза;

- разработать программное обеспечение моделирования системы автоматизации и управления кавитационной деструкцией навоза КРС, с контролем степени измельчения, гомогенизации субстрата, обеспечивающую повышение выхода биогаза в ИС TRACEMODE;

- получить пробную партию 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 определяющая основные факторы измельчения, структуру частиц и степень их влияния на выход биогаза;

- установлен минимальный диапазон относительной площади кавитационного диспергатора, который соответствует сравнительному снижению относительного давления $(\mathrm{P_н} - \mathrm{P_к})/(\mathrm{P_н} - \mathrm{P_{н.п}})$, и минимальным затратам в которой составляет $0{,}45 \leq \Omega \leq 0{,}7$.

– обосновано и получено суммарное время, измельчения и гомогенизации частиц субстрата в УОС, $\mathrm{t} = 2 \cdot 21 = 42$ мин, который 2.6 раз меньше прежнего, что дает значительную экономию энергию, 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 автоматизации управления способом переработки отходов животноводства, обеспечивающие устойчивую

непрерывную работу кавитационного деструктора и анаэробного сбраживания психрофильного режима в ИС TRACEMODE.

Практическая значимость полученных результатов:

- в повышении выхода биогаза и сокращения срока анаэробного сбраживания, что дает возможность строительства биореакторов меньших объёмов и размеров, а следовательно уменьшения затрат на капитальные строения;

- в надежности работы УОС, позволяющая достичь максимального выхода метана, посредством автоматической системы управления основными параметрами: измельчения, гомогенизации и деструкции отходов животноводства; нагрева и сбраживания субстрата в биореакторе;

- в защищенном патенте на полезную модель (РК № 103153, 2016 г.) - «Способ переработки органических отходов», который успешно внедрен в КФХ «Акжар» Жамбылской области РК и готов к коммерциализации в фермерских хозяйствах.

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 кавитанционного деструктора время обработки сырья в УОС составляет 42 мин., т.е. в четыре раза меньше, и экономия энергозатратов при этом составляет $0{,}7 * 11{,}05\text{кВт} = 7{,}74$ 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 процесса кавитационного диспергирования, включающая уравнения материального и теплового балансов, выражения и коэффициенты найденные из эмперических данных;

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

- моделирование системы автоматизации управления УОС и психрофильного режима анаэробного сбраживания субстрата, функционирующие 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-Туймекент» были осуществлены лично автором представленной диссертации.

Апробации результатов диссертации:

-на международных конференциях «Актуальные проблемы развития техники и технологии» (Бишкек, Кыргызстан), 2015, 2016гг., «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 2018г.;

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

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.

ГЛАВА 1. ОБЗОР КАВИТАЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ СЫРЬЯ В БИОГАЗОВОЙ ТЕХНОЛОГИИ И СТЕПЕНЬ ЕЕ АВТОМАТИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ

1.1 Развитие биогазовой технологии в фермерских хозяйствах стран СНГ и ЕАЭС

Развитие сельского хозяйства и в особенности животноводства можно отнести к одному из важнейших приоритетных задач стран СНГ и ЕАЭС. Автоматизация и управление оборудованиями, комплексами используемыми при содержании животных совместно с хорошим менеджментом позволяют сделать одним из прибыльных и стабильным производство животноводческой продукции: мяса и молока в КФХ. Однако, развития КФХ порождает огромное количество отходов (навоза КРС), которое складируется вблизи населенных пунктов. Отсутствия системы частичной или полной его утилизации естественно загрязняет окружающую среду сбросами разлагающегося сырья на водоемы, на поля и выбросами парниковых газов в атмосферу [1-3]. Для утилизации органических отходов перспективным направлением является интенсификация биологических процессов, как путем увеличения потенциала биологических агентов, так и путем совершенствования оборудования [4-6]. Самоокупаемость затрат, для малых фермерских и крестьянских хозяйств с поголовьем 80-100 коров, на биогазовые установки пользуются большим спросом на биогаз, который используется для эффективных органических удобрений, бытовых, также производственных нужд. При условии, что выполнения полученных удобрений, составляет 1-2 года. Подготовительная организация технологических вычислений наступает с определения навоза, и стоков, которые доступны обрабатыванию, также применению.

Исходная сметная цена установки, также ее эксплуатационные показатели, напрямую зависят от правильности расчета. [7-10].

Методика получения биогаза в Европе используется на протяжение 30 лет. В Европе, в основном применяют свиной навоз. Изучения в этом направлении во всем мире проводятся с давних пор. В Китае, Индии, Америке, Германии, России, Кыргызстане, Украине хорошо установлено проблема согласно стремительному использованию навоза, накапливающегося в крупном количестве, в больших метатенках биогазовых установках [1,2,11].

В Казахстане, разговоры об установках биогаза в Казахстане ведутся с 1990 - х годов. Правительство, Министерство сельского хозяйства, Казахском научно - исследовательском вузе согласно электрификации и механизации сельского хозяйства, национальная компания «КазАгроИнновация» уделяют достаточный интерес данной области, проводятся работы по 42 бюджетным планам. Возле сооружений с КРС, определены биореакторы в 5 кубов, которые предназначенны для обработки навоза, были проведены ряд исследований, в планах намечены увеличение объемов этих биореакторов. В публикациях ученых говорится, что биореакторы, которые выпускаются сейчас, будут дешевле, чем импортные установки. В Костанае запушена биогазовая установка, мощность ежегодной выработки электричества составляет3 миллиона 752 киловатт, чего достаточно, для того чтобы обеспечить электричеством саму компанию, и еще несколько поселков.

Однако, для получения разрешения на производство электроэнергии и ее продажу необходимы определенные нормативные документы, которые еще не разрешились в Казахстане. Казахстанские фермеры выражают заинтересованность к биореакторам, только лишь следует предварительно проводить хорошую разъяснительную работу в сельской местности. Фермеры, занятые другими проблемами, не заинтересованы во внедрении биогазовых установках из - за высокой стоимости и примитивной автоматизации.

Министерство сельского хозяйства не выделяет субсидий на технологию биогаза фермерам, несмотря на то, что в республике доминируют небольшие

животноводческие хозяйства с отсутствием механизации производственных действий, также недостаток научно - технических процессов обработки производимого бесподстилочного навоза крупно рогатого скота. Неорганизованное сохранени навоза приводит к утрате удобрительных качеств, также не пригодным с целью использования его в качестве органического удобрения и загрязнение окружающей среды [12].

В диссертационной работе проанализированы труды отечественных и зарубежных ученых и экспертов в области исследования, автоматизации, также осуществлении и реализации технологического процесса подготовки сырья для анаэробного сбраживания. В первую очередь это относится к трудам В. С. Дубровского, А. Л. Ковалева, W. Borzani, M. Kottner, В. В. Кафарова, Т. Г. Волова и других ученых [3, 13, 14, 15, 16, 17].

Исследование действующих условий на процесс анаэробного сбраживания выявил, то что более технологичными и в то же время оказывающими решающее влияние является однородность субстрата, так как этим обеспечивается одинаковая нагрузка на биоценоз анаэробных бактерий во всем объеме биореактора, что обеспечивается процессом кавитации при подготовке субстрата. Чередование жидких и твердых веществ в составе субстрата заставляют бактерии приспосабливаться к меняющимся условиям, что сокращает выход биогаза в биореакторе анаэробного сбраживания [18]. Также выявлены и определены другие факторы:

- влажность сбраживаемого субстрата;
- степень измельчения частиц субстрата до 0,1-8 мкм и ее однородность;
- доза загрузки свежего субстрата;
- температура сбраживания;
- перемешивание и время выдерживания субстрата в биореакторе, оказывающими решающее влияние на процесс выхода биогаза.

В результате, выполнены соответствующее заключения согласно первой главе: в настоящее время в государствах СНГ, в основном отсутствует переработка экскрементов крупно - рогатого скота, получаемого за стойловый

период в малых и средних фермерских хозяйствах. А у имеющихся биогазовых установок в основном отсутствует технология измельчения, гомогенизации навоза КРС, что определило направление исследований на разработку автоматизации технологических переходов кавитационной деструкции навоза КРС. Поставлена цель и сформулированы задачи диссертационной работы, а также обоснована их новизна и практическая значимость.

1.2. Эффективность кавитационной деструкции сырья на процесс психрофильного анаэробного сбраживания в биореакторе

С непрерывным формированием экономики, также промышленности отбор новых способов получения энергии. Значимым периодом в биотехнологическом производстве продуктов полезных из органических остатков считается тщательная подготовка сырья с целью выращивания микроорганизмов и создания питательной среды для получения качественной смеси, которая вводится в основной аппарат - биореактор (фермент).

В сырье разрешается добавлять другие органические отходы, навоз различных видов животных и птичий помет, но она не должна содержать веществ, которые подавляют жизнедеятельность метанообразующих микроорганизмов и тем самым подавляют процесс сбраживания [19].

Часто при изготовлении сырья, материал сначала дробят, потом смешивают в контейнере. Или вначале смешивают с жидкостью и/или добавками, а потом смесь, которая получилась измельчают до того состояния, которое пригодно для дальнейшей переработки [20].

Популярные методы подготовки сырья, в которых измельчение смеси осуществляют путем механического дробления, удаления крупных и длинных частей или диспергирования для извлечения наиболее гомогенной массы для биореактора, не снабжают субстрат необходимого качества, который пригоден для активной микробиологической обработки [21].

Анаэробная переработка правильно приготовленной биомассы в совершенных условиях продолжается существенно дольше (в 2-3 раза), а вывод биогаза на 50–200% меньше, нежели при обработке того же количества тщательно подготовленной биомассы.

Качественными параметрами субстрата считаются только лишь температура, однако и степень доступности органических элементов, которые содержатся в биомассе, для обрабатывания микроорганизмами. Биомасса в первичном состоянии практически постоянно состоит из клеточных комплексов, распределенных пленками, оболочками, предохранительными пластами, по этой причине разложение биомассы происходит медленно, некоторые комплексы остаются нетронутыми, а содержащаяся в них биомасса перерабатывается [22].

Усовершенствование качества субстрата дает возможность увеличить эффективность применения биореактора, наиболее основного элемента биогазового комплекса.

После первого этапа измельчения мелкое измельченное сырье направляется в подготовительную емкость, куда также подается вода. В подготовительной емкости происходит перемешивание сырья с водой. Также в подготовительной емкости происходит многократное измельчения сырья. Перед выходом в биореактор сырье проходит гетероторное измельчение посредством моцератора, диспергатором игетероторным насосом [23].

Вследствие процесса кавитации, которые происходят в деструкторах биомассы, обширно применяются в производстве биогаза. Специально созданная система деструктора дает возможность применять деструктивный результат кавитации с целью придания сырью гомогенной массы. Под воздействием направленной и контролируемой кавитации сложные биологические связи органических волокон на молекулярном уровне разрываются в биологическом материале. В следствии данного процесса рассеяние био материала существенно возрастает, а его частицы уменьшаются в объеме до 0,1-8 мкм [24, 25] жизнедеятельность метанообразующих

микроорганизмов. В этом случае, всем микроорганизмам, участвующим в образовании биогаза, в абсолютно всех его стадиях становится проще разлагать органогенные материалы, так как их одинаковая структура рушится и, соответственно, возрастае тплощадь бактериального охвата биологического сырья [26].

1.3. Характеристик кавитационного оборудования для измельчения, гомогенизации и диспергации сырья

Как было сказано выше одним из подобных источников энергии считается биогаз, который получен из навоза крупно рогатого скота, в котором первоначальная подготовка сырья, такие как механическое измельчение смеси, удаление крупных и длинных фрагментов, не обеспечивают подходящее сырье для интенсивной микробиологической обработки.

В связи, с чем необходимо такое устройство, которое бы устраняло вышеперечиленные недостатки. Одним из таких устройств являются роторные импульсные аппараты [26].

Существуют два вида деструкторов сырья, основанные на кавитации. Разница в предлагаемом оборудовании заключается в способе генерации кавитационного удара.

Это генерация ультразвукового генератора кавитационного удара и гидродинамической кавитации [27].

Ультразвуковой деструктор.

Ультразвуковые деструкторы отличаются высокой энергоемкостью, поскольку при прекращении ультразвукового излучения направленная кавитация прекращается.

В деструкторах используются ультразвуковые генераторы со средней рабочей частотой 20 кГц. Они характеризуются своей энергоемкостью.

Гидродинамический деструктор.

Деструкторы кавитации, основанные на гидродинамической кавитации, характеризуются простотой конструкции, простотой установки даже в уже работающие системы, а также высоким сроком службы из - за отсутствия движущихся и электрических элементов.

Специально созданная система деструктора дает возможность применять деструктивный результат кавитации с целью придания сырью гомогенной массы (рис.1.2). Под воздействием направленной и контролируемой кавитации сложные биологические связи органических волокон на молекулярном уровне разрываются в биологическом сырье. Поэтому диспергаторы или роторно-пульсационные аппараты, используются для измельчения на микронном уровне и создания однородной смеси из различных по структуре жидких продуктов [28]. Блок - схема диспергатора приведена на рисунке 1.3.

Рис.1.2. Диспергатор Cavitek УОС-07-15 ХС

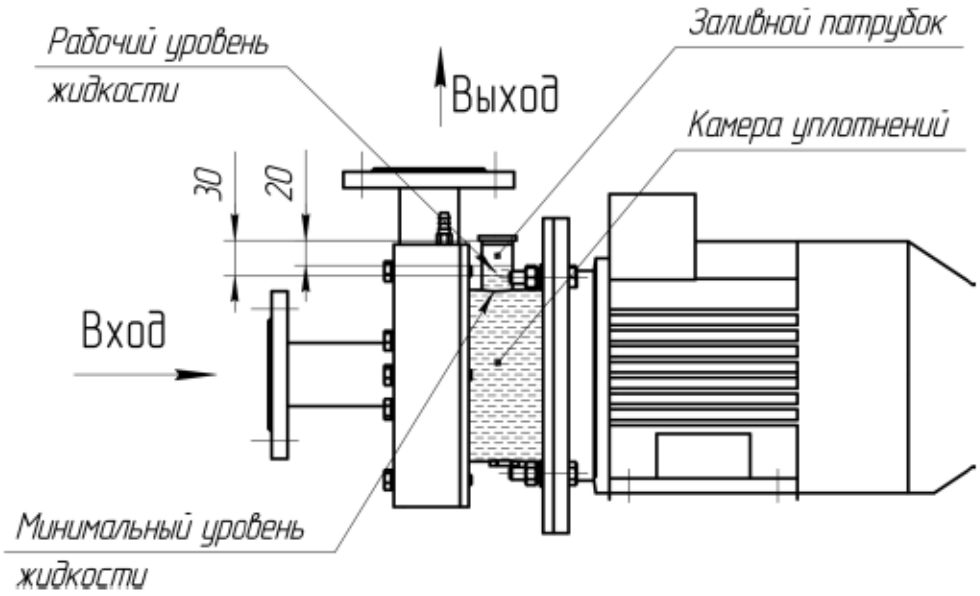


Рис.1.3. Блок - схема диспергатора

Диспергаторы Cavitek отличает:

-качество обработки; иновационный дизайн и высококачественное производственное оборудование позволяют устанавливать зазор между крыльчаткой и импеллером не более 0,1 мм, что гарантирует обработку всего объема сырья за один проход;

-масштабируемость: существуют диспергаторы со шкафом управления с функциями остановки при аварийных режимах, автоматическим переходом на резерв, совместимостью с современными SCADA - системами и т.д.

-современная конструкция: Встроенный бачок охлаждения, двойные торцевые уплотнения John Crane, возможность работы с сырьем, содержащим волокнистые включения используя гетероторный насос (рис.1.4).

Рис. 1.4. Гетероторный насос

Основные преимущества предварительной обработки сырья перед его отправкой в биореактор в диспергаторе и гетероторном насосе разработанной фирмой «Cavitek» позволяют использовать это оборудование для на измельчения микронном уровне и создания однородной смеси из любого типа отходов животноводства различных по структуре.

Таким образом, во многих работах [8, 18, 21, 21, 23] приводятся результаты исследований, доказывающие эффективность применения кавитационной диспергации отходов животноводства при отправки субстрата на анаэробное брожение в биореакторе, позволяющие получить следующие результаты:

1. Степень измельчения и гомогенизации сырья до определенных размеров, помогает увеличению количества мелких частиц в субстрате, что позволяет интенсифицировать получения биогаза на 30-50%;

2. Из - за высокой дисперсии и интенсификации процессов анаэробного сбраживания период времени нахождения сырья в биореакторе значительно сокращается.

Результатом сокращения периода сбраживания является предпосылкой для создания ферментаторов меньших размеров и следовательно снизить затраты на его строительство;

3. При разрушении сырья из клеточных и субклеточных материалов более интенсивно выделяются природные ферменты, являющиеся биологическими катализаторами процесса сбраживания, что увеличивает выход биогаза;

4. Постоянное перемешивание субстрата в биореакторе, значительно стабилизируют пеннообразование покрытие верхней части биореактора коркой, что позволяет бактериям использовать для сбраживания весь объем биореактора;

5. Все вышеперечисленное позволяет увеличить в биогазе процент метана до 70-75%.

Из вышеизложенного следует, что применение кавитационной диспергации сырья позволяет повысить эффективность анаэробного сбраживания при производстве биогаза. Однако точного описания работы кавитационного диспергатора с экскрементами КРС очень мало и в основном описаны для других процессов. К тому же система автоматизации и контроля параметрами работы устройств обработки сырья в лиетратурных источниках не приводятся [24, 25, 26].

1.4. Обзор математического описания и моделирования кавитационной деструкции в устройстве обработки сырья

Кавитация - образование в жидкости кавитационных пузырьков, заполненных парогазовой смесью. Она возникает в результате локального снижения давления в жидкости при гидродинамической кавитации или при прохождении акустической волнывысокой с интенсивности в течение полупериода разрежения (акустическая кавитация). Есть и другие причины эффекта. Кавитационный пузырь перемещаясь с потоком жидкости в область с более высоким давлением хлопает, создавая ударную волну.

Абстрактные изучения компьютерных и кавитационных экспериментов основаны на решении дифференциальных уравнений, какие ограничивают движение стенок круглой парогазовой полости под влиянием переменного

внешнего напора, давления. Исследование анализа уравнений показанный многими ученными, как, например, с уравнений, предложенными Дж. В. Стреттом (Рейли), Р. Т. Кнэппа, Дж. У. Дейли и Ф. Г. Хэммита [59, 60] Из полученных ими уравнений, описывающие физические аспекты, можно разработать математическую модель вижения одиночного кавитационного пузырька, которую используем для численного компьютерного анализа явления кавитации [21].

Большая часть количественной оценки характеристик перемещения кавитационных пузырей, которое описывается уравнением Рэлея - Плессета. Имеются наиболее сложные модели, какие дают возможность принимать во внимание сокращение жидкости, которое описывается уравнением Херринга - Флинна. Уравнение наиболее четко представляет перемещение кавитационного пузыря с учетом сокращения скорости звука в жидкости c_0:

$$\begin{gathered} R\left(1-\frac{2}{C_0}\dot{R}\right)\ddot{R}+\frac{3}{2}\left(1-\frac{3}{4C_0}\dot{R}\right)\dot{R}^2+ \\ +\frac{1}{\rho}\left[P_0-P_S-P_m\sin\omega\cdot t+\frac{2\sigma}{R}+\frac{4\mu\dot{R}}{R}-\left(P_0+\frac{2\sigma}{R_0}\right)\left(\frac{R_0}{R}\right)^{3\gamma}\right]+ \\ +\frac{1}{\rho C_0}R\dot{R}\left(1-\frac{1}{C_0}\dot{R}\right)\frac{dP(R)}{dR}=0 \end{gathered} \tag{1.2}$$

На заключительной стадии пузырька, бывает что скорость стенки даже превышает c_0. При этом уравнение Кирквуда - Бета, которое предполагает, что волны конечной амплитуды, возникающие при распаде полости, являются сферическими:

$$R\left(1-\frac{2}{C_0}\dot{R}\right)\ddot{R}+\frac{3}{2}\left(1-\frac{3}{4C_0}\dot{R}\right)\dot{R}^2+$$

$$+R\left(1+\frac{1}{C_0}\dot{R}\right)H-\frac{1}{C_0}\dot{R}\left(1-\frac{1}{C_0}\dot{R}\right)R\frac{dH}{dR}=0, \text{где} \tag{1.3}$$

$$H=\int_{P_\infty}^{P(R)}\frac{dR}{\rho}=\frac{n}{n-1}\cdot\frac{A^{\frac{1}{n}}}{\rho}\left\{\left[\left(P_0+\frac{2\sigma}{R_0}\right)\cdot\left(\frac{R_0}{R}\right)^{3\gamma}-\frac{2\sigma}{R}+B\right]^{\frac{n-1}{n}}-\right.$$

$$\left.-(P_0-P_m\sin\omega\cdot t+B)^{\frac{n-1}{n}}\right\}; \tag{1.4}$$

$$c=[c_0^2+(n-1)H]^{\frac{1}{2}}$$

где A, B, n, это постоянные коэффициенты, значимости которых для воды $A = 300$МПа, $B = 300$МПа, $n = 7$.

Для установления нужной насыщенности ультразвукового влияния для реализации расширенной кавитации в тягучих, также дисперсных жидких средах в 1 - ой части сечения размеры кавитационного пузыря в линейно - вязкой жидкости формируются в зависимости вязкости данной жидкости. Представлено, то что имеющийся метод установления параметров кавитирующей среды базируетсяв теории об абсолютном отсутствии вязкости воды. Подобное предположение приводит к ошибочному определению числа ультразвуковой энергии, нужной для возникновения, также поддержания режима сформированной кавитации при обрабатывании высоковязких водянистых сред [61]. Поэтому модифицируем уравнение Кирквуда – Бете, которая устраняет недостатки:

$$R\left(1-\frac{\dot{R}}{C}\right)\frac{\partial^2 R}{\partial t^2}+\frac{3}{2}\left(1-\frac{\dot{R}}{3C}\right)\left(\frac{\partial R}{\partial t}\right)^2=\left(1+\frac{\dot{R}}{C}\right)H+\frac{R}{C}\left(1-\frac{\dot{R}}{C}\right)\frac{\partial H}{\partial t} \tag{1.5}$$

где C, является скоростью звука в жидковом растворе, м/с; H, это энтальпия жидкостного раствора; R , является радиусом пузырька газа, м.

При пульсирование кавитационного пузырька характерного для

резонансного режима радиус расчитывается уравнением:

$$R = R_{MAX}(1 + \alpha \sin(wt + \varphi)) \tag{1.8}$$

где R_{MAX} - радиус, м; α - амплитуда колебаний, м; φ - сдвиг фазы.

Резонансная частота определяется из условия максимумаα или минимума $\left|\frac{p}{a}\right|^2$ по выражению:

$$f = \frac{1}{2\pi R_{MAX}} \sqrt{\frac{1}{\rho}\left(3\gamma\left(\frac{2\sigma}{R_{MAX}} + p_0\right) - \frac{2\sigma}{R_{MAX}} - \frac{8\eta^2}{\rho R_{MAX}^2}\right)} \tag{1.9}$$

Полученое уравнение определеляет максимальный размер парогазового пузырька. Для определения размера парогазового пузырька R используем уравнение:

$$\left(P_0 - P_П + \frac{2\sigma}{R_0}\right)\left(\frac{R_0}{R}\right)^3 - \frac{2\sigma}{R} = P_0 - P_M \sin(wt) - P_П, \tag{1.10}$$

где $P_П$ – влияние насыщенных паров, Па.

Расчет значений R_0, R, R_{MAX}, где можно использовать выражение с целью установления индекса кавитации K, также, определить сопротивление кавитирующих сред для различного значения звуковых давлений, для того чтобы обеспечить гарантировать наибольшую эффективность процесса при наименьшем энергопотреблении.

Моделирование процессов, основывается на получении дифференциальных уравнений, для радиуса кавитационных пузырьков, которые зависят от величины звукового давления, на базе гидродинамических уравнений с целью поля обтеканий кавитационных полостей.

Область потоков жидкостного раствора, описывается системой уравнения непрерывности, также сохранения импульса в дифференциальных

формах:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^{3} \frac{\partial v_i}{\partial x_i} = 0 \\ \rho\left(\frac{\partial v_i}{\partial t} + \sum_{j=1}^{3} v_j \frac{\partial v_i}{\partial x_i}\right) = \sum_{j=1}^{3} \frac{\partial P_{ij}'}{\partial x_j} \end{cases} \quad (1.11)$$

где v - скорость жидкости, м/с; P - тензор напряжений жидкости.

Таким образом, моделирование процесса основан впримененении уравнения Нолтинга – Непайраса [62].

Для описания динамики отдельного сферического кавитационного пузыря с его сильным расширением - сжатием можно использовать одномерную модель Нигматулина [63], которая в настоящее время является достоверной физически. На основе экспериментальных данных использованы реалистичные широкомасштабные уравнения состояния. Эта модель может быть использована для изучения дижения пузырька с низкими скоростями с изменением радиуса, так и с высокими скоростями, охватывающие последнюю стадию сжатия, которая может вызвать ударные волны.

Таким образом, используя уравнения поверхностей пузырьков (32) и скорости жидкости (36), из кинематических (34) и динамических (35) граничных условий и после их преобразований [64], получаем систему уравнений с радиусом пузырька R_i, положений их центров z_i и амплитуд отклонений a_{ni}:

Полагая радиальное перемещение жидкостного раствора относительно центра пузыря (от середины при растяжении пузыря, и к центру приегосжимании), имеющим потенциалом движению жидкости относительно центра пузыря можно выразить через потенциал скорости.

$$U = -\frac{\partial \varphi}{\partial t} = \frac{R^2}{r^2} \cdot \frac{dR}{dt} \quad (1.20)$$

Где $dR/_{dt} = u_0$ - радиальная скорость пузырька.

Итак, вычисляя уравнения, необходимо найти уравнение результирующей силы, что может менять радиус пузыря.

Кавитационный пузырек за период существования проходит две основные периода - увеличение схлопывание. В основном данные процессы совершаются с разными скоростями, и это различие является принципиальным и вызывает множество особенностей кавитации [66].

Увеличение кавитационного пузырька практически постоянно совершается гораздо значительно медлительнее, нежели его схлопывание, нежели больше давление воды, тем больше данное отличие. Основные уравнения рабочего процесса кавитационного диспергатора.

Основой для математического описания рабочего процесса диспергаторая являются следующие уравнения:

а) уравнение материального баланса расходов:

$$\rho_{Ci} V_{Ci} A_i = const; \tag{1.23}$$

б) уравнение Д.Бернулли для потока смеси на между сечениями (5) Н - Н и 2–2:

$$p_н + \frac{\alpha_н \rho_c V_{cн}^2}{2} = p_2 + \frac{\alpha_2 \rho_c V_{c2}^2}{2} + \zeta_{кон} \frac{\rho_c V_{c1}^2}{2} + \zeta_{кав} \frac{\rho_c V_{c2}^2}{2}; \tag{1.24}$$

в) уравнение материального баланса для энергии потока смеси для сечений 3 – 3 и К – К:

$$P_3 + \frac{\alpha_3 \rho_c V_{c3}^2}{2} = P_k + \frac{\alpha_k \rho_c V_{ck}^2}{2} + \zeta_{диф} \frac{\rho_c V_{c3}^2}{2} \tag{1.25}$$

г) равенство числа перемещения для контрольного отсека, которое ограничено участками 2 – 2, также 3 – 3, и внутренней плоскости рабочей

камеры:

$$\alpha'_3 \cdot \rho_{c3} \cdot Q_{c3} \cdot V_{c3} - \alpha'_2 \cdot \rho_{c2} \cdot Q_{c2} \cdot V_{c2} = P_2 \cdot A_2 - P_3 \cdot A_3 - F_{\text{тр}} \qquad (1.26)$$

Здесь F_{mp} - сила трения l_{23} между сечениями 2 – 2 и 3 – 3.

$$F_{\text{тр}} = \tau \cdot \Pi \cdot l_{23} \qquad (1.27)$$

где:

P - периметр русла

τ- трение

ρ_c- плотность жидкости

α и α'- коэффициенты кинетической энергии и количества движения

A_i, V_i, P_i, Q_i - площадь, скорость, давления и расхода в i-м сечении, где i– номерсечения

$\zeta_{\text{кон}}, \zeta_{\text{диф}}$ - коэффициенты гидромеханического противодействия конфузора 1 и диффузора 4;

$\zeta_{\text{кав}}$ - показатель гидромеханического противодействия.

2. Более того, в случае соплового устройства $\zeta_{\text{кав}} = \zeta_{con}$, а в случае кавитационной решетки $\zeta_{\text{кав}} = \zeta_p$, где ζ_{con}, ζ_p,- коэффициенты гидравлического сопротивления сопла и решетки, в сечении 2–2.

В последующих расчетах мы принимаем $\alpha \approx \alpha' \approx 1$, динамическим давлением $\alpha_H \cdot \rho_c \cdot V_{CH}^2/2$.

В своей работе Аганин А.А. доказывает, что для прогнозирования трения в парогазожидкостном потоке необходимо использовать следующее уравнение [67]:

$$\tau = \tau_{\text{ж}} \cdot Q_{\text{ж}}/(Q_{\text{г}} + Q_{\text{ж}}), \qquad (1.28)$$

где $Q_{\text{г}}$ и $Q_{\text{ж}}$ - расходы жидкости и газа;$\tau_{\text{ж}}$ - напряжение трения,

определяемое тем, что однофазный поток жидкости протекает через один и тот же канал со средней объемной скоростью смеси $V_c = (Q_г + Q_ж)/A$.

В работе Гаврилюка С. Л., Тешукова В. М., показано, что для кавитационного диспергатора система уравнений (1.23) - (1.31) дополняется уравнениями:

а) аналитическое определение числа кавитаций [68]:

$$\sigma = (P_2 - P_{min})/(\rho_c V_{c2}^2/2) \tag{1.32}$$

Здесь P_{min}- давление возле среза сопла. $P_{min} = P_{н.п}$, где $P_{н.п}$ - давление присадки.

б) формула В. К. Темнова, которая устанавливает связь среди количеством кавитации σ, также соотношением площадей разделений потока воды из –з а соплом A_0 и рабочей камерой A_3 [69].

Пускай $\Omega = \frac{A_0}{A_3} = \frac{A_2}{A_3}$ - условная область сопла, тогда

при $0 < \Omega \leq 0{,}5\sigma = 0{,}07 + 1{,}36 * \Omega \cdot (1 - \Omega)$.

при

$$0{,}5 < \Omega < 1{,}0\sigma = 0{,}41 \tag{1.33}$$

Концепция уравнений (1.19), (1.29), также ряда преобразований, учитывающих равенство площадей сечений нормального потока $A_н = A_к$ и $A_1 = A_3$, приводят к выражению

$$\frac{P_н - P_к}{P_н - P_{н.п}} = \frac{\zeta_{con} + (\zeta_{кон} + \zeta_{диф} + \zeta_г)\Omega^2 + (1 - \Omega)^2}{1 + \sigma + \zeta_{con} + \zeta_{кон} \cdot \Omega^2} \tag{1.34}$$

что является основным при расчете диспергатора с многоструйным

соплом.

Полученное выражение (1.34), позволяет по давлению перед устройством P_h и коэффициентах сопротивления элементов проточной части определить площадь сопла Ω, при которой происходит потеря давления в диспергаторе $(P_h - P_k)$ не выше указанного значения. Изменения относительного падения давления $(\mathrm{P_н} - \mathrm{P_к})/(\mathrm{P_н} - \mathrm{P_{н.п}})$ в зависимости от площади сопла Ω, полученной по уравнению (1.34) показал, что минимальный диапазон относительной площади сопла соответствует минимальному относительному падению давления $(\mathrm{P_н} - \mathrm{P_к})/(\mathrm{P_н} - \mathrm{P_{н.п}})$ а, следовательно, минимум потерь в диспергаторе $0{,}45 \leq \Omega \leq 7$. Таким образом, при расчете гидродинамических кавитационных диспергаторов необходимо выбирать геометрические характеристики в этом интервале.

1.5. Обзор математического описания и моделирования психрофильного режима сбраживания субстрата в биореакторе

В настоящее время математическим моделированием процесса анаэробного браживания приводится в 3- ех базовых направлениях.

Основой 1- ого направления является модель, основаннаяна в работах Мюллера и других [70]. Например, берется модель в качестве основ для определений количества произведенного биогаза (метана) из подаваеого сырья на сбраживание, а именно типа и состава метана и оксида углерода [71]:

$$C_nH_aO_b + \left(n - \frac{a}{4} - \frac{b}{8}\right)H_2O \leftrightarrow \left(\frac{n}{2} - \frac{a}{8} + \frac{b}{4}\right)CO_2 + \left(\frac{n}{2} + \frac{a}{8} - \frac{b}{4}\right)CH_4 \qquad (1.35)$$

Где

$C_nH_aO_b$ - органическое вещество;

H_2O- вода;

CO_2 – оксид углерода;

CH_4- метан; a, b, n - коэффициенты.

Вторая направленность состоят из модели, которая основанна на эмпирической зависимости. Данные модели не учитывают параметров, влияющие на конечный вывод биогаза, поэтому никак не раскрывают подробно сбраживание субстрата. Они заменяют зависимость выхода метана от температурного режима субстрата в психофильном режиме сбраживания.

Третье направление рассматривает кинетику процесса анаэробного сбраживания от измельчения сырья и покрытие поверхности частиц бактериями, повыщающие скорорсть разложения [71,72]:

$$\mu = \mu_{\text{м}} \frac{S}{K_s + S} \tag{1.36}$$

в каком месте μ_м, это наибольший удельный темп увеличения бактерий, сут-1; K_S - константа Моно, присутствие каковой скорость увеличения является 0,5 от максимального. На базе моделей Моно Эндрюс, Мозер , также другие разработали свои собственные модели. В их трудах также описывается получение биогаза (метана) от состава метана и оксида углерода сырья, с ведением добавочной функции в формулу равно как ингибирование у Эндрюса и с внедрением сигмоидального условия в Мозер. Однако вышеприведенные уравнения описывают лишь часть, характеризующую кинетику процесса и его разложение.

Модель Конто описывает скорость роста бактерий от концентрации сырья. Недочетом модели Моно считается невозможность отображения процесса в времени, также тот факт, то что она не применима абсолютно всем типам субстрата.

Модель Мозера базируется на модели Моно, которое при внедрении коэффициента, учитывающего сигмоидальный тип связи зависимости скорости повышения от концентрации субстрата [71].

Модель Моно [71, 72] используется с внедрением вспомогательного коэффициента, чтопредусматривает иммобилизацию метагенной микрофлоры в плоскости анаэробного биофильтра.

Модель Моно и прочие базирующиеся на нем уравнения никак не описывают технологические уровни.

На базе модели Конто была изобретена модель Чен, также Хашимото [70, 71, 72].

Исследованиями проводимыми А. Ковалевым, П. Гридневым им. Левчиковой. Кроме того приведены и получены математические модели, которые описывают процесс вывода биогаза. В основе моделей лежит уровенеь распада органического элемента и удельный вывод биогаза [73].

$$V_T = \frac{V_I - E_{CH}}{V_p} \tag{1.43}$$

где V_T, это число товарного биогаза, кВт $*$ ч/(м^3 реактора $*$ сут); V_I– число вырабатываемого биогаза, кВт $*$ ч/сут.;E_{CH} - количество энергии, затрачиваемой на личные потребности биогазовой установки, кВт $*$ ч/сут.; V_p является объем биореактора, м^3.

У Васильевой А. полученная математическая модель определяет выход биогаза в течение всего законченного процесса:

$$P = \frac{j}{\mu} X_H (e^{mt} - 1) \tag{1.44}$$

где j- константа, равная массе микробов, получаемых из единицы массы микробов за единицу времени, характерная для жизнедятельности в режимах сбраживания миробов, с$^{-1}$; X_H – начальная концентрация микробов в циклеn, кг/м^3; μ - рост числа микробов, сут$^{-1}$.

У Сатьянова С., рассматривается уравнения входа биогаза при температурном балансе биореактора, и выхода биогаза, *зависящегося* от сырья [35]:

$$\frac{dV_I}{d\tau} = \frac{\tau}{a\tau^2 + b\tau + c} V_H \tag{1.45}$$

Где

а, b, c – значения коэффициентов экспериментальных данных,

τ – продолжительность сбраживания,

V_H – объем сбраживаемого субстрата, м^3.

Это уравнение также не влияет на такой важный процесс, как смешивание ферментированной массы.

У Друзьяновой В. П., анаэробное сбраживания сырья из отходов КРС описывается несколькими уравнениями [72]:

$$\left.\begin{aligned} \frac{dT}{d\tau} &= (\mu - \tilde{\mu})T \\ \frac{dS}{d\tau} &= \tau j_S T - V - \bar{V} \\ \frac{dP}{d\tau} &= \tau j_P T - M - \bar{M} \end{aligned}\right\} \tag{1.46}$$

где T, S, P – температура, сбраживание и выход биогаза, кг/т; τ – время сбраживания; μ, $\tilde{\mu}$ - Размножение биомассы сбраживаемого субстрата, сут$^{-1}$; j_S, j_P–фактическая динамика брожения субстрата, развития продукта, сут$^{-1}$; V,$\bar{V}$ - скорость распада субстрата и темп образования продуктов, кг/т*сут.; M,$\bar{M}$– скорость ферментации субстрата, и бигаза при его переходе с одной фазы к следующей, кг/т*сут.

Так, в работе украинских ученых приведено математическое описание процесса активации теплообмена методом вибрационного перемешивания, основанное на известных зависимостях тепловых и материальных балансов уравнений теплопередачи и гидродинамики [74, 75]

Работа Д. А. Ярмаркиной [22] посвящена исследованию внешней системы отопления - теплообменника с использованием труб на наружной поверхности биореактора. Уравнения теплопередачи с рядом изменений используются для описания системы. Получены уравнения для определения среднего коэффициента теплопередачи и толщины изоляции биореактора [22]

$$K_{сред} = \frac{\int_{-S/2}^{+S/2} k(d_H, S)dS}{S} \tag{1.48}$$

$$\delta_{изол} = \lambda_{изол}\left(\frac{1}{0{,}2R_p - 0.12}\right) \tag{1.49}$$

где K - коэффициент теплопередачи, Вт/м^2°С; d_H- диаметр (наружный) труб теплообменника, м; S — шаг труб теплообменника, м; $\lambda_{изол}$ - коэффициент теплопроводности изоляции, Вт/(м °С);R_p - радиус реактора, м[21].

Ряд работ посвящен физическому описанию процесса всплытия биогазового пузырька по толщине ферментационной массы биореактора. В работах А. В. Савенко процесс движения частицы (пузыря) описан математически с использованием уравнений гидродинамики Навье - Стокса в цилиндрической системе координат. С учетом принятых допущений была получена система уравнений [20, 76, 77, 78, 79, 80].

$$\frac{\partial P}{\partial r} = 0,$$
$$-\frac{1}{r}\cdot\frac{\partial P}{\partial \phi} = 0, \tag{1.50}$$
$$\frac{\partial P}{\partial z} = \frac{\mu}{r} * \frac{\partial V_z}{\partial r} + \mu * \frac{\partial^2 V_z}{\partial r^2} - p * g = 0$$

где P - давление в направлении движения пузырька, Па;

r - радиус пузырька, мм;

μ - динамическая вязкость жидкого материала, сСт;

V - скорость подъема пузырька, м/час;

р - плотность жидкого материала, кг/м^3;

g — ускорение свободного падения, м/с^2

Из существующих уравнений кинетическая зависимость Конто, которая описывает процесс анаэробной ферментации отходов животноводства, заслуживает наибольшего внимания. Уравнение Конто характеризует объемную скорость выведения биогаза в зависимости от важнейших параметров процесса анаэробного брожения.

$$V = \frac{B_0 \cdot S}{T_{бр}} * \left(1 - \frac{K}{\mu_Т \cdot Т_{бр} - 1 + K}\right) \quad (1.51)$$

где B_0, является предельным расходом биогаза в единицах органического вещества заданных составов за неограниченное количество времени экспозиции, м^3/кг;

S – это концентрация субстрата, кг/м^3;

$Т_{бр}$ - продолжительность ферментации, сут;

К - является кинетическим параметром;

μ - наибольший фактическая скорость роста бактерий, сут$^{-1}$ [81,82].

Результаты расчета этого уравнения хорошо совпадают с практическими данными. С некоторыми предположениями уравнение Konto можно применить к более широкому классу первичных субстратов. Кроме того, для повышения надежности моделирования кинетики процесса анаэробного брожения необходимо проведение специальных исследований, отражающих индивидуальные параметры, включенные в уравнение.

Общепринятое математическое описание процессов анаэробных сбраживаний биомассы из остатков крупного рогатого скота, которое позволило бы рассчитать процесс во всех многомерных условиях его реализации, до тех пор пока не получено, несмотря на долголетние исследования, также практическое использование анаэробного сбраживания.

Математическое описание анаэробного сбраживания и его расчет должны основываться на адекватной кинетической модели [77,82].

Таким образом, математические модели, рассмотренные выше, и методы расчета параметров биогазовых установок не учитывают важные характеристики процесса, в частности, химические свойства исходного субстрата и влияние ряда факторов, способствует интенсификации метанового брожения (перемешивание, время цикла и т. д.) [82].

1.6. Выбор разработки программного обеспечения автоматизированной системы управления УОС и биореактора в интегрированной среде TRACE MODE

Интенсивное развитие микропроцессорных технологий привело к созданию системы технологического контроля на основе промышленных контроллеров. Но это не означает, что реле стареет, у них есть свои гнезда для использования.

ПЛК - Программируемый логический контроллер**,** представляют собой микропроцессорный прибор, который предназначен для сбора, обработки, преобразования, хранения информации, также выработки команд управления, который имеет конечное число входов и выходов, подсоединенных к ним датчиков, ключей.

Система программирования контроллеров TRACE MODE SOFT LOGIC располагает мощными отладчиками программного обеспечения. В online режиме редактировать проект в реальном времени и проводить диагностику работы АСУ ТП в интегрированной среде TRACEMODE® 6[81].

Программное обеспечение программируемых логических контроллеров TRACE MODE SOFT LOGIC позволяет автоматизировать обновление программного обеспечения в беспроводном контроллере после ее редактирования. В этом случае перегрузить только лишь отредактированную часть проекта, не перегружая весь контроллер [81,82].

В TRACE MODE SOFT LOGIC, возможно выполнять весь комплекс – это

1. Разработка программы логического контроллера для управления биореактором.

2. Конфигурирования работы с OPC - сервером (OLE for Process Control), настройка OPC-сервера.

3. Разработка приложения, представляющего из себя OPC - клиент.

4. Создание Блок - схемы температурного режима и контроль уровня.

5. Для настройки параметров, контроля уровня и анализа использован язык программирования TechnoST, а для настройки температурного режима использован язык TechnoFDB [83,84].

Язык программирования функциональных блочных диаграмм, FBD (Function Block Diagrams) это графический язык, который позволяет создавать программу практически любой сложности использующие библиотечные функции (арифметические, тригонометрические, строковые) и функциональные блоки (логические, ПИД - регулирование, мультиплексоры и др.).

Программа на языке FBD, выглядит как комплект блоков, между входами/ выходами которых графически поставлены связи. Программирование сводится к выбору необходимых библиотечных функций и блоков и соединению их надлежащих входов/выходов.

В итоге создается максимально наглядная и хорошо контролируемая программа.

ВЫВОДЫ К ГЛАВЕ 1

Таким образом в диссертационной работе аргументирована значимость проблемы, сформулированы цели и задачи изучения, научноеновшество, практическая значимость полученных итогов, приведены данные о апробации деятельности, также ее связи с государственными научно - техническими проектами, предоставляются сведения о количестве публикаций.

Представлен анализ современного состояния биогазовой технологии переработки экскрементов КРС в малых фермерских хозяйствах. Рассмотрены вопросы: предварительной подготовки отходов животноводства, путем кавитационной деструкции и анаэробного сбраживания сырья в психрофильном режиме, основные влияющие факторы и требования, предъявляемые к автоматизации и управлению технологического процесса, измельчения, гомогонизации и деструкции сырья, а также сбраживание субстрата при тепловом режиме в биореакторе.

Проанализированы труды отечественных и зарубежных ученых и специалистов в области кавитационной деструкции сырья, интенсификации анаэробного сбраживания экскрементов КРС в биогазовых установках, их степень автоматизация и управления.

По результатам анализа выполнены следующие выводы согласно первой главы:

-в настоящее время в странах СНГи ЕАЭС в большинстве отсутствует переработка и утилизация навоза КРС, получаемого за стойловый период в малых фермерских хозяйствах а существующие малые биогазовые установки для переработки отходов животноводства имеют примитивную технологию первоначальной подготовки субстрата и систему автоматизации.

- установлено, что на процесс анаэробного переваривания навоза животных влияет множество факторов различной степени тяжести. Все факторы можно разделить на обязательные, постоянные, временные, контролирующие, управляющие и свободные. Анализ факторов, влияющих на

процесс анаэробного пищеварения, показал, что влажность ферментированного субстрата является наиболее технологичной и при этом оказывает решающее влияние; степень измельчения частиц субстрата, его равномерность; доза загрузки нового субстрата; температура брожения; время смешивания и выдержки субстрата в биореакторе.

-установлено, что в процессе анаэробного сбраживания 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.

-отмечено, что кавитационные технологии все активнее применяют для процессов смешения и диспергирования гомогенных и гетерогенных систем.

-детально описан рабочий процесс гидродинамического кавитационного диспергатора, в котором измельчение и диспергирование сырья в гомогенизированный субстрат;

-рассмотрено соблюдение температурного режима во время сбраживания субстрата в психрофильном режиме в биореакторе;

-обоснован выбор интегрированной среды TPACE МОДЕ для разработки программного обеспечения для расчета и контроля основных параметров измельчение, гомогенизация сырья и сбраживания субстрата в биореакторе.

ГЛАВА 2. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ КАВИТАЦИОННОЙ ДЕСТРУКЦИИ ОТХОДОВ ЖИВОТНОВОДСТВА, НАГРЕВА И СБРАЖИВАНИЕ ЕЕ В БИОРЕАКТОРЕ

Для производства биогаза широкое применение получили биореакторы. Во многих странах мира биогазовые технологии стали стандартом переработки биотоплива для получения дополнительных сырьевых и энергоресурсов. Большое значение на конечный выход биогаза играет процесс подготовки органического сырья.

В данной главе диссертационной работы приведены - разработка математической модели и моделирование процесса предварительной обработки органического сырья, а также нагрева и сбраживания субстрата в психрофильном режиме сбраживания [85, 86].

Таким образом, математическая модель представляет собой предполагаемое описание явления или процесса с использованием математической символики.

Задачами построения являются решение задач:

- исследование физико - химических основ процесса производства биогаза при анаэробном брожении органических отходов;
- изучение промышленных данных всех функциональных компонентов концепции обработки органических кормов;
- проведение количественного эксперимента для определения оптимально управляемых, также регулируемых параметров системы подготовки модернизированного сырья.

Математическое моделирование содержит 3 взаимозависимых этапа:

- формирование точного отображения исследуемого предмета;
- подбор способа постановления концепции уравнений математического отображения и реализация его в форме моделирующего проекта;
- формирование соотношения (адекватности) модели реальному объекту.

Особое внимание в диссерационной работе уделяется математическому моделированию процесса кавитационной деструкции сырья, которое является предпосылкой для дальнейшего исследования. [46, 47].

Моделирование является одной из наиболее значимых областей в развитии биотехнологий, поскольку благодаря моделированию, экспериментальным и математическим процессам изучаются и развиваются новые процессы, улучшаются устройства технологических схем производства. При экспериментальном моделировании лабораторные и производственные условия, как правило, используют модели объектов, также процессов, различающихся по масштабу. Экспериментальным моделированием позволяется исследование и оптимизирование процессов. Чтобы оптимизировать и контролировать работу технологического процесса, кроме экспериментального, нужно еще задействование математическго моделирования. Данные два подхода, дополняющие друг друга, дают возможность наиболее эффективно выполнять задачи. Экспериментальному моделированию предшествует математическое моделирование, являясь источником информации для нее. Математическое моделирование, это удобное средство суммирования экспериментальных данных [49]. Присутствие математического моделирования дает возможность более разумно подходить к планированию исследований и данных процесса, значительно уменьшить количество экспериментальных работ. Процессы, происходящие в реакторе, которые находятся в зависимости не только от сложных внутриклеточных условий, но и от факторов окружающей среды; внешние процессы связаны с внутренними процессами, поэтому их нельзя разделить.

Математический аппарат, который описывает природу биологических преобразований во всем его многообразии еще не создан, т.е. необходимо развивать и совершенствовать саму математическую конструкцию. Математическое представление биологических предметов еще больше усложняется их недостаточным знанием. По этой причине на данном уровне возможно довольно простое, также приближенное математическое

представление биологических объектов; эта область нуждается в существенном улучшении [49, 50].

Впервые кавитация была обнаружена при исследовании быстрого движения твердых частиц внутри жидкости. Огромную разрушительную силу этого явления ощутили, прежде всего, инженеры, испытавшие винты гребных винтов.

Вопросы возникновения и развития кавитации, являющейся одной из актуальных проблем гидродинамики, рассматриваются в большом количестве работ. Были проведены теоретические и экспериментальные исследования Л. А. Эпштейном, К. К. Шальневым М. И. Гуревичеем, В. Я. Карелиным, А. Д. Перником и другие [51,52,53].

Технология гидродинамической кавитационной обработки жидких сред успешно применяется для интенсификации тепломассопереноса и физическо - химических процессов, а также улучшение выходных показателей качества процессов гомогенизации и диспергирования.

Явления кавитации в одном действии, это совокупность способов энергопередачи газовому пузырю, при лишь одном физиологическом воздействии на недвижимую жидкость.

В этом случае пузырек, может быть основан, либо в процессе воздействия (электролазерный толчок, гидравлический подрыв), либопузырекнамеренно способен вводится в раствор (поршневое воздействие в период кавитационного потрясения).

Если в первом случае состав парогазовой смеси почти неуправляем, то во втором случае при ударе возникает возможность определить и состав газа и размеры пузырька, что может помочь исследованию кавитационных явлений.

В 3 - ем случае влияние пульсаций давления в жидкой среде при периодических изменениях скорости потока жидкости осуществляется механическими устройствами. Простота, мощность и производительность подобных устройств дают возможность использовать кавитацию в процессах массообмена.

В биогазовой технологии кавитация используется для гомогенизации и диспергации и измельчения отходов в жидкой композиции. Смешение разработанно на принципе гидравлических турбин или консистенции посредством кольцевого отверстия, что обладает ограниченное входное отверстие и намного больший выход: принудительное снижение давления, что приводит к кавитации. Смесители в которых кавитационные пузырьки движутся в противоположном направлении, вызывая взрыв (внутренний взрыв), подвергается большому давлению также зачастую изготавливается из сверхпрочных либо твердых материалов, таких как нержавеющая сталь, стеллит. Также были разработаны устройства для очистки кавитационной воды, в которых граничные условия кавитации могут разрушать органические молекулы.

Особым значением является математическое моделирование процесса при анаэоробном сбраживании органических остатковв биогазовой технологии, а также экспериментальный метод. Правильно разработанная математическая модель адекватно описывающая объект исследования позволяет оценить процесс измельчения и гомогенизации сырья, а также анаэробного психрофильного режима сбраживания субстрата без ведения полномасштабных исследований, соблюдающие пределы указанных, установленных ограничений [54, 55, 56].

Задачей математического моделирования процесса метаногенеза считается математическое описание, охватывающая все компоненты и факторы связанные с процессом измельчения и сбраживания субстрата.

Важно отметить, что математическая модель анаэробного сбраживания сырья, получаемого из отходов крупного рогатого скота в биореакторе необходима для теоретического обоснования планируемого эффекта, полученного с использованием таких основных технологических факторов, как измельчения, температура, содержание влаги в субстрате, метан, доза суточной нагрузки, скорость и интенсивность смешивания.

Из всех этих факторов процесс измельчения сырья, в УОС представляют особый интерес. Это связано с тем, что процесс измельчения позволяет метанообразующим и другим бактериям увеличить скорость сбраживания, за счет увеличения поверхности частиц субстрата [57, 58].

2.1. Характеристика перерабатываемого органического сырья

Беспрепятственный обмен веществ в материале является предпосылкой с целью значительной активности микроорганизмов. Это допустимо только лишь в том случае, если вязкость материала допускает беспрепятственное перемещение микроорганизмов и газовых пузырьков среди жидкостью и содержащимися в ней твердыми элементами.

В отходах аграрного производства существуют различные твердые частички. Твердые частички, к примеру, песок, глина также др. вызывают формирование осадка. Наиболее простые использованные материалы поднимаются на плоскость материала и формируют корку. Данное приводит к сокращению газообразования. Поэтому рекомендовано основательно дробить перед загрузкой в реактор растительные фрагменты - солому, сено также др., также стремиться к отсутствию твердых элементов в материале.

Наличие сухого элемента обусловливается влажностью экскремента. При влажности 70% в сырьевом материалы содержится 30% сухих веществ. Приблизительные значения влажности экскрементов (навоз и моча) и навоза для разных видов животных доводятся в табл. 1.1.

Таблица 1.1 - Влажность и количество экскрементов и навоза на одного животного [18]

Разеновидность животных	Среднее суточное количество	Влагосодержание навоза в(%)	Среднее суточное число экскременто	Влагосодержание экскрементов

	биомассы, кг/сутки		в (кг/сутки)	
Крупно-рогатый скот	36	64	54	79

Влажность сырья, которое загружается в реактор установки, должна быть не меньше 85% в зимний период времени,и 92% в летний период. Оптимальное влагосодержание сырья, биомассу чаще разбавляют горячей водой в количестве, который определяется по формуле:

$$ОВ = Н * ((В2 - В1)/(100 - В2)),$$

где Н, это число навоза, которое загружается,

В1 это изночальная влажность навоза,

В2 - влажность необходимая для сырья,

ОВ – число воды в литрах.

В табл. 4., приведено необходимое количество воды для того, чтобы разбавить100 кг навоза до 85% и 92% влажности.

Таблица 1.2 – Число жидкости для достижения необходимого влагосодержания на 100 кг биомассы [9]

Влажность, которая необходима	Изначальная влажность материала						
	60%	65%	70%	75%	80%	85%	90%
85%	166 лит.	133 лит.	100 лит.	67 лит.	33,5 лит.	-	-
92%	400 лит.	337 лит.	275 лит.	213 лит.	150 лит.	87,5 лит.	25 лит.

Таким образом, на входе в систему обработки сырья поступает биомасса, состоящая из навоза КРС и воды, в соотношении 1/1, общей влажностью 92%., что является оптимальной влажностью для обработки сырья в биореакторе

(рис. 1.1). С помощью увеличения влажности была уменьшена плотность биомассы и ее вязкость, что способствует более оптимальной дальнейшей ее обработки [1].

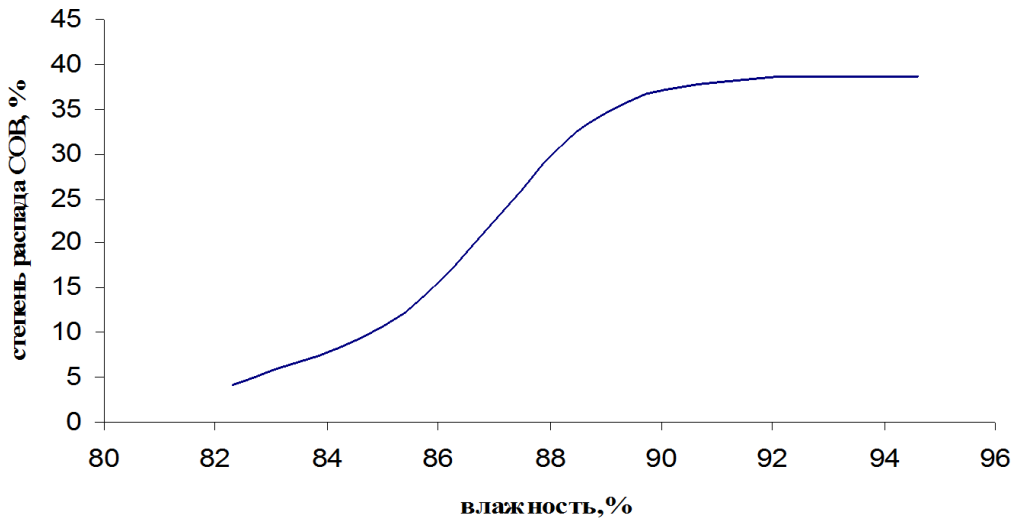


Рис. 1.1. Зависимость степени распада ОВ от влажности субстрата

2.2. Разработка способа кавитационной деструкции обработки сырья и сбраживания в психрофильном режиме

Биогаз представляет собой состав газов, в основном метана, также углекислого газа, возникших в анаэробных реакторах, расположенных и контролируемых подобным способом, чтобы максимизировать выброс метана. Энергия, которая получается при выжигании биогаза, достигает до 60% того, что имеет сырье. Другой, и очень важный, достоиснством процесса переработки биомассы заключается в том, что ее отходы содержат гораздо менее болезнетворные микроорганизмы, чем в исходном материале [29].

Производство биогаза экономически целесообразно, также считается предпочтительным для обработки непрерывного отока отходов.

Анализ источников литературы выявил, что для обработки остатков животноводства, также для обеспечения биотехнологического хода распада органических компонентов в полезную

энергию и продукты используют анаэробное сбраживание, компостирование, термохимическую обработку, вермикомпостирование и комплексные технологии [30].

Одним из возможных методов извлечения энергии с биомассы животного, также частично растительного возникновения является его анаэробное сбраживание. Биогазовые установки также выполняют роль очистных сооружений, которые уменьшают химическое и бактериальное загрязнение почвы, воды, воздуха и отходов до нейтральных минерализованных продуктов [31].

Технология метанового сбраживания позволяет получать биогаз, высококачественные удобрения и добавки из белково-витаминных кормов и по существу является безотходной. Топливный или приподоохранный акцент зависит от конкретных условий, но в большинстве случаев в промышленно развитых странах строительство биогазовых установок обусловлено необходимостью решения экологических проблем [30].

Кислотообразующие также метанообразующие бактерии попадаются в природе везде, в той частности животных фекалиях. К примеру крупнорогатый скот включает целый набор микроорганизмов, требуемых для сбраживания навоза, также процесс метановой ферметнации начинается в кишечнике. По этой причине навоз КРС считается одним из исходных материалов процесса сбраживания, которое проходитпри следующих обстоятельств [31].

- При поддержки анаэробных обстоятельств внутри реактора;
- При температурном порядке; присутствие питательных элементов для микроорганизмов;
- При выбора времени сбраживания также своевременной погрузке и выгрузке сырья;
- При соответствие кислотно - щелочного баланса;
- При соблюдении соотношения углерода и азота;
- При выборе правильного содержания влаги внутри сырья;
- При регулярном перемешивании и отсутствии ингибиторов процесса.

В ходе менатового сбраживания сырье раздробляются на гиоксид углерода и метан, который может составлять до 70%. Технологический процесс анаэробного переваривания биомассы осуществляется без доступа к кислороду в специальных реакторах-метановых емкостях. Важность метанового сбраживания является наличие подходящих технологических обстоятельств в биореакторе: доступ к кислороду, температура, необходимая концентрация питательных элементов, подходящий уровень pH, недостаток либо невысокая концентрация токсичных элементов [32].

Биогазовые комплексы метанового сбраживания включают следующие системы:

- оборудования подготовки и поставки сырья в биореактор;
- биореактор (метан) с системой поддержания постоянной температуры и других компонентов;
- системы сохранения и использования биогаза;
- системы сброса и транспортировки шлама.

Использование кавитационного деспергатора обеспечивает тонкое измельчение и гомогенизацию сырья. Далее измельченное сырье отправляется в подготовительную емкость, где смешивается с водой и происходит ее измельчение до требуемой величины в УОС, состоящее из мацератора, гетероторного насоса и диспергатора [33].

Использование биогаза обеспечивает возможность получения тепловой и электрической энергии, что особенно привлекательно для ферм. Благодаря массовому распространению биогазовых технологий в сельских районах может быть достигнута значительная экономия на органическом топливе.

При базовом функционировании биореактора, получается метан 60 - 70%, и диоксида углерода 30 - 40%, сероводорода 0 - 3%, остальные примеси не рассматриваются в данной работе. Биогаз не имеет неприятного запаха, его нетто-теплотворная способность составляет 25 МДж/м^3. Количество биогаза, которое может быть извлечено из различных сельскохозяйственных отходов, остатков и смесей в оптимальных условиях анаэробной обработки, зависит от

количества субстрата, условий процесса, бактериальной композиции в реакторе и т.д. Обычно 2 - 4% исходного продукта сбраживается. Выход газа составляет 0,2 - 0,4 м3 из 1 кг ферментируемого сухого материала в нормальных условиях и потребления 50 кг сухой биомассы на 1 м3 воды [34].

Остаток, образующийся в процессе производства биогаза, содержит значительное количество питательных веществ и может эффективно использоваться в качестве удобрения. Состав остатка, полученного из анаэробной переработки отходов животноводства, зависит от химического состава загружаемого сырья в реактор. В период ферментации в среднем 30 процентов органического элемента разлагается, то, что является 1 - 2 процента от массы жидкого навоза. Величина осадка в качестве удобрения зависит от его химического состава. В процессе сбраживания уменьшается только содержание углерода и, следовательно, отношение C/N. Фосфор, калий и азот полностью сохраняются в биообработке, биогаз может содержать только их следы. При хранении в открытых контейнерах в течение длительного времени потери азота могут происходить в виде аммиака [35].

Известные в обществе типы биогазовых конструкций классифицируются согласно способам загрузки сырья, способам сбора биогаза, согласно применяемым с целью их сооружения материалам вертикальному либо горизонтальному месторасположению реактора, находящийся под землей, либо наземной конструкции, а также по применению добавочных устройств.

Резервуар для смешивания материала способен быть различных объемов и форм, в зависимости от материала. Резервуар содержит механизм для смешивания и дробления сырья, также насос для загрузки сырья в реактор. Может быть установлена конструкция для предварительного обогрева сырья для избежания замедления процесса сбраживания материала в реакторе [9]. Так как использование мешалок, медленное перемешивание сырья через каждые 4 – 6 часов способствует увеличению вывода биогаза при брожении (табл.1.3).

Таблица 1.3 - Вывод биогаза при различных способах смешивания

Метод размешивания	**Вывод биогаза (л/л/суток)**	**Вывод метана (л/г СВ)**
Отсутствие размешивания	0,92	0,19
Механическое смешивание	1,14	0,23
Пневматическое смешивание	1,07	0,21
Гидравлическое смешивание	1,20	0,24

На рисунке 1.5 представлены функциональные объекты биотехнологического процесса обработки биомассы.

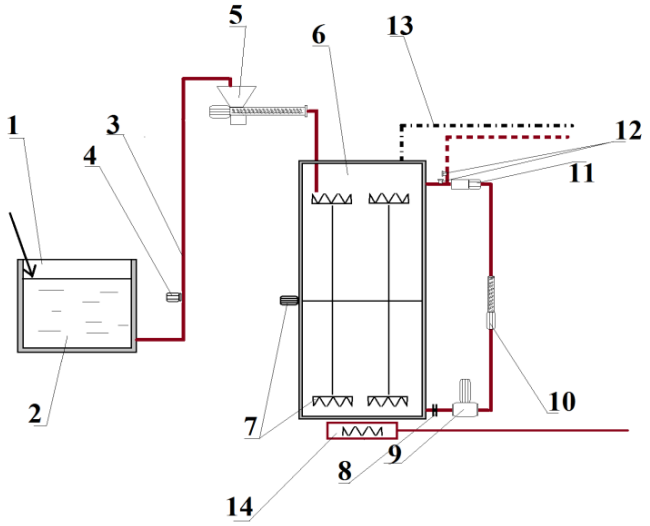


Рис. 1.5. Функциональное описание схемы первичной подготовки и измельчения биомассы КРС в биогазовой установке:

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 - гетероторный насос; 11 - диспергатор; 12- клапаны, регулирующие направление субстрата; 13 - труба выхода CO_2,14 - котел для подогрева емкости.

В емкость 1 поступает бесподстилочное органическое сырье (навоз КРС), 2 массой 600 литров, влажностью 80-85%, там оно смешивается с водой комнатной температуры, в пропорции 1:1, до получения влажности 92%. Из емкости 1сырье поступает по трубе 3, с помощью насоса 4, в шнековый сепаратор 5, с производительностью 65 м3 /ч и скоростью вращения ≈ 1450 об./мин, где происходит измельчение крупных частиц сырья. Далее предварительно измельченная биомасса поступает в емкость 6. На входе в систему обработки сырья (9,10,11) поступает биомасса, состоящая из навоза КРС и воды, в соотношении 1:1, общей влажностью 92%, что является оптимальной влажностью для обработки сырья в биореакторе. Поступая в мацератор 9, измельчаются имеющиеся в составе биомассы длинные волокнистые включения и одновременного отделяются тяжелые примеси. Далее, героторный насос 10, перекачивает биомассу и диспергатор 11, тонко измельчает биомассу и создает однородную смесь. Система обработки сырья- это циклическое измельчение, при котором биомасса измельчается до необходимых размеров частиц. Пока биомасса находится в емкости 6, она периодически перемешивается автоматической мешалкой 7. Во время измельчения биомассы в емкости 6 выделяется углерод, выход CO_2 проходит по трубе 13. Когда биомасса достигает необходимого размера измельчения, нижний клапан 12 закрывают и открывается верхний клапан 12, где измельченный субстрат перекачивают в метантенк.

Таким образом, функциональная схема первичной подготовки и измельчения биомассы КРС в биогазовой установке является в дальнейшем объектом исследования данной диссертационной работы.

2.3. Выбор основных параметров системы автоматизации и контроля процессами измельчения сырья и психрофильного режима сбраживания субстрата

Измельчения. Первоначальная подготовка сырья необходима для эффективной работы используемого технологического оборудования, а так же для обеспечения последующегопроцесса анаэробногосбраживания в нем.

На первом этапе подготовки субстрата проводится отделение посторонних предметов и сортировка субстрата. Необходимость проведения этой операции зависит от происхожденияи состава сырья для биогазовых установок. К посторонним предметам обычно относятся камни, которые под действием силы тяжести обычно опускаются на дно приемной емкости. Эти и другие посторонние вещества могут удаляться вручную на стадиях поставки сырья, загрузки и перемешивания [23].

На втором этапе подготовки субстрата производим его измельчение. Эти операции необходимы для создания больше открытой поверхности контакта субстрата с анаэробными бактериями и интенсификации процесса его разложения, а следовательно и повышения качественного состава биогаза, с увеличением в нем доли выделяющегося метана.

Измельчители субстрата устанавливают перед блоком его подачи на первую ступень сбраживания биогазовой установки. В этом качестве используются кавитаторы. Помимо них могут применяться валы и шнековые транспортеры, оборудованные режущими приспособлениями, которые могут быть установлены и на участках комбинированного приема и дозирования сырья.

Сырье с большим содержанием волокон и твердой фазы может измельчаться в приемной емкости, транспортирующих трубопроводах, или же емкостях для смешивания субстрата.

Как было сказано выше, стадия гомогенизации смешивания с жидкой фазой при подготовке субстрата необходима для проведения процесса мокрого

сбраживания, который проводится в большей части установок для получения биогаза. Этот процесс проводится в специально предназначенной для этого емкости непосредственно перед подачей подготовленного субстрата в биореактор на первую ступень сбраживания.

Для смешения навоза и приведения ее в жидкое состояние обычно используют жидкую навозную жижу, или же остатки от брожения после обезвоживания осадка, и только в самом крайнем случае – свежая вода. В процесс фильтрата можно ввести в субстрат бактерии, обеспечивающие процесс анаэробного сбраживания, только после процесса кавитации, которая проводит измельчение и одновременно гигиеническую обработку субстрата. При выборе воды необходимо контролировать ее чистоту без любых примесей и веществ, оказывающих дезинфицирующее действие, так как они могут негативно повлиять на жизнедеятельность бактерий, особенно метаногенов, чувствительных к токсическому воздействию [33].

Однородность субстрата, загружаемого в биореактор биогазовой установки, является одним из важнейших факторов обеспечения процесса анаэробного сбраживания, так как этим обеспечивается одинаковая нагрузка на биоценоз анаэробных бактерий во всем объеме биореакторе. Чередование жидких и твердых веществ в составе субстрата заставляют бактерии приспосабливаться к меняющимся условиям, что сокращает выход биогаза. Однородность состава, а так же максимальная поверхность контакта бактерий и разлагаемого субстрата обеспечивается процессом кавитации в приемной емкости, а так же в биореакторе анаэробного сбраживания.

Таким образом, одним из первоначальных факторов влияющих на максимальный выход биогаза является измельчение подаваемого субстрата в кавитационном аппарате.

Температура.

Поддержка подходящей температуры является одним из наиболее важных факторов в ходе брожжения. В естественных обстоятельствах образование биогаза совершается при температурах от 0ºС до 97ºС.

Температурный режим анаэробного сбраживания сырья в бимореактора в психрофильном режиме при температуре от 20 – 25ºС. По мере повышения температуры выбросы метана увеличиваются. Но количество свободного аммиака также увеличивается с температурой, и процесс ферментации может замедлиться. Обычно, биогазовые конструкции без обогрева биореактора показывают неплохие характеристики только лишь при 20 - 28°С. Если температура биомассы ниже 15 ° С, газ будет настолько низким, что биогазовый комплекс без теплоизоляции и отопления будет экономным [36, 37].

Температурный психрофильный режим прослеживается в конструкциях без нагрева, при которых нет контролирования за выходом биогаза. Оптимальная температура для мезофильного температурного режима составляет 36 - 38 ° С, а для термофильных – 52 - 55 ° С на основе эмпирических данных от жидких устройств, работающих на смешанном навозе, крупном рогатом скоте.

В процессе сбраживания возможны изменения температуры: психофильный режим (2ºС в час), мезофильный режим (1ºС в час), термофильный режим (0,5ºС в час) [39].

Наличие сырья.

Оптимальное время субстрата зависит от загрузки сырья в биореактор и температурного режима процесса ферментации. За короткое время ферментации в биореакторе, когда разлив разгрузился, бактерии вымываются из реактора быстрее, чем ожидалось, и процесс ферментации практически останавливается.

Слишком длительное содержание при максимальном получении биогаза влечет дополнительные затраты в течение определенного периода времени [39]. Для нахождения оптимального времени сбраживания необходимо провести эксперименты на подачу и выгрузки субстрата из биореактора обработкой несколькими порциями суточного количества свежего исходного сырья, загружаемое в биореактор, и в такой же последовательности выгрузки и

биореактора.

Непрерывный процесс должен сопровождаться пребыванием сырья в биореакторе соотношением объема к суточному объему загружаемого сырья. На практике время оборота сырья в биореакторе зависит от температуры субстрата в биореакторе и его измельчения и гомогенизации [33, 36].

На действующих биогазовых установках подача сырья осуществляется один раз в сутки. В зависимости от температурного режима в биореакторе определяется и время пребывания, так, например, за10 дней, дневная нагрузка составит 1/10 от общего объема подачи. Если период оборота биореактора составляет 20 дней, а дневная нагрузка составит 1/20 от общего размера подачи.

Период обрабатывания субстрата.

Период обработки субстрата зависит от подготовки сырья и его типа и измельчения. Например, обработанные в условиях мезофильной температуры, время, в течение которого большая часть биогаза высвобождается, приблизительно равно: крупный рогатый скот (10 – 16суток); навоз КРС содержащий солому и другие растительные отходы (38 и далее суток).

Уровень кислотно-щелочного баланса – pH варьируется в зависимости от начального материала от 6,5 до 8,5 [39].

Содержание кислотно-основного баланса соответствует цвету, полученному на бумаге при погружении в ферментированный корм [38].

Иным фактором является отношение углерода к азоту в сырье. В случае если отношение C/N очень велико, недостаток азота является фактором, ограничивающим процесс ферментации метана. Если это соотношение слишком низкое, количество аммиака увеличится, что будет небезопасно для бактерий. [39].

Экспериментальные изучения демонстрируют, то что вывод биогаза максимален при углерод - азотном балансев итервале от 11 до 19 и причем оптимальное соотношение изменяется от типа корма.

Из наиболее важных соединений, которые составляют органическое вещество, жиры определяют самый высокий выход газа с высоким

содержанием CH4, белки - немного меньше, но также с высоким содержанием CH4, а углеводы - сравнительно не достаточно газа с минимальным содержанием CH4.

Среднияя структура газа, получаемая из экскремента животных при оптимальной температуре ферментации 34°C, соответствует соотношению $CH4/CO2 = 2$. В зависимости от доли органической массы, способной к ферментации, только 40 - 50 % от общей органической массы разлагается в реакторе.

Выбор оптимального содержания влаги в сырье.

Непрерывный процесс перемещения частиц веществ в субстрате усиливает высокую активность бактерий. Это требует достаточной вязкости сырья, что обеспечивает свободное перемещение бактерий и газовых пузырьков между жидкостями и твердыми веществами.

Навоз КРС содержит твердые частицы и сухие вещества, такие как песок и глина, которые могут привести к осаждению. Легкая материя поднимается к поверхности подложки и образует оболочку, которая снижает процесс газообразования. В этом случае отходы реакторной установки: солома, отходы и т. д. Рекомендуется шлифовать перед загрузкой. Содержание высохших элементов в субстрате обусловливается влажностью навоза.

Содержание влаги в сырье для реактора установки, должно составлять не меньше 85% зимой, и летом 92%. Формулирование и достижения наилучшего содержания влажности в субстрате рассчитывают поформуле:

$$\text{ОВ} = \text{НЧ}(4)\big((\text{В2} - \text{В1})/(100 - \text{В2})\big) \tag{1.1}$$

где Н, это количество навоза, который подлежит загрузке,

В1, это - изначальная влага навоза,

В2, это содержание влаги, которое требуется в субстрате,

ОВ - число воды в литрах [40].

Систематическое смешивание.

В биогазовых технологиях стабильность психрофильного режима сбраживания субстрата в биореакторе, сопровождается периодическим перемешиванием.

Основные цели смешивания:

- выпуск промышленного биогаза;
- смешивание свежего субстрата и популяции бактерий (инокуляция);
- предотвращение образования коры и осадков;
- предотвращение секций различных температур в реакторе;
- устойчивость распределения в субстрате микроорганизмов;
- устранение формирование пустот также кластеров, снижающих эффективную область биореактора [41,42].

При подборе подходящего способа и метода смешивания, следует иметь в виду, что одна бактерия является пищей других, и, когда сообщество нарушается, процесс ферментации оказывается неэффективным до появления нового симбиоза. В этом случае частое, длительное и интенсивное перемешивание вредно. Необходимо смешивать сырье по 4-6 часов в день [43, 44].

Ингибиторы процесса. Ферментированное сырье не должно содержать антибиотиков или растворителей, которые убивают бактерии. Например, не рекомендуется использовать разбавленные сточные воды после мытья синтетическими моющими средствами [45].

2.4. Методика расчета психрофильного режима сбраживания субстрата в биогазовой технологии

Биотехнологический процесс является химико-технологическим процессом протекающим в биореакторе со сложной кинетикой протекания реакций, с получением на выходе продукты метана CH_4 и диоксида углерода CO_2. Соответственно и расчеты производятся с применением кибернетики

химико – технологических процессов и кинетики биологических процессов анаэробного сбраживания в биореакторе [87, 88].

Рассмотрим примеры расчетов биогазовой установки для КФХ опубликованные в статьях, отчетах помещенные в интернете.

В следствии проделанных изучений в КазНИИМЭСХ, аргументированы подходящие характеристики, кроме того режим работы биогазовых конструкций с целью обработки остатков животновства, разработана улучшенная технология анаэробной ферментации [89].

1. Выход экскрементов КРС в сутки будет вычислен по формуле, где $T_{1,2,3..п}$ = является поголовьем разного вида скота, $t_{1,2,3..п}$ = является выходом экскрементов с единицы скота соответственно.

$$Q_Э = T_1t_1 + T_2t_2 + T_3t_3 + \ldots . T_nt_n = 200 * a = кг/\ сут \qquad (2.1)$$

α = количество экскрементов одной здоровой коровы (приблизительно 26-30 килограмм);

2. Затраты подстилки для единицы разного вида скота вычисляется по формуле, где $T_{1,2,3..п}$ = является поголовьем разного вида скота, $y_{1,2,3..п}$ = является затраты подстилки для единицы скота соответственно.

$$Q_П = T_1y_1 + T_2y_2 + T_3y_3 + \ldots . T_ny_n = 200 * b = кг/\ сут \qquad (2.2)$$

b = суточный расход подстилки.

Общий выход экскрементов составляет

$$Q_{Об} = Q_э + Q_г + Q_П = кг/\ сут \qquad (2.3)$$

$Q_г =$ Расход жидкости (воды) на гидросмыв экскрементов. В данном случае гидросмыв не используется в связи с добавлением воды внутри процесса биогазовой установки.

$$Q_{Об} = Q_э + Q_г + Q_П = кг/\ сут \quad (2.4)$$

$$P_{МВ} = \frac{Q_{Об} * W_м}{100} = кг/\ сут \quad (2.5)$$

$$P_{СВ} = Q_{Об} - P_{МВ} = кг/\ сут \quad (2.6)$$

$P_{жв} =$ Содержание жидкого вещества; $P_{св} =$ Содержание сухого вещества; $W_М =$Влага экскремента, $W_М = 83{,}2\%$. Влага субстрата уже после вымешивания экскрементов с водой. $Q_В =$число воды в тоннах.

$$W_С = \frac{Q_э W_м + Q_в W_м}{Q_э + Q_В} = кг/\ сут \quad (2.7)$$

Число органических элементов в субстрате:

$$P_{ОВ} = 0{,}85 * P_{СВ} = т/\ сут \quad (2.8)$$

Вместительность накопительного резервуара для вышедшего удобрения:

$$O_у = \frac{Q_{об} * B_х}{К_и} = кг = m^3 \quad (2.9)$$

$B_Х =$ Время хранения, $К_И =$ Коэффициент использования $(0{,}5 < К_И \leq 0{,}9)$;

3. Объем необходимогобиореактора для обработки экскрементов$O_р = 83{,}2\% \cdot c \cdot pH \geq 7$,при выгульном содержании вывода отходов ниже, нежели при стойловом содержании является $Q_{выг} = 0{,}5 * Q_э = 0{,}66т/сут = 0{,}5$, тогда:

$$O_р = \frac{Q_{выг} * B_{сб}}{K_з} = кг = m^3 \quad (2.10)$$

$B_{сб}$ – время, затраченное на сбраживание; $B_{сб} = n$ суток (в зависимости от биореактора); $K_З = 0{,}9 \ldots 0{,}98$ (коэффициент загрузки биореактора);

4. Объемы газгольдера должен соответствовать выводу биогаза изнутриреактора от 1,2 до 2,1 м^3 за 24 часа с объемом в 1 м^3, а его суточный вывод составляет $W_б = 10 м^3/сут$.

В данном случае обусловливается объем газового бака, подымаемого под невысоким давлением напротяжении n = 2 суток, которое определяется:

$$O_г = \frac{W_б}{2} = 5m^3 \quad (2.11)$$

Давление, которое образовалось путем плавучего объекта (колоколом) газгольдера, вычисляется согласно формуле:

$$P_г = \frac{S_0 * \delta * \sigma_c}{S_п} = кг/см^2 \quad (2.12)$$

S_0, является единой областью основания, также побочных стен газгольдера, $S_п = м^2$; δ- толща стенок газгольдера, $\delta = м$;

σ_c– обособленный вес стали (зависит от объема газгольдера); $S_п$ – площадь верхнего основания, $S_п = м^2$.

Рассмотрим обоснованность предварительной подготовки навоза КРС на действующей конструкции в Киргизии.

Биогазовый комплекс состоит из 3-ех высоких биореакторов, отапливаемых с гидравлической загрузкой, разгрузкой и смешиванием сырья с применением гетерогенных насосов объемом 25 м^3.

Перед расчетом объема биореактора обязательно определяется количество экскрементов в сутки от КРС после чего он разбавляется водой

для достижения уровня влаги 86 - 92%. Совместный спектр для извлечения материала от 1: 3 до 2: 1. Таким способом, число загружаемого материала (Д), является сумма сельскохозяйственных отходов (ДН), также жидкости (ДВ), которые разбавляют их [90].

В психрофильной деятельности реактор использует ежедневное число нагрузки, которое равно 10% от общего количества материала, которое загружено на биореакторную конструкцию (ОС). Общее число субстрата в конструкции не должно быть более 2/3 объема биореактора.

Подобным способом, размер биореактора (ОР) вычисляется согласно формуле:

$$\text{ОС} = 2/3\ \text{ОР, а ОР} = 1{,}5\ \text{ОС} \qquad (2.13)$$

Где, $\text{ОС} = 10\text{ЧДД} = \text{ДН} + \text{ДВ}$

Подобным способом, суточная порция загружаемого субстрата составляет примерно 650 кг. Вся в работе реактора $\text{ОС} = 10\text{Ч}0,65 = 6{,}5$ тонн, объем реактора $\text{ОР} = 1{,}5\text{Ч}6,\ 5 = 9{,}75$ или 10 м3.

Расчет суточного выхода биогаза зависимого от типа материала, кроме загрузки суточной порции описан в табл. 2.1.

Таблица 2.1 - Расчет выхода биогаза для разных типов материала

Тип сырья (Навоз)	**Вывод газа ($м^3$ на 1 кг сухого элемента)**	**Вывод газа ($м^3$ на 1 тонну при влагосодержании 85%)**
КРС	0,26-0,360	39-61,5
Свиной	0,360-0,680	61,5-88
Птичий помет	0,610-0,660	57-94
Конский	0,300-0,400	40,3-45,5
Овечий	0,400-0,720	55,5-94

Проанализируем расчеты представлены компанией «БИОКОМПЛЕКС» России.

Алгоритм расчета состоит в следующем [91, 92]:

1. Объем экскрементов КРС, который предназначен к бражению, вычисляется согласно формуле: $M_{сут} = \sum ki * mi$.

где ki – количество животных; mi –суточный объем навоза с каждого животного;

2. Содержание навозосодержащих элементов показывает: примерно 25-93% воды, 13-17% мусорного отхода, 7-11% корма, до 17% земной массы, также другие примеси.

Наличие этих компонентов оказывает большое влияние на размер высохших органических частей в субстрате, но кроме тогочисло воды определяет влагосодержание субстрата. Для установления нахождения сухих частей,ихарактеристик влагиприменяются специальные таблицы, также корректирующие факторы.

$$M_{сут \cdot общ} = K_n * m_{общ} \quad (2.14)$$

где k_n – значимость регулировочногокоэффициента (располагается в диапазоне 1,3–1,6), $m_{общ}$.

$M_{сут \cdot общ}$ – посуточный объем навоза с абсолютно всех животных;

4. Содержание высохших веществ в субстрате вычисляется согласно формуле:

$$M_{св} = M_{сут \cdot общ} * (1 - V\%100) \quad (2.15)$$

где V% - влагосодержание биомассы;

5. Содержание высохших органических веществ в составе, находится согласно нижеприведенной формуле:

$$М_{сов} = М_{св} * (R_{сов}\%: 100) \quad (2.16)$$

где $R_{сов}$ является сущностью высохших органических веществ в биомассе. $М_{св}$ является содержанием высохшего вещества в биомассе;

Достоверность приобретенных характеристик нахождения высохших органических веществ в субстрате, необходимо получить пробные партии материала, также осуществить анализы в лабораторных обстоятельствах.

5. Расчет выхода биогаза при условии абсолютного разложения субстрата:

$$Б_{тп} = М_{сов} * N \quad (2.17)$$

где N, это содержимое высохшего основного вещества в биомассе, где %, $М_{сов}$содержание высохшего органическогоэлемента в биомассе;

6. Расчет вывода биогаза при неполном брожении:

$$Б_{тн} = Б_{тп} * (F\%/100) \quad (2.18)$$

где $F\%$, является степенью бражения биомассы (в данном случае берется в спектре 60-70процентов), $Б_{тп}$ – общетеоретический вывод биогаза при условии абсолютного разложения субстрата;

7. Расчет объема биореактора при его полной загрузке, определяющейся по формуле:

$$V_{пз} = М_{сут*общ}/(Ч_{сут} * П) \quad (2.19)$$

$Ч_{сут}$ это число, посуточной загрузки биогазовой конструкции, $П$, это плотность биомассы (кг/м3), $М_{сут*общ}$, считается суточным размером биомассы, что содержит примеси;

8. Расчет числа теплоты, которая требуется с целью нагрева ежесуточно загружаещего субстрата вплоть до необходимой температуры ферментации, обусловливается согласно формуле:

$$Q_{Т} = M_{сут} * C * (t_{б} - t_{зс}) \quad (2.20)$$

где $M_{сут}$ – это ежедневный размер биомассы, который предназначен для брожения, С, является посредственной теплоемкости биомассы ($C = 4{,}18 * 10 - 3 *$ МДж/(кг * К)), $t_{б}$ – температура сбраживания, что находится в зависимости от видов бродильного процесса: для психровильных +24… +25 °С, $t_{зс}$, является температура при загружаемой биомассы, равная либо $t°$ помещения, либо $t°$ окружающей среды;

9. Расчет термической издержки биогазовой конструкции определяются по формуле:

$$Q_{у} = k * S(t_{б} - t_{0}) \quad (2.21)$$

где к – является показателем, который определяет теплопередачу с биомассы природной среды Вт/(м2*К), S – масштабы участка плоскости метантенка, $t_{б}$ – температура брожения, t_{0} – температура атмосферы;

10. Расчет нужной энергии с целью вымешивания биомассы:

$$Q_{п} = Н * М * У \quad (2.22)$$

где Н – является значимостью удельной нагрузки на смешивающую конструкцию (50 Вт/м3·ч), М – размер метантенка, Y – длительность функционирования смешивающей конструкции на протяжение суток;

11. Расчет формирования биогазового оснащения полезной энергии, МДж в суточном периоде обусловливается равенством:

$$Q_б = Б_{тн} - Q_Т - Q_у - Q_п \quad (2.23)$$

где $Б_{тн}$ – является теоретическим выводом биогаза при его недостаточном брожении, $Q_Т$ – является колличество теплоты, которая призывается для нагрева посуточно при загружаемой массы вплоть до необходимой t брожения, $Q_у$ – является тепловой утратой биогазовой установки, $Q_п$ – является требуемая энергия для вымешивания биомассы;

12. Расчет экономии условного горючего из-запроизведенного биогаза исполняется согласно формуле:

$$Э = Ф_б * 350/29{,}3 \quad (2.24)$$

где $Ф_б$ – является выработка биогазовой конструкции полезной энергии, МДж.

Это были рассчеты, полученные в России компанией «БИОКОМПЛЕКС».

Универсальный метод расчета по Мовсесову Г.Е представлен на сайте «http://www.rosbiogas.ru/on-line-calculator-3.html» нужно указать тип сырья, влажность сырья и количество тонн в сутки (табл. 2.2) [93].

Таблица 2.2 - Расчет средне-суточного объема

Исходные данные	
Название сырья	КРС
Влажность сырья, %	86
Количество тонн в сутки	10

Следуя, инструкции по интерактивному окну рассчитываем объем биореактора и газгольдера и скачиваем полученные результаты себе на ПК в pdf формате.

Этот сайт автоматически по указанным данным рассчитывает технические характеристики биореактора.

Обобщая исследованные выше работы, мы разработали программу, которая выводит результат на основе введенных параметров.

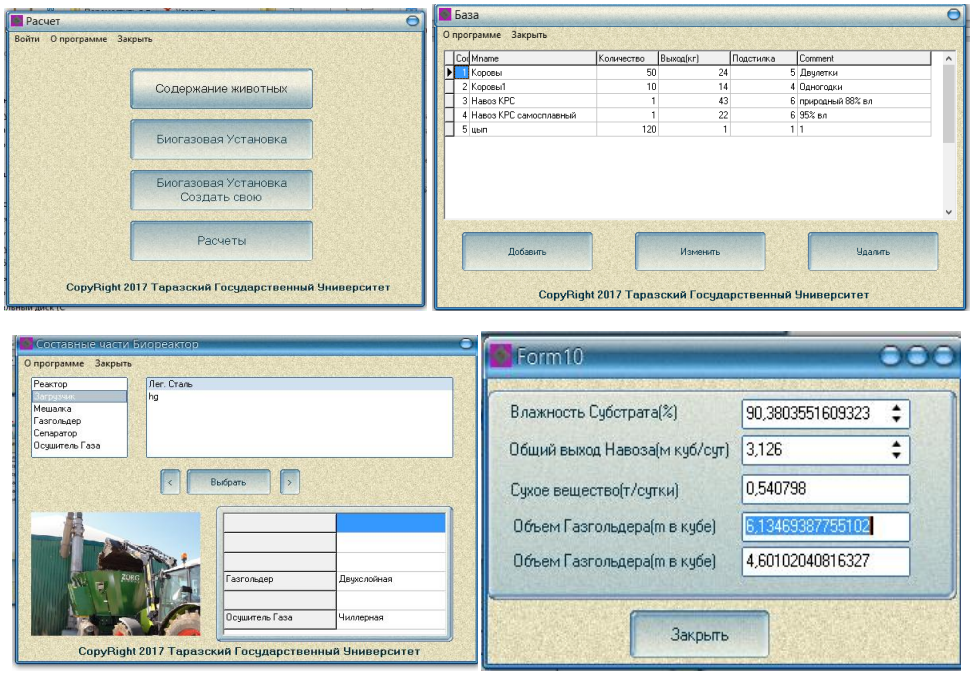


Рис 2.1. Результаты расчетов характеристик анаэробного сбраживания в биогазовых установок

Таким образом, технические вычисления оборудования для обработки экскрементов с использованием биогазовой установки обеспечивает правильный выбор, эффективное функционирование системы утилизации, позволит получить дешевый, качественный биогаз, экологически чистые органические удобрения. [94, 95]

2.5. Методика расчета режимных характеристик гидродинамического кавитационного диспергатора

Одним из важнейших этапов производства метана и биоудобрений в анаэробном сбраживании навоза крупнорогатого скота считается подготовительная деструкция субстрата с целью сбраживания в биореакторе.

Как правило, при приготовлении сырья, сначала измельчается, а затем измельченное сырье направляется в подготовительную тару. Материал в подготовительной таре перемешивается с водой. Перед выводом в биореактор сырье проходит гетероторное дробление с помощью моцератора, героторного насоса и диспергатора.

Вследствие процесса кавитации, который управляет деструкторами биомассы, обширно применяются в производстве биогаза. Специальный дизайн деструктора дает возможность использовать деструктивный результат кавитации с целью обеспечения гомогенной массы сырья. Усовершенствование качества субстрата повышает эффективность биореактора.

Математические расчеты, эксперименты и концепции в математическом описании кавитационного деспергатора основана на дифференциальных уравнениях, кторые составленны Дж. С. Стреттом (Рейли), Р. Т. Кнэппа, Дж. У. Дейли и Ф. Г. Хэммит [58, 59]. В трудах Шестакова С.Д. была разработана версия математической модели одиночного импульсного кавитационного пузыря, приемлемая для количественного компьютерного анализа из уравнений, максимально учитывающих физические аспекты [96]. Радиус пузыря, у которого был адиабатический индекс γ, и мгновенные величины давления R можно найти путем объединения систем уравнений с плотностью ρи частотой переменного давления в сжимаемой жидкости с поверхностным натяжениемσ можно найти, интегрируя систему уравнений [58]:

$$\begin{cases} \ddot{R} = \frac{H}{R}\left(\frac{C+\dot{R}}{C-\dot{R}}\right) - \frac{\dot{R}^2}{2R}\left(\frac{3C-\dot{R}}{C-\dot{R}}\right) + \frac{\dot{H}}{C} \\ P = \left(\frac{R_0}{R}\right)^{3y}\left(P - P_v + 2\frac{\sigma}{R_0} + 4\mu\frac{\dot{R}}{R}\right) \end{cases} \quad (2.25)$$

с изначальными условиями $R=R_0$, $R \dot{=} 0$,

где $C = \left(\frac{n}{p}\right)^{\frac{1}{2}}(P+B)^{\frac{n-1}{2n}}(P_h - A\sin 2\pi ft + B)^{\frac{1}{2n}}$и

$H = \frac{n}{p(n-1)} * (P_h - A\sin 2\pi ft + B)^{\frac{1}{n}}\left[(P+B)^{\frac{n-1}{n}} - (P_h - A\sin 2\pi ft + B)^{\frac{n-1}{n}}\right]$ – темп звука в жидкости у стенки пузыря, также энтальпия на этой стенке;

$\dot{H} = -3\gamma P\frac{\dot{R}}{R}[n(P+B)]^{-\frac{1}{n}}$ – производная с энтальпии согласно времени;

P_h, P_v и B, n – данное гидростатическое влияние в жидкости, частичное давлении ее паров, также характеристики уравнения ее состояния; t – безразмерный период в частях периода гармонической волны T.

Первое математическое представление процесса сжатия кавитационного пузырька приобрел Релей. Он изучал динамику вакуумного пузыря и его модель учитывает только силы инерции и не учитывает вязкость жидкости, поверхностное натяжение и давление парогазовой смеси:

$$R\ddot{R} + \frac{3}{2}\dot{R}^2 = -\frac{P_0}{p} \quad (2.26)$$

при:

$$R(t) = R_0; \qquad \dot{R}(t) = \dot{R}_0, \quad (2.27)$$

где $R(t)$ – радиус пузырька в зависимости от времени t; P_0 – непрерывное влияние в жидкости; p – насыщенность жидкости.

Сочетая уравнение, получаем закон роста скорости при падении пузыря:

$$\dot{R}^2(t) = \frac{2P_0}{3p}\left(\frac{R_0^3}{R^3} - 1\right) \tag{2.28}$$

Интегрируя уравнение (4), получаем время схлопывания пузырька τ:

$$\tau = 0.915R_0\sqrt{\frac{p}{P_0}} \tag{2.29}$$

Универсальное уравнение для динамики кавитационного пузыря с изменением давления жидкости, вязкости и костного напряжения характеризуется уравнением Райлей - Плессета [58, 97]]:

$$R\ddot{R} + \frac{3}{2}R^2 = \frac{1}{p}\left(P_g - P_0 - p(t) - \frac{2\sigma}{R} - \frac{4\mu\dot{R}}{R}\right) = 0 \tag{2.30}$$

где P_g – давление газа на пузыре; $P(t)$ – временное давление; μ - вязкость жидкости; σ – неглубокое натяжения жидкости.

Кавитационный пузырь проходит две базовые стадии – это рост и схлопывание. В большинстве случаев эти процессы происходят на разных скоростях, и эта разница является основной и приводит к многочисленным признакам кавитации. Рост кавитационного пузыря происходит всегда медленно чем его падение, чем выше давление жидкости, тем больше разница. Основанием для получения уравнения для определения горизонтальных замеров считается концепция снижения издержек устройства с учетом воздействия двухфазного потока в камере. Главные уравнения обрисовывающие рабочий процедуру в смесителе:

1) уравнение равновесия расходов:

$$\rho_{ci}V_{ci}A_i = \text{const} \tag{2.31}$$

2) равенство потока с капельным консистенции смеси между нормальными разрезами Н - Н и 2 – 2:

$$p_н + \frac{\alpha_н \rho_c V_{сн}^2}{2} = p_2 + \frac{\alpha_2 \rho_c V_{c2}^2}{2} + \zeta_{кон} + \frac{\rho_c V_{c1}^2}{2} + \zeta_{кав} + \frac{\rho_c V_{c2}^2}{2} \quad (2.32)$$

3) уравнение баланса для сечени 3–3 и К – К:

$$P_3 + \frac{\alpha_3 \rho_c V_{c3}^2}{2} = P_k + \frac{\alpha_k \rho_c V_{ck}^2}{2} + \zeta_{диф} \frac{\rho_c V_{c3}^2}{2} \quad (2.33)$$

4) уравнение числа движения для контрольных отсеков, которые ограничены участками 2 – 2 и 3 – 3, также внутренней плоскости рабочей камеры:

$$\alpha_3' \cdot \rho_{c3} \cdot Q_{c3} \cdot V_{c3} - \alpha_2' \cdot \rho_{c2} \cdot Q_{c2} \cdot V_{c2} = P_2 \cdot A_2 - P_3 \cdot A_3 - F_{тр} \quad (2.34)$$

Где $F_{тр}$ - сила трения в разрезе сечениям 2–2 и 3–3.

$$F_{тр} = \tau \cdot \Pi \cdot l_{23} \quad (2.35)$$

Исследование математических моделей демонстрирует, то что условное влияние в смесителе находится в зависимости от главного геометрического параметра, также коэффициентов условия потока смесителя. Вычисления показывают, то что условная площадь плоскости имеет экстремальные значения, где давление смесителя понижается. Так как минимум функции отвечают минимальным потерям смесителя, ограничивающие значимости относительного участка сопла считаются подходящими.

В трудах Ярмаркиной Д. А. представлено то, что при использовании

сопла в качестве кавитационной конструкции уравнения (2.31) - (2.35) должны дополняться уравнениями, которые описывают рабочий процесс внутри диспергаторе. [22]:

а) аналитическое установление количества кавитации:

$$\sigma = (P_2 - P_{min})/\left(\rho_c V_{c2}^2/2\right) \tag{2.36}$$

где P_{min} - струйный пограничный слой у среза сопла; $P_{min} = P_{н.п}$, где $P_{н.п}$ - влияние интенсивного пара жидкой присадки.

б) формула В.К. Темнова, что устанавливает взаимосвязи числа кавитации σ соотношением размера сечений струи жидкости за соплом A_0 и рабочей камерой A_3[69].

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

$$\text{если } 0 < \Omega \leq 0{,}5\sigma = 0{,}07 + 1{,}36 \cdot \Omega \cdot (1 - \Omega) \tag{2.37}$$

$$\text{если } 0{,}5 < \Omega < 1{,}0\sigma = 0{,}41 \tag{2.38}$$

Система неравенств (2.36) - (2.38) с учетом равенства площади (2.35) сечений стандартного потока $A_н = A_к$ и $A_1 = A_3$ предоставляет соответствующую формулу:

$$\frac{P_н - P_к}{P_н - P_{н.п}} = \frac{\zeta_{con} + \left(\zeta_{кон} + \zeta_{диф} + \zeta_г\right)\Omega^2 + (1 - \Omega)^2}{1 + \sigma + \zeta_{con} + \zeta_{кон} \cdot \Omega^2} \tag{2.39}$$

Эти формулы считаются основным при вычислении деятельности диспергатора с многоструйным соплом.

Процедура использования принципа непрерывной деятельности гидродинамического кавитационного агрегата связано с смешанным потоком

парогазовой, жидкой фазы.

На основе существующих у нас математических формулировок построен алгоритм для того, чтобы определить числа кавитации, блок схема представлена на рисунке 2.2.

Для вычисления гидродинамической кавитационноой конструкции были получены следующие параметры: $Q_ж$ – объемное потребление жидкости; $Q_г$– объемное потребление газа; A - область сечения потока; P_c - плотность потока смеси жидкостного раствора; P_{min} - давление сопла, $P_{min} = P_{н.п}$, где $P_{н.п}$ - давление насыщенных паров; (5) $\zeta_г$ - показатель сопротивления рабочей камеры; $\zeta_{кон}$– показатель сопротивления конфузоров; $\zeta_{диф}$ – показатель сопротивления диффузоров; ζ_{con} - показатель сопротивления сопла;ζ_p - относительная площадь сопла [12, 13, 14].

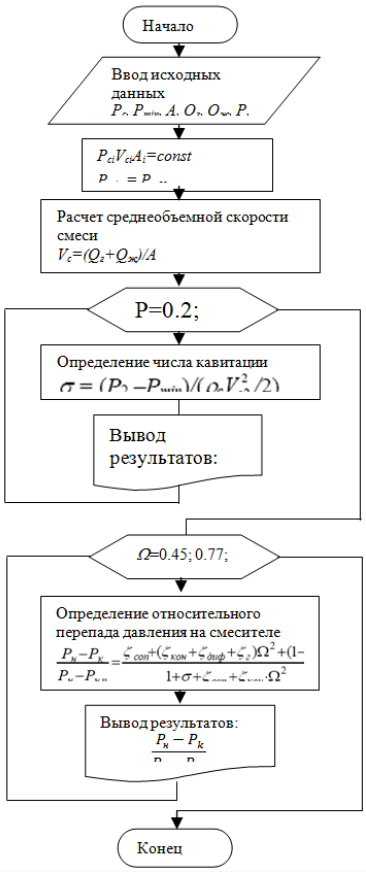


Рис. 2.2. Блок - схема алгоритм работы роторно-пульсационного устройства обработки сырья

Для вычисления алгоритма гидродинамической кавитационной конструкции в основу приняты соответствующее первоначальные сведения: $Q_ж = 1 \cdot м^3/с$; $Q_г = 1 \cdot м^3/с$; $A = 0{,}6$; $P_c = 0{,}7$; $P_{min} = 0{,}2МПа$; $\zeta_г = 0{,}008$;$\zeta_{кон} = 0{,}15$; $\zeta_{диф} = 0{,}25$; $\zeta_{con} = 0{,}10$; $Q = 1л/сQ$; P - полное давление до 0,7 МПа; $T = 10 \ldots 12^0$ диапазон температуры жидкостного раствора (табл. 2.3, 2.4)

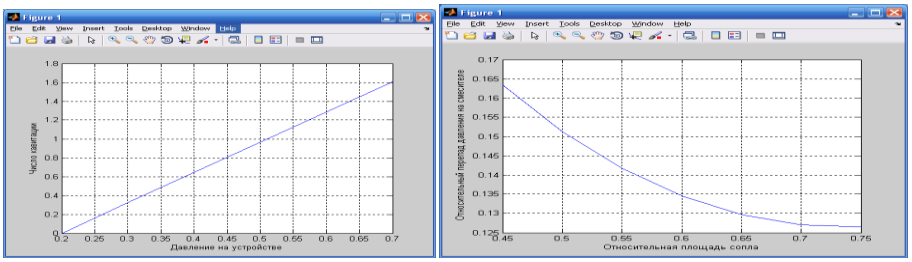
Таблица 2.3 - Итоги расчета колличества кавитации

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

Таблица 2.4 - Результаты вычисления относительного падения давленияна смесителе

относительная область сопла, Ω	0,46	0,6	0,56	0,7	0,66	0,78
относительный перепад давления на смесителе, $(P_н - P_к)/(P_н - P_{н.п})$	0,17	0,161	0,143	0,136	0,120	0,128

Согласно расчетам математической модели гидродинамического кавитационного устройства в программе MatLab получен график определения числа кавитации (рис.2.3) и снижения относительного давления в смесителе.



а) б)

Рис. 2.3. Расчеты программы MatLab:

а) - число кавитации; б) - относительный перепад давления на смесителе

Согласно анализу формулы (2.33), наименьший спектр относительного участка смесителя, соответствует относительному понижению относительного давления $(P_н - P_к)/(P_н - P_{н.п})$, а наименьшая потеря в диспергаторе составляет $0{,}45 \leq \Omega \leq 0{,}7$.

2.6. Разработка математической модели измельчения, гомогенизации субстрата и ее сбраживание в психрофильном режиме

УОС состоит из мацератора, Диспергатора и гетероторного насоса и биореактора, функциональное оаписание схемы УОС подробна приведена в главе 1 раздела 1.2.

Мацератор - измельчитель для разных видов текучего сырья, работает в проточном режиме. Мацератор предназначен для измельчения длинных волокнистых включений и одновременного отделения тяжелых примесей: камней, гаек и т.д. Мацератор защищает насосы, сепараторы и другое оборудование от засорения длинными включениями и повреждения твердыми частицами, снижает вязкость перекачиваемого продукта [15].

Диспергатор - роторно-пульсационные аппараты, применяются для тонкого измельчения и создания однородной смеси из различных по структуре жидких продуктов [16].

Гетероторный насос – это агрегат состоящий из линейного узла электродвигателя, редуктора и винтовой пары: вала-шнека и винта, при вращении которого внутри резиновой обоймы создаются замкнутые полости [17].

Емкость для смешивания представляет собой цилиндр со следующими параметрами $D = 2$, высота 1,40 м (рис. 2.4). Используя основные математические формулы, вычислим объем $V = \pi r^2 = 3{,}14 \cdot 1 \cdot 1{,}40 = 4{,}396$ м^3.

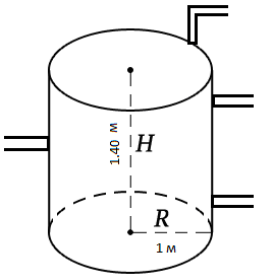


Рис.2.4. Параметры емкости для смешивания

Для изменения единицы измерения на «литр» найдем произведение результата на 1000 $V = \pi r^2 h \cdot 1000$(л). Учитывая, что во время брожения выделяется биогаз, поэтому для обеспечения пространства для него, в целях безопасности считаем, что объем рабочей поверхности $V_p = 0{,}8 * V = 0{,}8 * 4396 = 3515{,}8$л.

Расчет объема труб производится по формуле [98]:

$$V2 = \pi * R1 * R1 * L \qquad (2.41)$$

где R1 - внутренний радиус трубы;

L - длина трубы.

Используя параметры системы (рис.2.5), отображенные в соответствии с рисунком, с учетом толщины трубы 3,5 мм, имеем что внутренний диаметр трубы 53,5 мм, следовательно, ее радиус $r = 26{,}75$мм $= 0{,}027$м, длина трубы есть сумма длин ее составляющих $L = 70$см $+ 75$см $+ 60$см $= 205$см $= 2{,}05$м.

Таким образом, объем трубы равен $V2 = 3{,}14 * 0{,}00073 * 2{,}05 = 0{,}00469$м$^3 = 4{,}69$л.

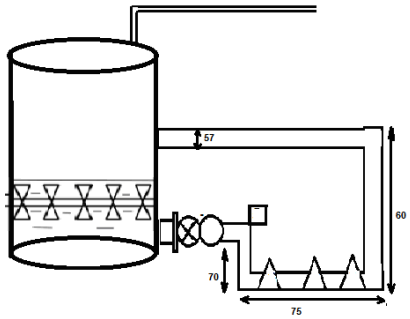


Рис.2.5. Параметры труб системы

Для расчета количество циклов, необходимых для проведения первичной обработки сырья максимально - возможного объема биомассы при 80% заполненности емкости найдем отношение $N = V_p/V2$;

$$N = \frac{3516.8л}{4,69л} = 750 \text{ раз} \tag{2.42}$$

При дальнейших расчетах будем использовать объем предполагаемой загрузки сырья 600 л, следовательно, количество циклов для первичной обработки этой биомассы $\frac{600}{4,69} = 128$ раз.

Для описания необходимых биотехнологических процессов получения биогаза используем граф древовидной структуры [99, 100, 101] (рис. 2.6).

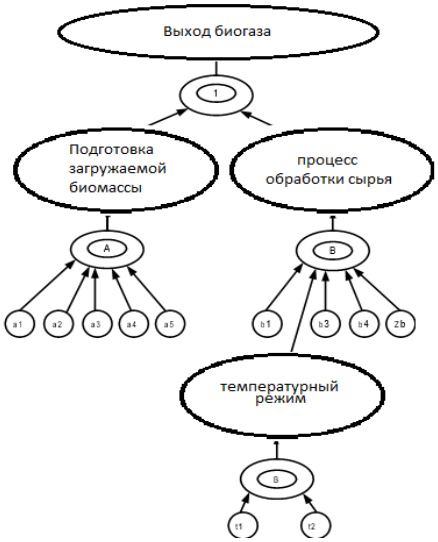


Рис.2.6. Графика биотехнологических процессов получения биогазов

Применение неясных логических уравнений, связывающих функции членства переменных технологического и входного уровней с выпуском биогаза на сырьевом и технологическом уровнях Q:

$Q = f_Q(A; B)$,

$A = f_a(a_1, a_2, a_3, a_4, a_5)$,

$B = f_b(b_1, b_2, b_3, b_4, b_5)$,

$b_2 = f(\omega_1, \omega_2)$.

где

A - «качество исходного сырья»;

B - «качество технологическогопроцесса»;

a_1 - «происхождение сырья»;

a_2 - «влажность сырья»;

a_3 - «наличие примесей»;

a_4- «вязкость сырья»;

a_5- «плотность сырья»;

a_6- «объем загрузки реактора»;

b_2- «качество температурного режима»;

b_3- «качество перемешивания»;

b_4- «время обработки сырья»;

b_5– «оптимальное измельчение»;

t1- «температурный режим»;

t2 - «стабильность температурногорежима».

При построении динамической модели процесса обработки органического сырья примем вышеуказанные допущения. С учетом них динамическая модель биотехнологического процесса обработки сырья будет иметь вид (рис.2.7):

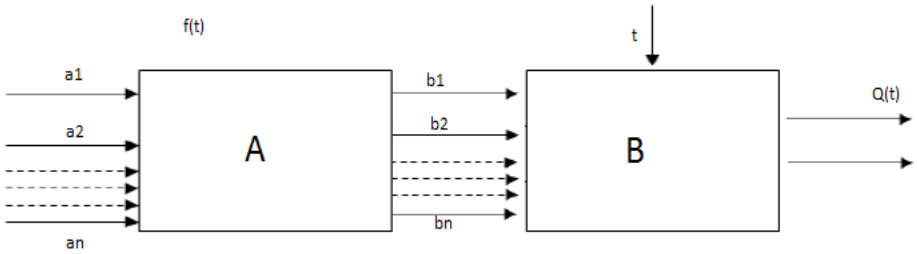


Рис.2.7. Динамическая модель процесса обработки органического сырья

Затем на основе этих дополнений можно представить математическую модель анаэробного пищеварения. [10]:

$$\left.\begin{aligned}\frac{dT}{d\tau} &= (\mu - \dot{\mu})T \\ \frac{dS}{d\tau} &= \tau j_s T - V - \overline{V} \\ \frac{dP}{d\tau} &= \tau j_p T - M + \overline{M}\end{aligned}\right\} \quad (2.43)$$

где T, S, P – концентрация субстрата, кислого навоза, метаболического продукт, кг/т; τ – длительность анаэробной переварки; μи$\dot{\mu}$ – динамика увеличения сквашенного субстрата, также биомасса обмена, сут$^{-1}$.; j_S и j_P – реалистичная динамика распада субстрата, также образование метаболического продукта, сут$^{-1}$; Vи $\overline{V}$ – темп распада субстрата, формирование метаболического продукта, кг/т сут.; M и $\overline{M}$, является скоростью массовой транспортировки субстрата, продуктов метаболизма при переходе с одной фазы в иную, кг/т сут.

Норма периода, это время (в минутах или долях минуты), которое устанавливается на выполнение определенной операции и эффективное использование в определенных организационно - технических условиях всех средств производства с учётом передового производственного опыта [102, 103].

Для вычисления выполнения одного прохода операции первичной обработки сырья рассмотрим время выполнения каждого из объектов функциональной системы [104, 105].

Мацератор имеет производительность до $5м^3$ в час, это $5 * \frac{1000}{60} = 83л/мин$ или $1{,}3л/с$. С учетом объема трубы $4{,}69л$, можно сделать вывод, что на то, чтобы переработать биомассу в размере объема трубы уйдет $t1 = V_T/P = 4{,}69/1{,}3 = 3{,}61$сек.

Гетероторный насос [3] $4м^3$ в час ($67\ л/мин$) или 1,1 л в секунду, на переработку общего объема трубы героторным насосом понадобится около $t2 = 4{,}69/1{,}1 = 4{,}26$ сек.

Диспергатор имеет производительность $10м^3$ в час или $2{,}7\ л/с$, таким образом ему понадобится $t3 = 4{,}69/2{,}7\ = 1{,}74$ сек.

Средняя производительность системы 6 $м^3$/час.

Общее время обработки одного цикла $T = t1 + t2 + t3 = 3{,}61$ сек $+$ $4{,}26$ сек $+ 3{,}61$ сек $=$ $9{,}61$ сек.(рис. 2.8).

На проведение операции первичной обработки предполагаемого объема загрузки сырья с учетом количества необходимых проходов N, понадобится $t = 128 * 9{,}61$ с $= 1230$ сек $= 21$ мин.

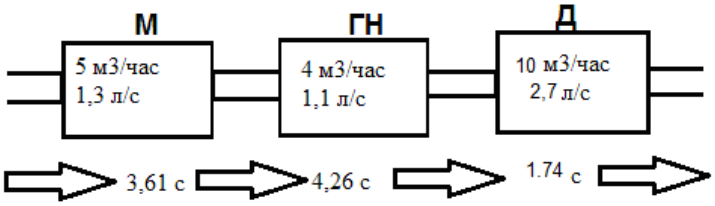


Рис.2.8. Расчет времени выполнения 1 цикла

Моделирование влияние степени измельчения на выход биогаза

На результативность работы биогазовой технологии огромное воздействие оказывает подготовительная организация первоначального субстрата. Нежели меньше размеры веществ органических компонентов изначального материала, тем более их удельная плоскость, также соответственно, сильнее совершаются процессы брожения [106, 107, 108, 109]. Степенью измельчения называется отношение диаметров кусков материала до и после дробления. Степень измельчения определяют по формулам:

$$i = \frac{D_{max}}{d_{max}} \qquad (2.44)$$

Обычно она находится в пределах 3-10:

Изучая справочник химика возьмем за основу степень измельчения мацератора $I = 3$

Кроме того приблизительную степень измельчения можно посчитать как отношение $S = B/b$, где B - ширина загрузочной щели; b - ширина выпускной щели.

Технические характеристики героторного насоса представлены в соответствии с табл.2.5.

Таблица 2.5-Технические характеристики героторного насоса.

Наименование	**Ед.изм.**	**Значение**
Производительность	л/мин	40-60
Дальность подачи по вертикали, до	м	41
Дальность подачи горизонтали, до	м	151
Диаметр сопла	мм	65
Диаметр загружного патрубка	мм	90

В соответствии с ними находим $S = 89$ мм$/64$ мм $= 1{,}39$.

Инновационная конструкция и качественное производственное оборудование (Диспрегатор УОС-10Н) позволяют установить зазор между крыльчаткой и импеллером 0,2 мм, Таким образом, возможно получение тонкой эмульсии продукта за один проход до 200 мкм.

Таким образом, рассчитаем процесс измельчения в одном цикле (рис.2.9)

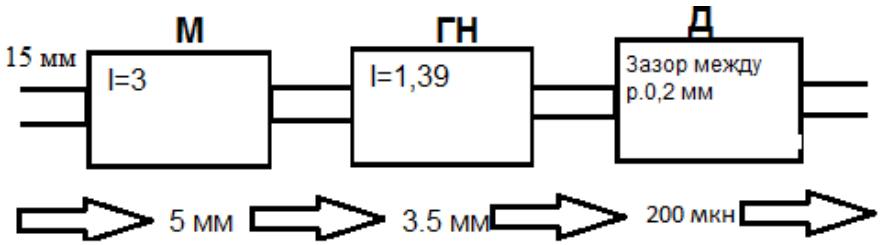


Рис.2.9. Степень измельчения за 1 цикл

Определив отношение размера биомассы на выходе к размеру биомассы на входе $i = \frac{D_{max}}{d_{max}}$, находим, что степень измельчения за один цикл равна 15мм$/200$ мкм $= 75$ р. Такое измельчение получается за счет тройной системы измельчения и в частности за счет малого зазора между импеллером и статором.

Для определения числа стадий дробления в каждой стадии принимаем среднегеометрическую степень дробления $S = \sqrt{S_{\text{общ}}}$, при этом следует учитывать, что в зависимости от размера поступающего сырья меняется производительность и следовательно время обработки сырья.

$$Q = m \cdot \omega^2 \cdot t = \frac{V \cdot \rho \cdot \alpha \cdot \pi^2 \cdot n^2 \cdot t}{900} \xi \cdot kc = \alpha \cdot n^2 \cdot t \cdot \xi \cdot k_c \cdot k_p, \text{кг/с} \quad (2.45)$$

где m - масса сырья; w- угловая скорость ротора; V – объем сырья; p – плотность сырья; α – количество окон внутренней обечайки статора; n – частота вращения ротора; t – продолжительность обработки сырья; e – коэффициент качества измельчения; k_c - концентрация; k_p - коэффициент пропорциональности (2,8).

Следовательно, на основании этих данных построим табл. 2.6.

Таблица 2.6 - Взаимосвязь между степенью измельчения и производительностью.

№ цикла	I (степень измельчения)	D (размер измельч) мкм	Q (производительность диспрегатора) м3/час
1	-	200	8,547
2	4,74	42,19	9,048
3	2,17	19,44	9,426
4	1,47	13,22	10,148
5	1,21	10,93	11,687
6	1,1	9,93	12,348

Анализируя полученные результаты можно сделать вывод, что по мере увеличения времени обработки сырья эффективность устройства при увеличении разложения фракций снижается, растет производительность

(рис.2.10). Более высокую степень измельчения, при сокращении времени обработки позволит получить увеличение частоты вращения.

Рис. 2.10. Взаимосвязь между степенью измельчения и производительностью диспергатора

Таким образом, видно, что после 6 цикла значения изменения размера исходных частиц минимальны <10 мкн, выполнение 6 цикла считаем не целесообразным (рис. 2.11).

Рис.2.11. Процесс измельчения сырья

Суммарное время выполнение $t = 5 * 21 = 105$ мин $= 1$ час 45 мин.

Значимым аспектом оценки производительности биогазовых конструкций считается число приобретенного биогаза. Вывод метана оценивается согласно этому признаку, сопоставляемому с природным газом,

углем, топливом, также электрическим топливным эквивалентом. Методы оценки доходности объема биогаза и взглядов авторов теории разнообразны. Таким образом,вывод биогаза V,м3, обусловливается зависимостью:

$$V = \frac{Q_{\text{сут}} \cdot L}{100 \cdot \text{к} \cdot \gamma} \tag{2.46}$$

где $Q_{\text{сут}}$– масса высохшего элемента дневной дозы загрузки, т; L– распад органического элемента, %; к – показатель растворимости (к = 1,1); γ – удельнаямасса генерируемого газа, т/м3.

Выше приведённое уравнение показывает влияние распада органического вещества или измельчения на конечный выход биогаза, таким образом, между ними существует прямо пропорциональная зависимость.

Взаимозависимость от процентного нахожденияметана с целью загруженного СОВ 1 кг, считается нелинейной. Это связано с тем, что:

$$\text{Д}_{\text{СОВ}} = \frac{\text{Д}(100 - \text{В}) \cdot (100 - 3)}{1000} \tag{2.47}$$

где $\text{Д}_{\text{СОВ}}$ – порция высохшего органического элемента, кг; Д – порция загрузки сырья, кг;

В – влага прибывающая в биореактор массы, %;

З – зольность прибывающая в биореактор массы, %:

учитывать часть сухого элемента (СВ) загружаемом материале [27,110]:

$$\text{m}_{\text{св}} = \text{m}_{\text{сут.эк}} \cdot \left(1 - \frac{\text{W}_{\text{эк}}\%}{100}\right), \text{кг} \tag{2.48}$$

Глубина разложения органического вещества (ОВ) субстрата характеризуется степенью распада α. Ее величина показывает количество органического вещества, которое преобразовано в биогаз, и определяет эффективность процесса анаэробной очистки отходов КРС.

Степень распада ОВ можно определить по формуле:

$$\alpha = \frac{100^3 \cdot \rho_г \cdot V_{сут}}{\rho_н \cdot d \cdot (100 - W) \cdot (100 - A_c)} \quad (2.49)$$

$\rho_г$ – плотность биогаза, кг/м³; $V_{сут}$ – удельный выход биогаза с единицы объема метантенка, м³/м³; A_c – зольность навоза, %; W – влажность навоза, %; d - суточная доза загрузки метантенка; $\rho_н$ - Коэффициент расширения навоза:

$$\beta = \frac{V_и^Б}{V_и^{о.с}} \quad (2.50)$$

где $V_и^Б$ – объем навоза при температуре брожения, м³; $V_и^{о.с}$ – объем навоза при температуре окружающей среды, м³;

Степень распада ОВ зависит от следующих факторов: температуры сбраживаемой массы; состава микрофлоры; pH и буферных свойств питательной среды; концентрации ингибиторов; зольности субстрата; влажности субстрата; плотности субстрата; периода сбраживания и т. д. [18].

Результаты экспериментальных исследований приведены на рис. 2.12.

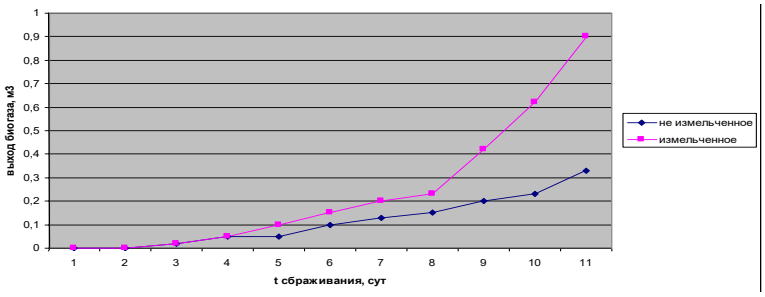


Рис.2.12. Выход биогаза из субстрата (с измельченным и с неизмельченным веществом)

Из графика на рисунке 10 можно видеть значительный эффект от измельчения сухого вещества исходного навоза (увеличение выхода биогаза в 2,6 раза). По формуле определения степени распада были определены коэффициенты распада органического вещества, которые прямо пропорциональны выходу биогаза. При расчетах была учтена плотность измельченного ($\rho_{изм} = 1001\, кг/м^3$) и неизмельченного ($\rho_{неизм} = 1020\, кг/м^3$) субстрата.

2.7. Математическое моделирование биотехнологическог процесса обработки исбраживания субстрата с использованием программы Mathcad

Решение любой производственной или научной проблемы с точки зрения информатики характеризуется следующими технологическими цепями: "конкретный объект – модель - алгоритм – программа – результат - конкретный объект". В этой цепочке связь «модели " играет очень важную роль, так как это необходимый, обязательный этап решения проблемы. В этом случае под моделью понимается психическое изображение конкретного объекта (системы), отражающее важнейшие свойства объекта и замещающее его в процессе решения проблемы.

Модель - это очень широкое понятие, включающее множество способов отображения исследуемой действительности. Различают материальные (полномасштабные) и идеальные (абстрактные) модели. Материальные модели основаны на какой-либо цели (любые тела или процессы), независимо от сознания человека) [18, 111, 112].

Для определения математической модели процесса биотехнологического процесса обработки сырья при известных теоретических или экспериментальных параметрах широкое применение получили численные

методы. Численные методы являются одним из мощных математических средств решения задачи. Для нахождения функции используется метод, получивший название «аппроксимация».

Приближение (лат.от proxima - самая близкая) или сближение - это научный метод, состоящий из замены некоторых объектов другими, близкого к оригиналу в определенном смысле, но простого.

Приближение позволяет исследовать количественные характеристики и качественные свойства объекта, уменьшая эту проблему до изучения простых или удобных объектов (например, характеристики легко рассчитываются или свойства известны). В теории чисел изучаются приближения диофантина, в частности, приближение иррациональных чисел с помощью рационалистических чисел. В геометрии приближение кривых линий считается нарушенным. Некоторые разделы математики в основном предназначены для полного приближения, например, теории приближения функций, численные методы анализа.

Итак, зная значения теоретических параметров искомой функции (табл.2.7), используя инструменты аппроксимации проведем анализ. Первым делом составим таблицу вспомогательных величин (см.табл. 2.7):

Таблица 2.7 - Вспомогательные величины

i	xi	Yi	1/xi	1/x2i	yi/xi
1	1	200	1	1	200
2	2	42.19	0.5	0.25	21.095
3	3	19.44	0.33333333	0.11111111	6.48
4	4	13.22	0.25	0.0625	3.305
5	5	10.93	0.2	0.04	2.186
6	6	9.93	0.16666667	0.02777778	1.655
∑∑	21	295.71	2.45	1.49138889	234.721

Вычислим коэффициенты a и b для уравнения гиперболической регрессии $\hat{y} = \alpha + \frac{b}{x}$ по известным формулам:

$$b = \frac{n\sum\frac{y_i}{x_i} - \sum\frac{1}{x_i}\sum y_i}{n\sum\frac{1}{x_i^2} - \left(\sum\frac{1}{x_i}\right)^2} = \frac{6 \cdot 234{,}721 - 2{,}45 \cdot 295{,}71}{6 \cdot 1{,}49138889 - 2{,}45^2} \approx 232.1369 \tag{2.51}$$

$$a = \frac{1}{n}\sum y_i - \frac{b}{n}\sum\frac{1}{x_i} = \frac{1}{6} \cdot 295{,}71 - \frac{232{,}1369}{6} \cdot 2{,}45 \approx -45{,}5042 \tag{2.52}$$

Итак, искомое уравнение регрессии имеет вид:

$$\hat{y} = -45{,}5042 + \frac{232{,}1369}{x} \tag{2.53}$$

x – это количество проходов, а -размер частиц измельченной смеси после x - го прохода

Проведем анализ графика уравнения регрессии с помощью программы Mathcad (рис. 2.13).

$$x := \begin{pmatrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \\ 5 \\ 6 \end{pmatrix}. \quad f(x) := -45{,}5042 + \frac{232{,}1369}{x}. \qquad [(x > 0)\text{and}(y > 0)].$$

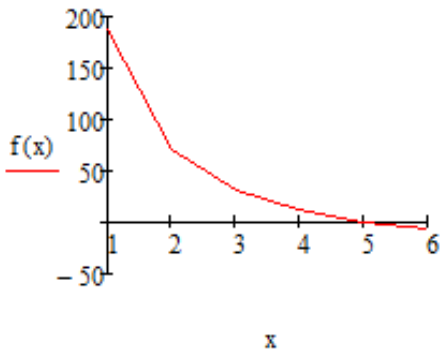


Рис.2.13. График уравнения регрессии

Индекс корреляции:

$$R = \sqrt{1 - \frac{\sum(y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum(y_i - \bar{y}_i)^2}} = \sqrt{1 - \frac{15{,}194042}{27976{,}6806}} \approx 0{,}9725 \qquad (2.54)$$

Индекс детерминации: $R^2 = 0{,}9725^2 \approx 0{,}9457$.

Средняя ошибка аппроксимации:

$$\bar{A} = \frac{1}{n}\sum\left|\frac{y_i - \hat{y}_i}{y_i}\right| \cdot 100\% = \frac{4{,}033}{6} \cdot 100\% \approx 67{,}2172\% \qquad (2.55)$$

Анализируя график, можно сделать вывод, что функция $\hat{y} = -45{,}5042 + \frac{232{,}1369}{x}$ описывает процесс измельчения лишь до $x <= 4$ или до измельчения в 14 мкн. При большом измельчении ошибка аппроксимации возрастает, и данные становятся некорректными.

Для нахождения функции описывающей процесс измельчения примерно после 14 мкн, воспользуемся функцией «Линия тренда» в Excell (рис. 2.14).

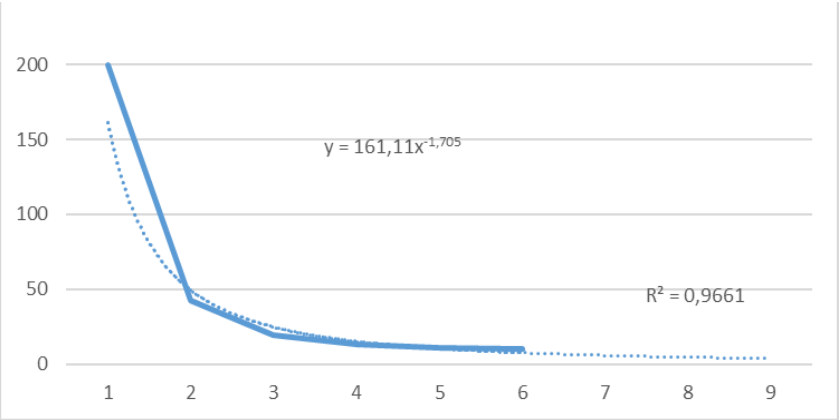


Рис. 2.14. Функция «Линия тренда»

При этом, средняя ошибка аппроксимации, 17.89 %, что говорит о хорошей «подгонке» полученной функции к исследуемым параметрам. Смоделируем данную функцию в Mathcad (рис.2.15).

$$f(x) := 161{,}11 \cdot x^{-1{,}705}$$

$$x := \begin{pmatrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \\ 5 \\ 6 \end{pmatrix}$$

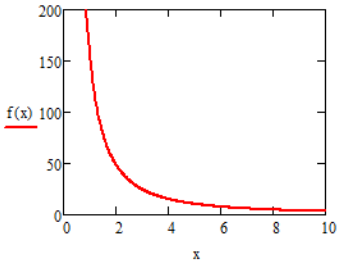


Рис. 2.15. Реализация степенной функции в Mathcad

Таким образом, процесс обработки органического сырья (измельчения) можно описать системой уравнения.

$$\begin{cases} f(x) = -45{,}5042 + \dfrac{232{,}1369}{x}, \\ f(x) = 161{,}11x^{-1{,}705} \end{cases} \tag{2.56}$$

Найдем точку пересечения графиков, для определения условий системы (рис.2.16)

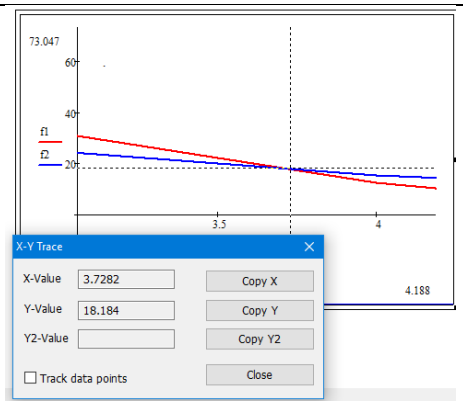
$x := \begin{pmatrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \\ 5 \\ 6 \end{pmatrix}$	$f1 := -45{,}5042 + \dfrac{232{,}1369}{x}$	$f2 := 161{,}11 \cdot x^{-1{,}705}$	

Рис. 2.16. Определения ограничений системы

Таким образом, система уравнений примет следующие ограничения

$$\begin{cases} f(x) = -45{,}5042 + \dfrac{232{,}1369}{x}, x < 4(f(x) >= 18) \\ f(x) = 161{,}11x^{-1{,}705}, x > 3(f(x) < 18) \end{cases} \quad (2.57)$$

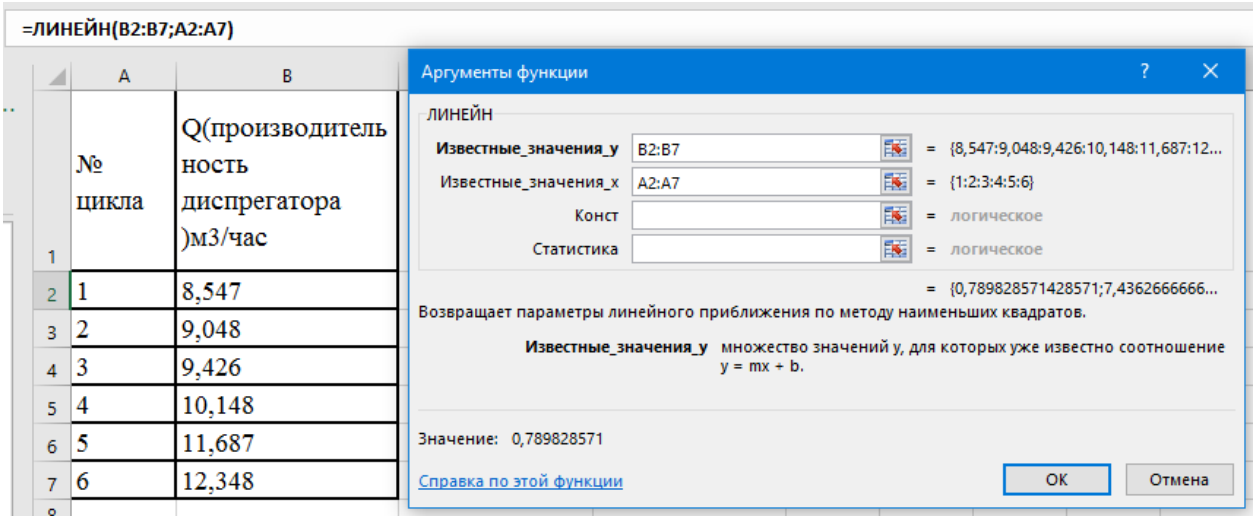
Найдем зависимость между числом выполненных проходов и производительностью диспергатора. Т.к., взаимосвязь параметров (табл.2.7) напоминает линейное уравнение, то воспользуемся инструментом линейного регрессионного анализа Excell функцией «ЛИНЕЙН» (рис. 2.17).

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

Для отображения общего уравнения процесса обработки сырья через предпочтительные параметры (время обработки и загружаемый объем), выведем формулу времени обработки, итак количество циклов необходимых выпилнить в одном проходе определяется как:

$$N = V_{об}/V_{тр} \quad (2.58)$$

где $V_{об}$ - объем загружаемого сырья (л), параметр $V_{тр}$ – общий объем труб системы $(V_{тр} = 4{,}69)$.



	A	B
1	№ цикла	Q(производительность диспрегатора)м3/час
2	1	8,547
3	2	9,048
4	3	9,426
5	4	10,148
6	5	11,687
7	6	12,348

Рис.2.17. Линейная регрессия

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

Таким образом, обшее время выполнения процесса обработки сырья можно представить в виде:

$$T_{об} = V_{об} / V_{тр} * T_ц * x \tag{2.59}$$

$$X = (T_{об} * V_{тр}) / (V_{об} * T_ц) \tag{2.60}$$

Используя статичные параметры системы имеем:

$$T_{об} = V * 9.61/4.69 * x = 2.049 * V * x \tag{2.61}$$

$$X = T_{об}/(2.049 * V) = 0.49\, T_{об}/V_{об} \tag{2.62}$$

Подставим полученное значение X в систему уравнений, общий вид:

$$\begin{cases} f(x) = -45{,}5042 + \dfrac{232{,}1369 * V_{об} * T_ц}{V_{тр} * T_{об}}, x \le 4 (x \ge 18 мкн) \\ f(x) = 161{,}11 \left(\dfrac{V_{тр} * T_{об}}{V_{об} * T_ц}\right)^{-1{,}705}, x \le 4 (x < 18 мкн) \end{cases} \tag{2.63}$$

Для заданной системы:

$$\begin{cases} f(x) = -45{,}5042 + \dfrac{232{,}1369 * V}{0{,}49 * T_{об}}, x \le 4 (x \ge 18 мкн) \\ f(x) = 161{,}11 \left(\dfrac{2{,}04 * V_{об}}{T_{об}}\right)^{-1{,}705}, x > 4 (x < 18 мкн) \end{cases}$$

упростив получим

$$\begin{cases} f(x) = -45{,}5042 + 475 \dfrac{V}{T_{об}}, x \le 4 (x \ge 18 мкн) \\ f(x) = 543 \left(\dfrac{V_{об}}{T_{об}}\right)^{1{,}705}, x > 4 (x < 18 мкн) \end{cases} \tag{2.64}$$

Таким образом, имеем, что время необходимое на измельчение заданной величины (мкн), можно вычислить по функции в общем виде $T_{об} = \frac{233,1369*V_{об}*T_ц}{L+45,5042}$, для заданной системы обработки органического сырья $T_{об} = \frac{475*V}{L+45,5042}$, где V – объем загружаемого сырья (л), L-желаемый размер на выходе (мкн), $T_{об}$ - необходимое время выполенния процесса (сек).

При более тонком измельчении следует использовать вторую функцию системы, в общем виде функция нахождения времени обработки будет выглядеть:

$$T_{об} = \left(\frac{161,11 * V_{об}{}^{1,705} * T_ц{}^{1,705}}{L * V_{тр}{}^{1,705}}\right)^{0,59} \quad (2.65)$$

где $V_{об}$ – объем загружаемого сырья (л); $Tц$ - общее время выполнения одного цикла ($Tц = 9,61$); L - желаемый размер на выходе (мкн); $V_{тр}$ - объем трубы системы; $T_{об}$ - необходимое время выполенния процесса (сек).

Подставив значения параметров получим:

$$T_{об} = \left(\frac{543,67 * V_{об}{}^{1,705}}{L}\right)^{0,59} \quad (2.66)$$

Таким образом, система уравнений для нахождения времени обработки в общем виде можно представить как:

$$\begin{cases} T_{об} = \dfrac{233,1369 * V_{об} * T_ц}{L + 45,5042}, x \leq 4 (x \geq 18мкн) \\ T_{об} = \left(\dfrac{161,11 * V_{об}{}^{1,705} * T_ц{}^{1,705}}{L * V_{тр}{}^{1,705}}\right)^{0,59}, x > 4 (x < 18мкн) \end{cases} \quad (2.67)$$

для исследуемой системы обработки как:

$$\begin{cases} T_{об} = \dfrac{475 * V}{L + 45{,}5042}, x \leq 4 (x \geq 18мкн) \\ T_{об} = \left(\dfrac{543{,}67 * {V_{об}}^{1{,}705}}{L}\right)^{0{,}59}, x > 4 (x < 18мкн) \end{cases} \quad (2.68)$$

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 $x = (Q - 7{,}436)/0{,}79$.

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

$$\frac{232{,}1369 * V_{об} * T_{ц}}{Vmm * T_{об}} = \frac{183{,}39}{(Q*1000/3600)-7{,}436}, \text{ или}$$

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

$$437{,}7V * \big((Q * 1000/3600) - 7{,}436\big) - 183{,}39T_{об} = 0 \quad (2.69)$$

Таким образом, видна обратно пропорциональная зависимость между производительностью и размерами измельчения.

Построим полученную систему уравнений в Mathcad (рис. 2.18).

$x := \begin{pmatrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \\ 5 \\ 6 \end{pmatrix}$	f1 $:= -45{,}5042 + \dfrac{232{,}1369}{x}$	f2 $:= 161{,}11 \cdot x^{-1{,}705}$	Q: $= 0{,}79 \cdot x + 7{,}436$

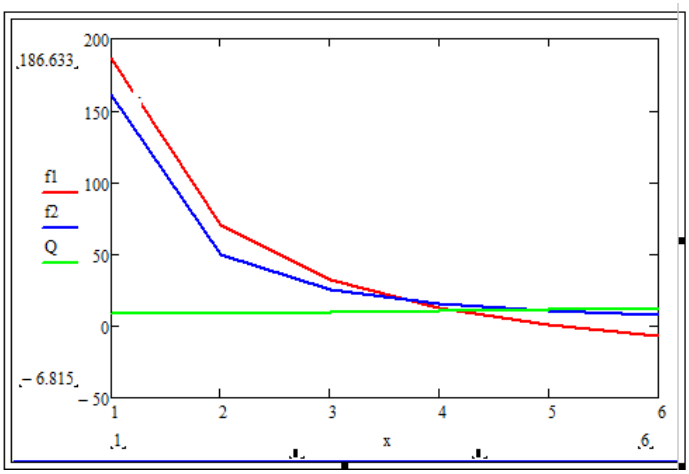


Рис.2.18. Система уравнений ОС

Таким образом, предложена математическая модель, позволяющая решать задачимодернизации процесса подготовки органического сырья в биогазовых установок. Использование этого образца позволяет определить оптимальный дизайн и параметры использования сырья. Изученные процессы моделированы в среде Mathcad.

2.8 Математическое моделирование нагрева субстрата в температурном интервале при измельчении и сбраживании с использованием программы COMSOL

Емкость для смешивания органического сырья представляет собой цилиндрический железный резервуар. Для нагревания биомассы до температуры 25°C, что соответствует психофильному температурному режиму будет использован трубчатый обогреватель, работающий первоначально на природном газе, с последующем переключением на биогаз. Материалы трубок-стеклопластик.

Стеклопластик коррозионно - стойчивый материал с низкой теплопроводностью, что позволяет не допустить зон перегрева реактора, исключить накипание субстрата и гибель метаногенных бактерий.

Процесс биометана очень чувствителен к изменению температуры. Этот уровень чувствительности, в свою очередь, зависит от температурного круга, в

котором производится переработка сырья. В процессе брожения температура изменяется следующим образом: Психофильный температурный режим: Y 2°C в час; Мезофильный температурный режим: Y 1°C в час; Термофильный температурный режим: Y 0,5°C в час.

Для подобного режима теплопроизводительностьк примеру должна составлять $22{,}9\,\frac{\mathrm{W}}{\mathrm{m^3kb}}$, j 2,29 кВт/100 м^3 [118].

Измерение температуры в бродильной камере и система циркуляции отопления.

С помощью теплосчетчика можно точно измерить энергию, выделяемую для отопления [119]. Расчет теплопередачи.

Для нахождения количества теплоты разделим конструкцию на структурные части (рис.2.20, 2.21).

a) Дно, b) Стержень, c) Нагревательные элементы

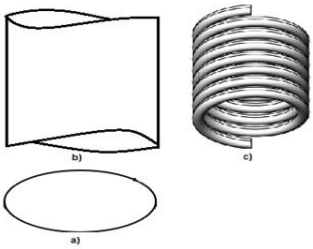


Рис.2.20.Структурные части емкости для смешивания органического сырья

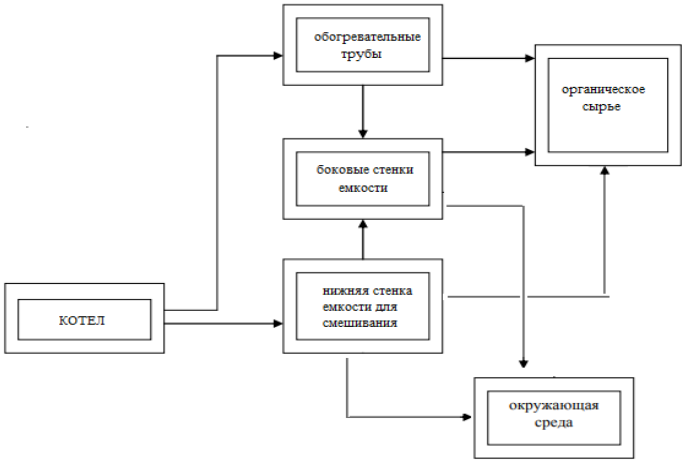


Рис. 2.21.Структурная схема передачи тепла в емкости для смешивания органического сырья от котла к тепловоспринимающим поверхностям

При определении количества тепла, необходимого для обеспечения процессов брожения, необходимо учитывать, что эти затраты состоят из затрат на нагрев субстрата до температуры брожения и потери [20, 21].

По этой причине нужен выбор, также расчет подходящей толщины изоляции с целью эффективной деятельности напротяжении всего года, что даст возможность повысить коэффициент полезного действия метантенка [120].

Для нагревания боковых сторон цилиндра, представляющих собой стержень, воспользуемся формулой [121].

$$\Delta Q = \Delta Q|_{x=x_0+\Delta x} - \Delta Q|_{x=x_0} = k \cdot S \cdot \left.\frac{\partial^2 u}{\partial x^2}\right|_{x=x_0} \cdot \Delta x \cdot \Delta t \tag{2.80}$$

Количество теплоты требуемое для нагревания емкости находим как сумму структурных элементов:

$$Q1 = m * c * (T2 - T1) + \Delta Q = \Delta Q|_{x=x_0+\Delta x} - \Delta Q|_{x=x_0} = \tag{2.81}$$
$$= k \cdot S \cdot \left.\frac{\partial^2 u}{\partial x^2}\right|_{x=x_0} \cdot \Delta x \cdot \Delta t$$

Математическая модель осматриваемой задачи вводится из уравнений механики всей среды [44, 45] и имеет соответствующие типы.

Уравнение для теплопередачи в круглой трубе, обернутой вокруг резервуара:

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} + u_{v\varphi}\frac{\partial \theta}{\partial \varphi} = \frac{a_v}{dv_{\varphi 0}}\left(\frac{1}{y}\frac{\partial}{dy}y\frac{\partial \theta}{dy} + \frac{1}{y^2}\frac{\partial^2 \theta}{\partial \varphi^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2}\right), \text{где } a_v = \frac{\lambda_v}{\rho_v \cdot C_{pv}} \tag{2.82}$$

Температуропроводность греющего теплоносителя; ρ_v,CP_v, λ_v– теплоемкость, плотность, также коэффициент теплопроводности греющего

теплоносителя; $u_{v\varphi} = \frac{V_{v\varphi}}{V_{v\varphi_0}}$ безразмерная скорость движения жидкостного раствора в разогревательных трубах; темп жидкости в нагревательных трубах параболической природы с целью жидкостно-ламинарных режимов направления;

$$u_{v\varphi_0} = \frac{8 \cdot Q}{\pi \cdot d^2 \cdot v_0} \tag{2.83}$$

$$v_{v\varphi} = \frac{2Q}{\pi \left(\frac{d}{2}\right)^4 \cdot v_0} \left(\left(\frac{d}{2}\right)^2 - d^2 (x - x_c)^2 - d^2 \left(y - \frac{R}{d} - \frac{1}{2} \right)^2 \right) \tag{2.84}$$

где $R,$это радиус резервуара; x_c – отвесная безразмерная координата середины окружностей согревающих трубопроводов, что в случаеместоположения греющих труб по окружностям не зависит от координаты φ, и также вычисляется для той трубы согласно формуле:

$$(x_c)_j = x_0 + \frac{2S}{d} j \tag{2.85}$$

где S - дистанция между центрами согревающих трубопроводов, но в случае спирально навитых труб находится в его зависимости от координаты φ и вычисляется по формуле:

$$x_c = x_0 + \frac{2S}{d} \frac{\varphi}{2\pi} \tag{2.86}$$

где S - дистанция между центрами согревающих труб при изменении угла φ на величину 2π, x_0 - вертикальная безразмерная координата центра окружности более низко расположенной подогревающей трубы.

Формула вычисления времени нагрева жидкости

$$\boldsymbol{t = (m * c * \Delta\vartheta)/(P * \eta)} \quad (2.87)$$

t - время подогрева в часах; $c = 1{,}163\ (Ватт/час)/(кг * К)$; m - число воды в кг; P - силав Вт; η – коэффициент полезного действия; $\Delta\vartheta$ - разность температур в$К\ (\vartheta 1 - \vartheta 2)$; ϑ_1 - температура холодной воды в °С; ϑ_2 - температура горячей воды в °С;

Формула вычисления количества, также температуры смешанной воды:

$$m_{смеш} = (m_2 * (\vartheta_2 - \vartheta_1))/(\vartheta_{смеш} - \vartheta_1) \quad (2.88)$$

$$\vartheta_{смеш} = (m_1 \cdot \vartheta_1 + m_2 \cdot \vartheta_2)/(m_1 + m_2) \quad (2.89)$$

$m_{смеш}$ - число смешанной воды в кг; m_2 - число горячей воды в кг; $\vartheta_{смеш}$ - температура перемешанной воды в °С; ϑ_1 - температура холодной воды в °С;

m_1 - число холодной воды в кг; ϑ_2 - температура горячей воды в °С.

С учетом того, что в час можно повышать температуру только на 2 градуса деламе вывод, что чтобы нагреть субстрат от 15 до 25 гр, уйдет минимум 5 часов, следовательно

$$t = (m \cdot c \cdot \Delta\vartheta)/(P \cdot \eta) \quad (2.90)$$

Из формулы находим необходимую мощность оборудования.

$$P = (mc\Delta\vartheta)/(t * \eta) = (600 * 4.6 * 10)/5 * 100 = 46\ Вт \quad (2.91)$$

Кроме того определяются расходы энергии на смешивании биомассы. На основе экспериментальныхопытных данных расходы энергии на смешивание и механическими мешалками можно принять равными 30…60 Вт/м3 при режиме 4 ч работы и 7 ч паузы. Общие расходы энергии на поддержание процесса в сутки:

$$Q_{общ} = Q_{под} + Q_{пот} \cdot 24 + Q_{мех} t_{раб}, МДж/сут \quad (2.92)$$

$$Q_{общ} = m * c * (T2 - T1) + \mathrm{k} \cdot \mathrm{S} \cdot \left.\frac{\partial^2 \mathrm{u}}{\partial \mathrm{x}^2}\right|_{\mathrm{x}=\mathrm{x}_0} \cdot \Delta \mathrm{x} \cdot \Delta \mathrm{t} \quad (2.93)$$

$$+G_c c_c\left(t_{пр} - t\right) + 24 \cdot kF\left(t_{ср} - t_0\right) + 30 \cdot t$$

где $t_{раб}$ – время работы механической мешалки в сутки.

Виды терморегуляторов.

Для классификации приборов используются различные параметры.

Основной принцип работы терморегуляторов на самом деле очень простой. Он всего лишь сравнивает фактическую температуру (которую измеряет термодатчик) с заданной, и принимает решение о подаче или прекращения питания климатической системы.

Функциональная схема процесса нагрева субстрата (рис. 2.2.).

Принцип работы терморегулятора можно представить следующей блок схемой:

Пусть

t_1 - в нижней части емкости (данные с датчика); t_2 - в верхней части емкости (данные с датчика);

$$\vartheta_{смеш} = (m_1 * \vartheta_1 + m_2 * \vartheta_2)/(m_1 + m_2) \quad (2.94)$$

$m_{смеш}$ – число смешанной воды в кг; m_2 - число горячей воды в кг; $\vartheta_{смеш}$ - температура смешанной воды в °С; ϑ_1 - температура холодной воды в °С; m_1 - число холодной воды в кг; ϑ_2 - температура горячей воды в °С.

Представим что $m_1 = m_2$, тогда $\vartheta_{смеш} = (\vartheta_1 + \vartheta_2)/2$

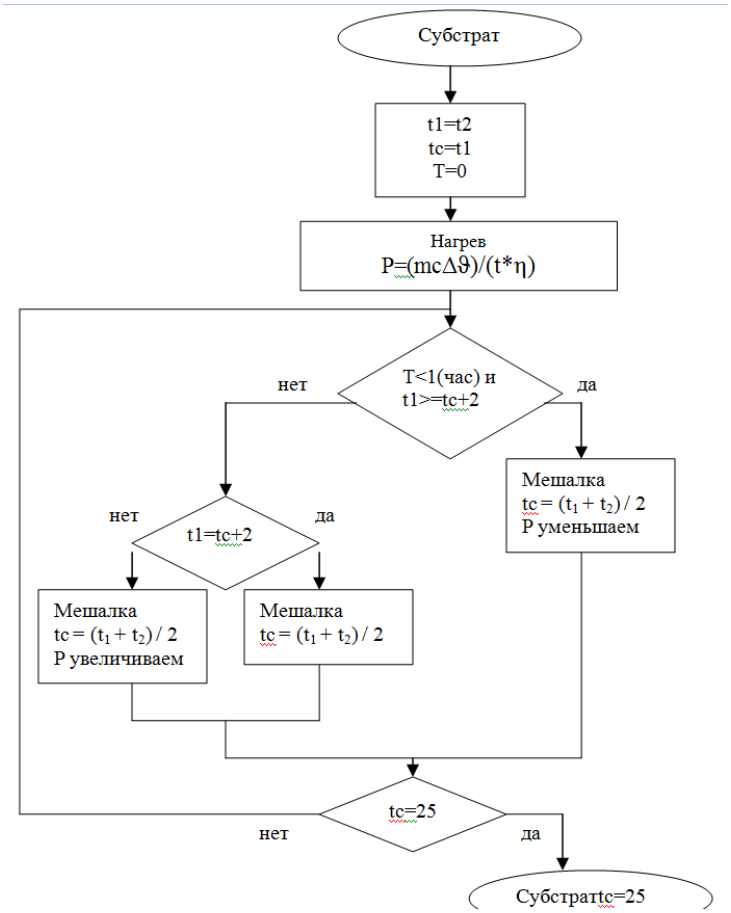


Рис. 2.22. Функциональная схема процесса нагрева субстрата

ВЫВОДЫ К ГЛАВЕ 2

Исследования показали, что состав и содержание биогаза никак не считаются постоянными, и зависят от вида обрабатываемого субстрата и технологии производства биогаза. Для стабилизации содержания полученного биогаза и доставки его к качественному, независимому альтернативному источнику энергии можно использовать путем разрушения мембраны или измельчения органического сырья. От первичной обработки зависят энергозатраты, время брожения и концентрация метана в конечном выходе биогаза. Нечеткие логические и динамические уравнения помогают определить входные и выходные переменные на сырьевом и технологическом уровне процесса получения биогаза. Время выполнения циклов одного прохода зависит от функциональных элементов системы и их производительности.

Увеличение степени распада пропорционально увеличению активной поверхности органического вещества, участвующего в процессе метанообразования, и имеет существенно нелинейный характер, что позволяет использовать этот эффект для интенсификации газовыделения в биогазовых технологиях. Было определено, что оптимальной влажностью органического сырья для его обработки в биогазовых установках является 92%. Разработана математическая модель процесса кавитационного диспергирования, которая включает уравнения и соотношения, а также коэффициенты, определенные в процессе экспериментальных исследований исходных данных. Установлен минимальный диапазон относительной площади кавитационного смесителя, который отвечает условному снижению условного давления$(P_н - P_к)/(P_н - P_{н.п})$, а минимальная потеря в диспергаторе составляет $0{,}45 \leq \Omega \leq 0{,}7$.

Использование кавитационных деструкторов позволяет значительно сократить время предварительной обработки сырья, за счет эффекта деструкции мембраны частиц сырья увеличивается скорость переработки сырья в реакторе на 30-60%, а производство биогаза увеличивается на 10-30% в зависимости от вида сырья. Разработанная УОС позволяет работать с волокнистыми типами сырья (солома, сено, костра и т.д.), снижать вязкость сырья, затрат энергии на

перемешивание в реакторе, износ мешалки и повысить общую стабильность сбраживания сырья [12].

Таким образом, при использовании кавитационого деструктора считаем целесообразным при выполнении обработки сырья выполнить 2 цикла. При этом разброс частиц будет от 50 мкм до 1 мм, но полезная площадь для воздействия увеличится за счет влияние ультразвуковых частот на структуру мембранных клеток. Суммарное время выполнение $t = 2 * 21 = 42$ *мин*.

Все эти факторы способствуют повышению энергоэффективности, и уменьшению износа оборудования.

3. РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ И УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ КАВИТАЦИОННОЙ ДЕСТРУКЦИИ И ПСИХРОФИЛЬНОГО РЕЖИМА СБРАЖИВАНИЯ СУБСТРАТА В БИОРЕАКТОРЕ

В биогазовой технологии однородность субстрата, загружаемого в биореактор, является одним из важнейших факторов обеспечения процесса анаэробного сбраживания, так как этим обеспечивается одинаковая нагрузка на биоценоз анаэробных бактерий во всем объеме биореакторе, так как чередование жидких и твердых веществ в составе субстрата заставляют бактерии приспосабливаться к меняющимся условиям, что сокращает выход биогаза. Однородность состава, а так же максимальная поверхность контакта бактерий и разлагаемого субстрата обеспечивается процессом кавитации в приемной емкости, а так же в биореакторе анаэробного сбраживания [122, 123].

Конструкция деструктора кавитатора позволяет использовать разрушительный эффект кавитации для придания навозу смешанной с водой в однородную смесь далее называемую - субстрат. Кавитационная обработка сырья разрывает в сырье сложные связи волокон присутствующих частиц на лингин и целлюлозу. Вследствие, чего дисперсность субстрата вразы увеличивается, что позволяет уменьшить частицы до размеров 0,1 - 8 мкм. Таким образом, штаммы бактерий быстрее разлагают субстрат, т.к. за счет увеличения площади покрытия частиц бактериями.

Для бесперебойной работы устройства переработки отходов животных и биореактора биогаза (метана), произведенного в психрофильном режиме, необходима автоматика, контролирующая все параметры и сохраняющая установленную температуру и интенсивность анаэробного процесса пищеварения.

Работа установки автоматизации основывается на информации, принятой несколькими датчиками: температурный датчик сырья в реакторе, датчики уровня сырья в реакторе. Для этого в диссертационной работе построена

мнемосхема, программное обеспечение, мониторинг путем визуализации контроля за ходом работы оборудования попредварительной подготовки субстрата и ее сбраживание. Необходимо учесть, что мониторинг параметров оборудования по подготовке субстрата и ее сбраживания, является важнейшим элементом контроля за работой каждого оборудования и всей системы в целом [124, 125, 126]. Исходя из этих показателей, установка автоматики, как и сигналы таймера, включает и отключает систему сглаживания, гомогенизации и удаления отходов животных, систему отопления, систему смешивания, а также контролирует слив и слив сырья и залива, таким образом, основные параметры.

3.1 Разработка системы контроля и автоматизации управления температуры и уровня субстрата в биореакторе в ИС TRACE MODE

TRACE MODE программный комплекс класса SCAD**A HMI,** разработан компанией AdAstraResearchGroup для создание ПО АСУ ТП, систем автоматизации и контроля электроэнергии, воды, газа, тепла в реальном режиме времени. TRACE MODE включены средства программирования ПЛК и ПМК. В ИС имеется большое количество файлов, с помощью которых создается проект в TRACEMODE. Так, например, исполнительными модулями TRACEMODE в реальном режиме времени с пульта оператора запускается проект АСУ.

В TRACEMODE возможно разработать весь проект АСУ его модулей в одном программном продукте используя набор промышленных языков программирования называемое единой технологией. Все модули АСУ объединяют с помощью одного инструмента по технологии единой линии программирования, что позволяют программистам создать человеко-машинный интерфейс в онлайн режиме для системы учета всех ресурсов в одном с единой базой данных программируемого АСУ [127,128,129].

Программное обеспечение ПЛК.

Для создание программного обеспечения программируемого контроллера в TRACEMODE применяется среда CoDeSySv2.3.

В алгоритме программы заложен принцип теории управления объектом. Существуют два вида управления: двухпозиционное регулирование по функции myHIST, и регулирование по ПИД - закону по функции myPID.

Связь с функцией регулирования myHIST или myPID с языками программирования C++ Builder осуществляется через переменную mode.

Листинг программы PLC_PRG, реализованный на языке ST, представлен в приложении 1.

1. Создание файла ресурса «Target Settings».

При создании файла необходимо использовать настроенный проект в CoDeSys. В окошке «Resources» выбрать ресурс «TargetSettings». После в выплывшем окне перейти на вкладку «General» и отмтить галочкой в обозначении «Downloadsymbolfile». Эти действия производятся для загрузки полученного файла на компьютер с дальнейшим его использованием с OPC-сервером [130].

2. В главном окне CoDeSyS отобрать Project-Options. После в всплывшемся окошке отобрать категорию «Symbolconfiguration» и отметить галочкой пункт «Dumpsymbolentries».

3. Нажав кнопку «Configuresymbolfile» открыть окно, откуда выбирать переменные, доступные в OPC-сервере.

4. Далее запустить трансляцию проекта. В окошке выбрать Project пункт RebuildAll. В нем сохранить проект и включить ПЛК, выполнить команду Online - Login. Далее отобрать Online - Createbootproject, и загрузить проект в память ПЛК. Все действия по настройке контроллера закончив, перейти к настройке OPC - сервера CoDeSyS.

5. Для настройки OPC-сервера CoDeSyS запустить программу CoDeSysOPC Configurator, входящая в среду программирования CoDeSyS. Окошка пункта поле UpdateRate высвечивает изменение времени, перемены данных. Окошко Edit – AppendPLC отвечает за добавление нового контроллера,

интерфейса и параметров сетевого обмена. Если необходимо подключиться к контроллеру, то в порт COM водятся номер порта, скорость обмена, бит паритета, количество стоп - бит.

Запрограммировав ПЛК, и настроив его для работы с OPC - сервером и его настройками перейти к разработке приложения OPC-клиент (рис. 3.1 А).

После того, как каждый элемент имеет собственный аргумент, можно составить программу, для этого: перейти в окно навигатора проекта и в пункте система нажать правой кнопкой мыши на RTM, в появившемся окне выбрать «Создать компонент -> Программа».

Для настройки параметров, контроля уровня и анализа использовали язык программирования TechnoST. А для настройки температурного режима TechnoFDB. Для начала составили блок - схему, чтобы понимать этапы программирования рис 3.1 Б.

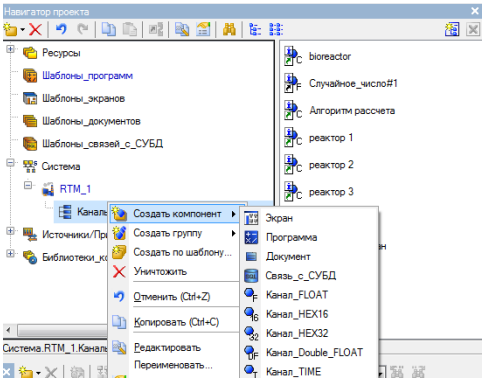


Рис. 3.1. А) Создание программы

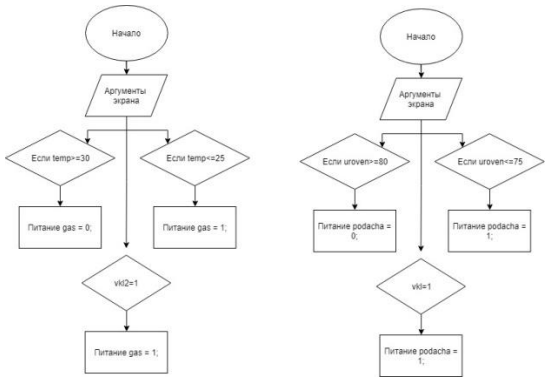


Рис. 3.1. Б) Блок-схема температурного режима и контроль уровня

Для составления FDB программы, необходимо понимать, что контроль границ температуры содержатся в районе 24-25 градусов и превышении этого уровня должна расцениваться программой, как нарушение температурного режима. Для этого в FDB программе, во входном значении необходимо дать параметр – temp, а во 2 границу 25 градусов. На выходе составить программу на FDBПИД регулирование температурного режима (рис. 3.2).

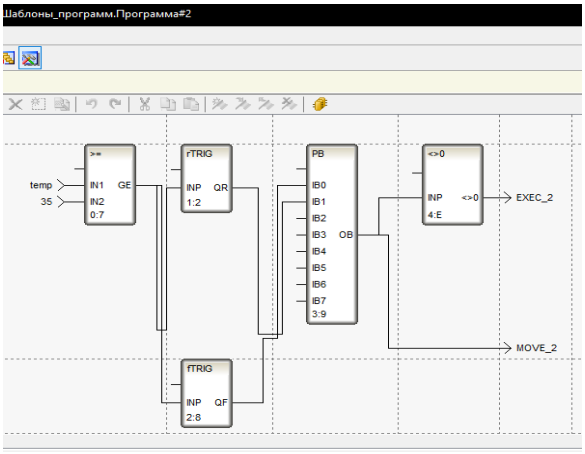


Рис. 3.2. ПИД регулирование температурного режима

Результаты программирования

В результате программирования имеем следующие результаты [131] (рис. 3.3).

Температурный режим так же подвержен контролю, система не даст повышении температуры выше +25 градусов. При повышении будет выдан сигнал в виде окна тревоги рисунок 3.4.

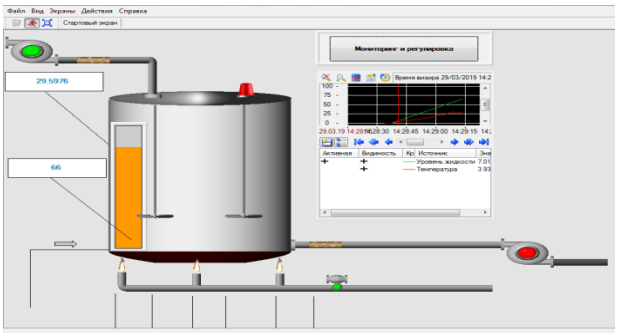


Рис. 3.3. Результаты программирования

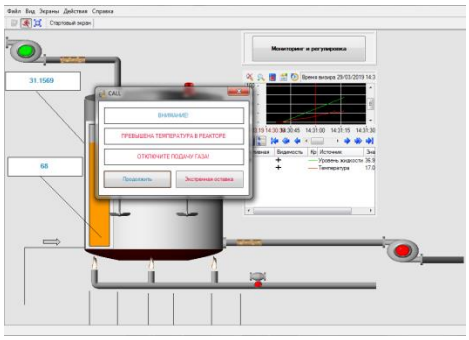


Рис. 3.4. Сигнал о повышении температуры в реакторе.

Создается дополнительный пульт управления процессами, например: для повышения/понижения температуры или уровня оператором рис 3.5.

Таким образом, мы имеем работоспособный контроль за биореактором, включающий в себя анализ параметров температуры и уровня. Программа контролирует уровень жидкости, не превышая уровня 80, при повышении происходит сброс уровня в автоматическом режиме, при повышении температуры выше +25 градусов будет выдан сигнал в виде окна тревоги показанный на рис 3.5.

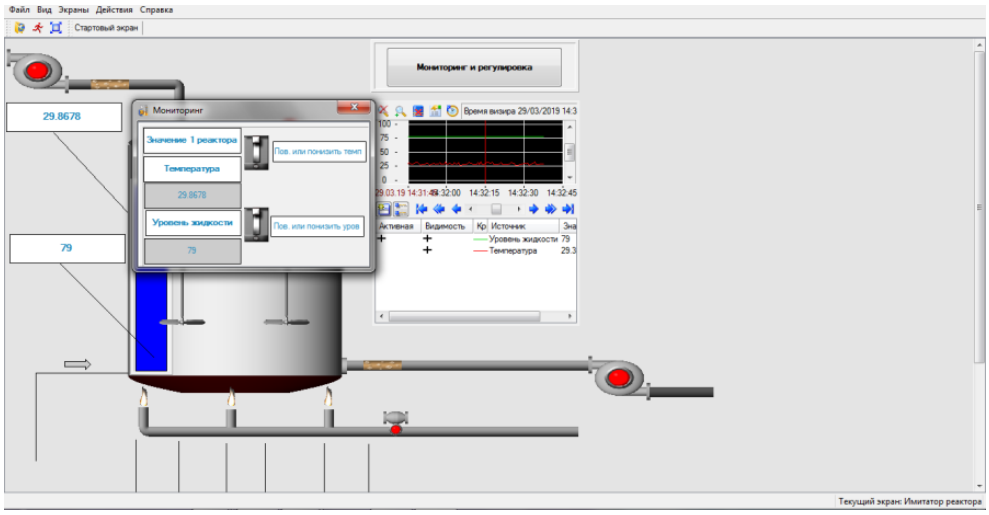


Рис. 3.5. Пульт управления оператора

3.2. Разработка АСУ ТП измельчения, гомогенизации, нагрева субстрата и расчета концентрации метана

Во второй главе диссертации был проведен аналитический расчет и математическое моделирования обработки отходов животноводства, целью которой является повышение скорости сбраживания за счет использования кавитационной деструкции, позволяющей значительно уменьшить размеры исходного органического сырья и разрушить межклеточные мембраны, тем самым, извлечь содержимое растительных волокон.

Для реализации вышеуказанной цели была разработана АСУ ТП УОС с использованием интегрированной системы TRACE MODE [132].

Данная АСУТП позволяет решать следующие задачи: Изучение физико-химических основ производства биогаза посредством кавитационной

деспергации сырья и анаэробного сбраживания субстрата в биореакторе; Исследование всех технических характеристик функциональных элементов узла обработки органического сырья; Расчет времени обработки сырья до необходимых размеров с изменением регулируемых параметров модернизированной системы; Визуализация процесса измельчения сырья; Нагрев субстрата до параметров психрофильного температурного режима.

Решение вышеперечисленных задач в SCADA системе TraceMode требует представить структурную схему АСУТП. Автоматизированная система управления технологическими процессами вторичной переработки органического сырья представляет собой форму разделенную на 4 логические зоны [133, 134]: Графическое изображение структурных элементов УОС. Параметры и график измельчения сырья. Расчет показателей для нагрева сырья в психрофильном режиме. Расчет концентрации метана и диоксида углерода в биогазе.

Рассмотрим создание каждой из них поэтапно.

Первая область - структурная схема.

3.2.1. Алгоритм создания структурной мнемосхемы

Алгоритм создания структурной мнемосхемы УОС состоит в следующем:

1. Запускается TraceMode: ярлык на рабочем столе или Пуск - Все программы –TraceMode 6 (base) –TraceMode 6 IDE 6 (base) либо двойным щелчком по файлу tmdevenv.exe в папке C:\Program Files\AdAstraResearchGroup\TraceMode IDE 6 Base;

2. После запуска TraceMode появляется следующий экран: Интегрированная среда разработки TRACEMODE 6;

3. Создаем новый проект путем нажатия на меню Файл -> Новый… или же при помощи нажатия клавиш Ctrl +N. После выполненных действий на экране появится следующее окно. В появившемся окне выбираем подпункт

Система и нажимаем на пустую область правой кнопкой мыши, выбираем Создать узел ->RTM6;

4. В созданной системе RTM выбираем каналы и жмем правой кнопкой мыши в появившемся меню нажимаем Создать компонент -> Экран. Нажимая 2 раза левой кнопкой мыши на созданном экране открываем справа окно Экран#1;

5. В появившемся окне также можно найти необходимые для создания мнемосхемы графические элементы. Выбираем графический элемент Объемные фигуры, при помощи нажатия на него правой кнопкой мыши мы можем выбрать необходимый нам элемент. Выбираем нужный нам элемент и переносим на созданный экран, в нашем случае выбираем цилиндр и размещаем его в появившемся окне;

6. При помощи объемных элементов создаем общий вид нашей мнемосхемы. Далее подключаем графические ресурсы к проекту (картинки, анимации) которые можно будет использовать для визуализации проекта. В окне навигатора проекта выбираем Ресурсы ->Создать группу -> Картинки (анимация). При помощи графического ресурса размещаем картинки и анимации на мнемосхеме. В появившемся окне выбираем необходимые нам анимации и размещаем их (рис. 3.6 А);

7. Используя элемент «Текст» размещаем описание объектов размещенных на мнемосхеме (рис. 3.6 Б).

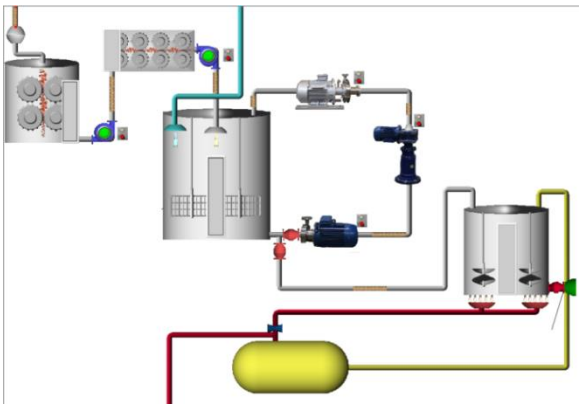


Рис. 3.6. А) Размещение анимации

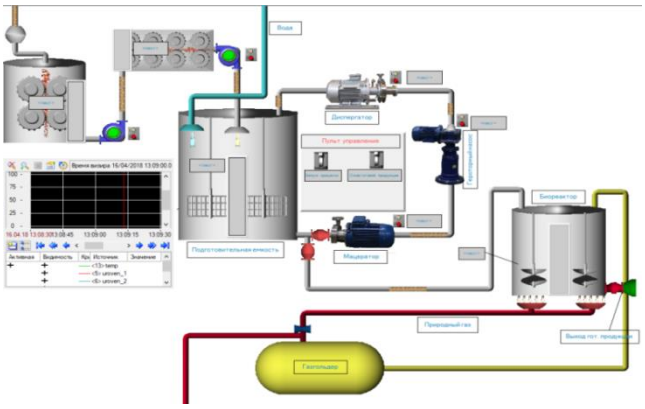


Рис. 3.6. Б) Общий вид мнемосхемы с

на мнемосхеме описанием объектов

На этом визуальная часть построение мнемосхемы закончена и можно приступить к программированию. Листинг программного обеспечения и создания мнемосхемы подробно приведены в работах автора.

Создание программного обеспечения

Реализация программного обеспечения УОС для измельчения, гомогенизации и сбраживания отходов животноводства в писхрофильном режиме в интегрированной среде TRACE MODE позволяет рассчитать структуру и состав субстрата, а также контролировать управляющие параметры.

Параметры и график измельчения сырья.

Перейдем к области параметры и график измельчения сырья, для этого создадим необходимые каналы: уровень; объем; размер; объем труб; время1цикла; общий прогон; общее время; Д размер; ось x; i.

Каждый канал привяжем с соответствующим аргументом экрана. В окне навигатора проекта нажмем правой клавишей мыши на Источники/Приемники, в открывшемся контекстном меню выберем Создать группы-Генераторы. В созданном генераторе правой клавишей мыши вызываем контекстное меню и создаем компонент Синусоида (рис. 3.7-А). В верхней части навигатора проекта нажимаем на знак создания дополнительного окна навигатора (рис. 3.7-Б).Окно программы примет следующий вид (рис. 3.7-С).

Теперь в верхнем окне навигатора выберем Система - RTM_1-Каналы-Уровень П, а в нижнем окне навигатора Источники/Приемники – Генераторы - Синусоида. Далее одним нажатием мыши по «Синусоида» перетащим значок синусоиды, удерживая левую клавишу мыши, на значок «Уровень П» (рис. 3.7 Д).

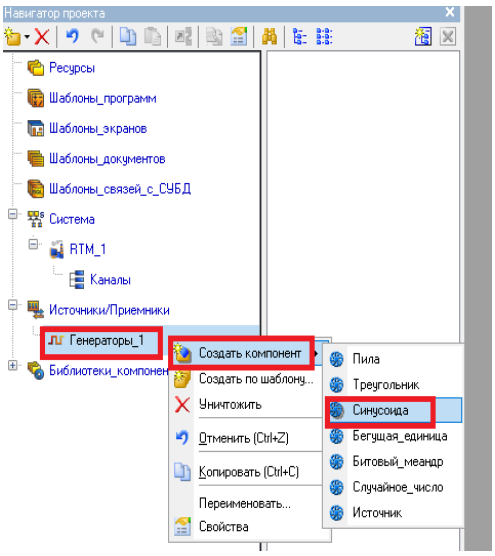


Рис. 3.7. А) Окно навигатора проекта

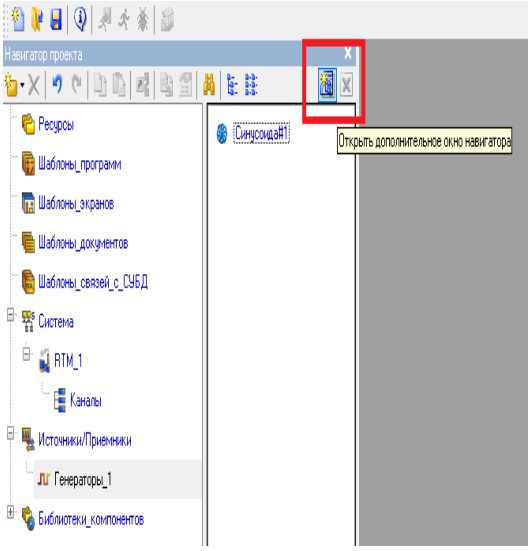


Рис. 3.7. Б) Дополнительное окно навигатора проекта

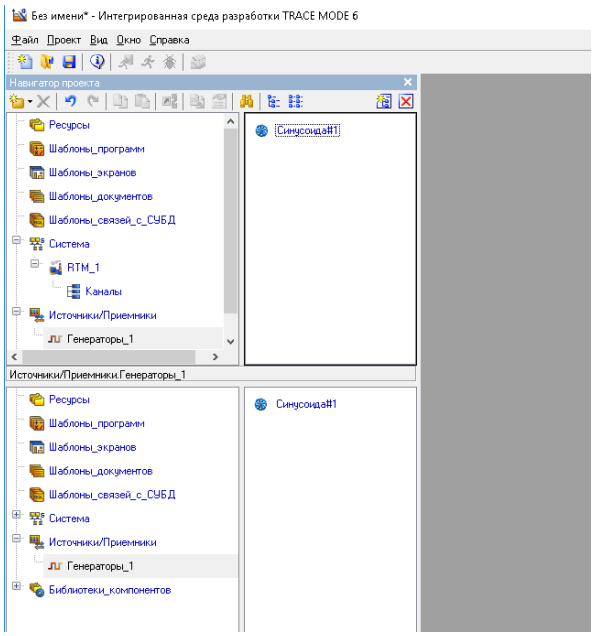


Рис. 3.7. С) Окно программы

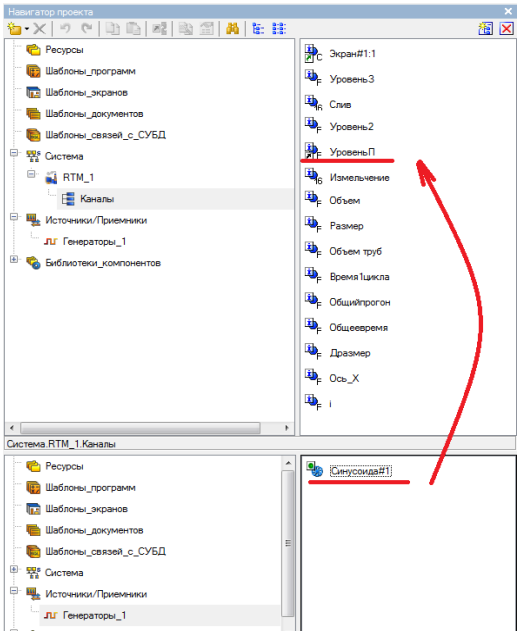


Рис. 3.7. Д) Окно навигатора

В правой части окна экрана создадим Тренд, для этого в панели элементов выберем значок , нажмем правой клавишей мыши по нему и выберем «ТрендХУ» (рис. 3.8 - А). Двойным нажатием левой клавишей мыши по компоненту вызовем окно Свойства объекта, во второй вкладки открывшегося окна создадим кривую (рис. 3.8 - Б). Осуществим привязку линий X и Ук каналам Ось_X и Дразмер, зададим необходимый цвет линии, изменим толщину линии (рис. 3.8 - С).

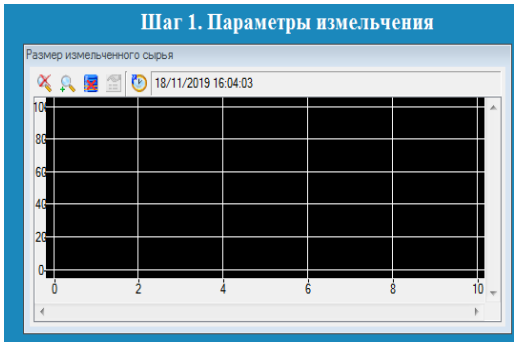


Рис. 3.8. А) Тренд ХУ

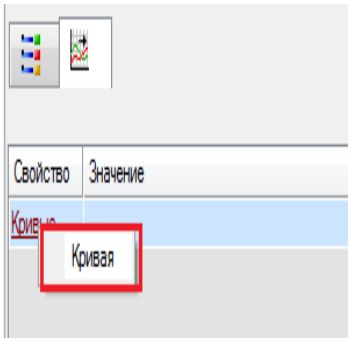


Рис. 3.8. Б) окно Свойства объекта

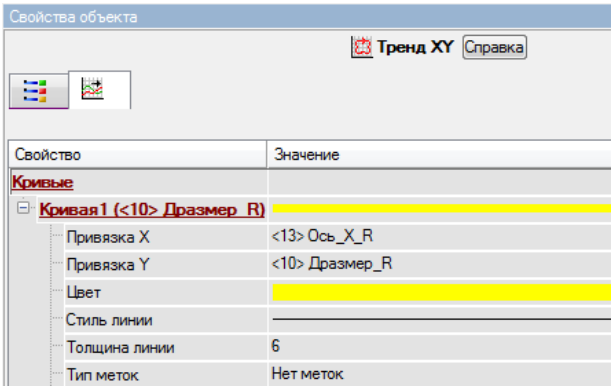


Рис. 3.8. С) Окно привязки линий

Разместим 6 компонентов Кнопка в столбец с левой стороны (рис. 3.9 А). И 8 компонентов «Текст» в столбец с правой стороны. В итоге окно должно принять вид (рис. 3.9 Б).

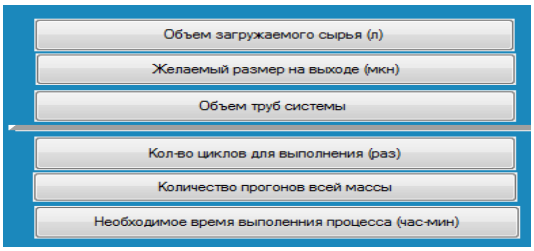


Рис. 3.9. А) Окно компоненты

Рис. 3.9. Б) Окно компоненты

Настроим элементы Кнопка, для этого вызовем окно Свойство объекта двойным нажатием левой кнопки мыши (рис. 3.10 А).

В поле «Текст» ввести соответствующее название кнопок. Откроем закладку «События» и раскроем меню «По нажатию» (mousePressed). Выберем из списка команду Передать значение (рис. 3.10 Б).

В свойстве Тип передачи выберем «Ввести и передать» (рис. 3.10 С).

В поле результат осуществим привязку к соответствующему Аргументу (рис. 3.10 Д).

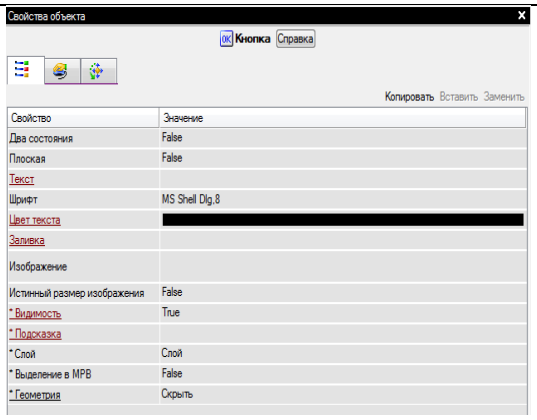


Рис. 3.10. А) окно Свойство объекта

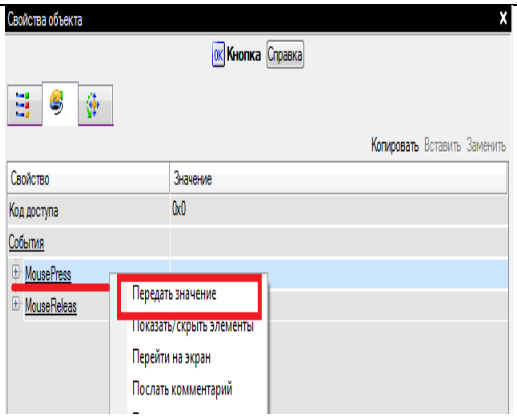


Рис.3.10. Б) Меню

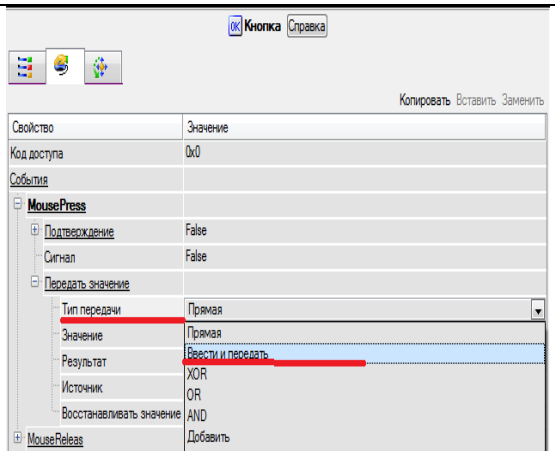


Рис. 3.10. С) Окно типа передачи

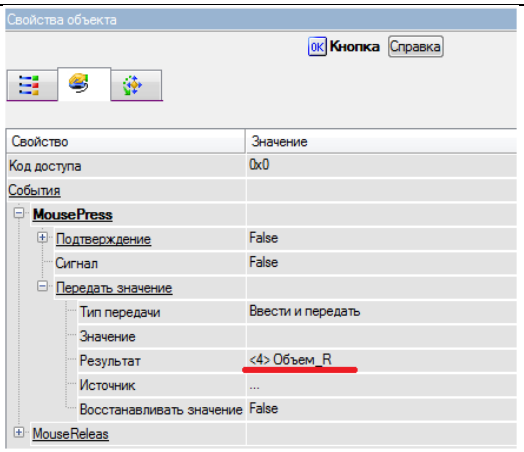


Рис. 3.10. Д) Окно привязки к аргументу

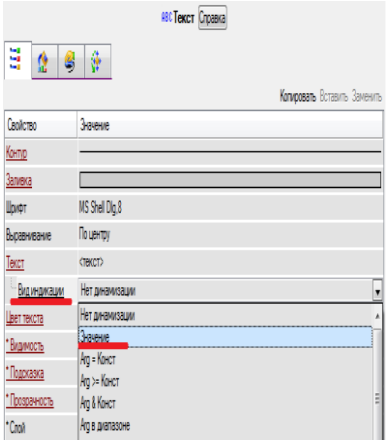
Список кнопок и соответствующих им аргументов представлен ниже:

объем загружаемого сырья - Объем; желаемый размер на выходе - Размер; объем труб системы - Объем_труб.

Для остальных кнопок задавать аргументы не нужно, т.к эти кнопки не вводят переменные, а отображают полученный результат.

Далее изменим свойства компонентов «Текст», для этого откроем окно Свойства объекта. Дважды щелкнув на слово «Текст», расположенному в столбце Свойства (левая часть окна), в свойстве «Вид индикации» в выпадающем списке выберем Значение (рис. 3.11 А).

В окне привязка осуществим привязку к соответствующему аргументу (рис. 3.11 Б). В итоге окно измельчения примет вид (рис. 3.11 С).



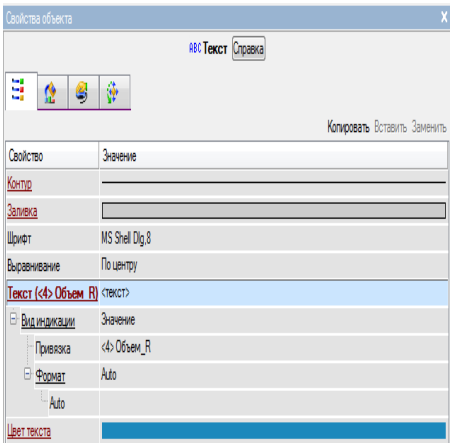


Рис. 3.11. А) Окно свойства объекта Рис. 3.11. Б) Рис. 3.38–Окно привязка

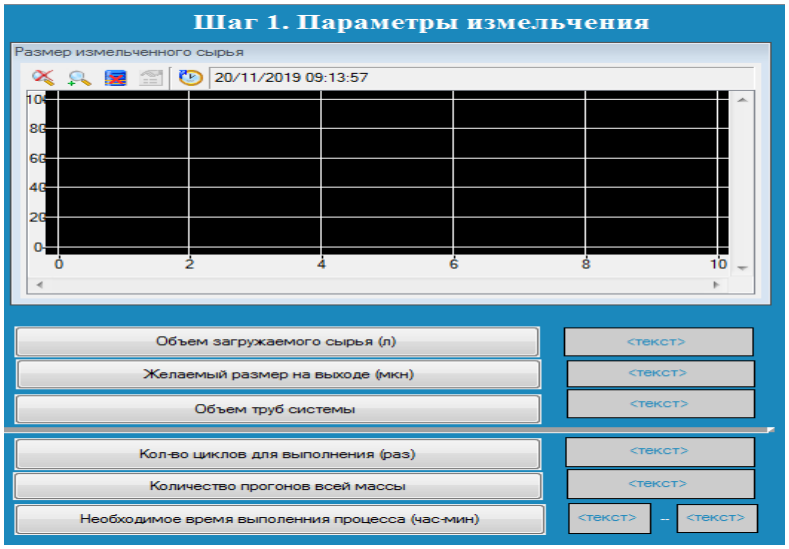


Рис. 3.11. С) Окно измельчения

После того как компоненты настроены перейдем к созданию программ. Вначале создадим программу, отвечающую за набор первичного органического сырья в емкость для перемешивания органического сырья с водой. Для этого в

структуре проекта нажимаем правой кнопкой мыши по слову Каналы, в выпадающем списке выберем «Создать компонент» и далее «Программа». Переименуем программу в «Набор» (рис. 3.12 А).

Для редактирования свойств программы, нажатием правой кнопки мыши выберем свойство «Редактировать шаблон». В открывшемся окне произведем настройку аргументов как показано на рисунке (рис. 3.12 Б).

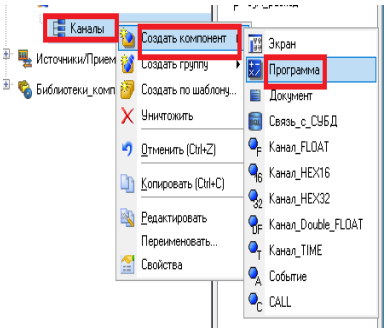


Рис. 3.12. А) Окно структура программы

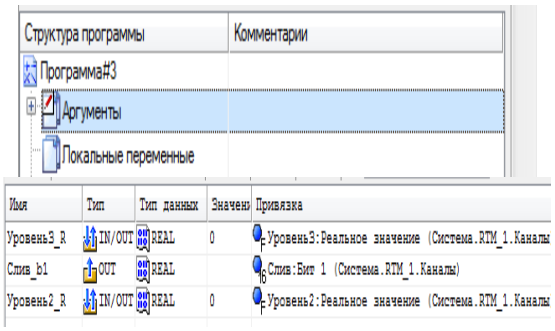


Рис. 3.12. Б) Окно настройка аргументов

После создания аргументов, щёлкнем левой кнопкой мыши по слову «Программа» в шаблоне редактирования, в появившемся окне выбора языка программирования выберем SFCдиаграмма (рис. 3.13 А).

В окошке отобразится только один шаг: изначальный шаг щелкнув по нему дважды левой клавишей мыши необходимо ввести новое имя шага, к примеру, «Проверка исходных данных». Левой клавишей мыши щелкните по иконке и выберать создать шаг/переход. Будет создан новый шаг и переход (рис. 3.13 Б).

Внешний вид созданной SFC диаграммы должен принять вид (рис. 3.13 С).

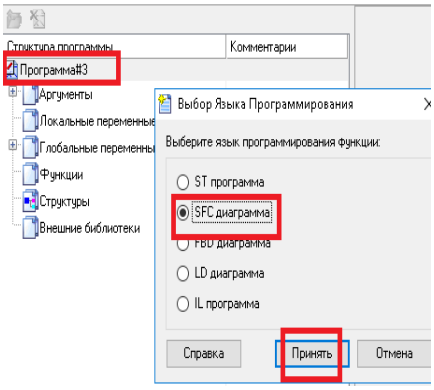


Рис. 3.13. А) Окно выбор языка программирования

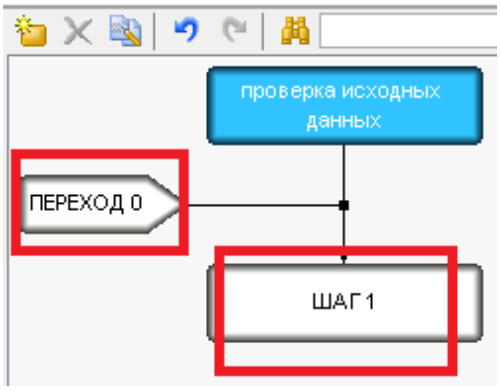


Рис. 3.13. Б) Окно перехода

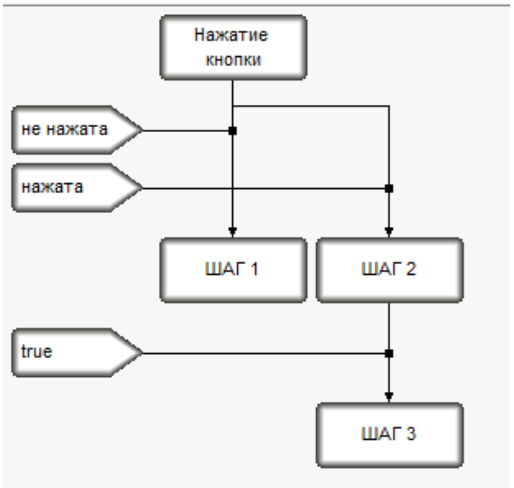


Рис. 3.13. С) Окно создания SFC диаграммы

В структуре SFC диаграмма, раскрыв раздел шаги и переходы выбираем Техно - ST.

Листинг программы описывающий набор емкости 1 примет программный вид, который приведен в Приложении 3.

Разработанный программный продукт «Набор» отвечает за то, чтобы при запуске программы емкость 1 наполнялась органическим сырьем, а при нажатии на выключатель, расположенным на элементе «Насос» органическое сырье переливалось в емкость 2.

Перейдем к настройке непосредственно программы отвечающей за измельчение. Для этого в структуре RTM_1, в подразделе «Каналы» создадим новый компонент «Программа», переименуем его в «Устройства переработки сырья», либо сокращенно УПС. В окне редактирования шаблона программы

зададим аргументы, при этом каждый аргумент необходимо связать с одноименным каналом (рис. 3.14 А). Во вкладке «Глобальные переменные» создадим новую глобальную переменную i, ее начальное значение равно 0 (рис. 3.14 Б).

Измельчение_R IN/OUT REAL — Измельчение:Реальное значение (Система.RTM_1.Каналы) УровеньП_R IN/OUT REAL 0 — УровеньП:Реальное значение (Система.RTM_1.Каналы) Уровень2_R IN/OUT REAL — Уровень2:Реальное значение (Система.RTM_1.Каналы) Слив_R OUT REAL — Слив:Реальное значение (Система.RTM_1.Каналы) Уровень3_R OUT REAL — Уровень3:Реальное значение (Система.RTM_1.Каналы) Общийпрогон_R IN/OUT REAL — Общийпрогон:Реальное значение (Система.RTM_1.Каналы) Размер_R IN REAL — Размер:Реальное значение (Система.RTM_1.Каналы) Общевремя_R OUT REAL — Общевремя:Реальное значение (Система.RTM_1.Каналы) Объем_R IN REAL — Объем:Реальное значение (Система.RTM_1.Каналы) Объем_труб_R IN REAL — Объем труб:Реальное значение (Система.RTM_1.Каналы) Дразмер_R OUT REAL — Дразмер:Реальное значение (Система.RTM_1.Каналы) Ось_X_R OUT INT — Ось_X:Реальное значение (Система.RTM_1.Каналы) i_R OUT INT — i:Реальное значение (Система.RTM_1.Каналы) chas_R IN/OUT INT — chas:Реальное значение (Система.RTM_1.Каналы) min_R IN/OUT INT — min:Реальное значение (Система.RTM_1.Каналы)	Программа#4 Структура программы / Комментарии Программа#4 Аргументы Локальные переменные Глобальные переменные i: REAL Имя / Тип данных / [] / Начальное значение / Комм i REAL 0
Рис. 3.14. А) Окно структуры RTM	Рис. 3.14. Б) Окно глобальные переменные

После создания аргументов выберем язык программирования SFCдиаграмма. В открывшемся окне построим SFC диаграмму в соответствии с рисунком (рис. 3.15 А).

Рассмотрим программирование каждого элемента SFC-диаграммы подробнее. Перейдем к разделу Шаги, выберем Шаг 1. Для программирования шага 1 выберем язык программирования Техно ST. В окне ввода кода напишем следующий код (листинг программного обеспечения «Измельчение»), который приведен в **Приложение 4**.

В разработанном программном продукте «Измельчение» при запуске профайлера задаются первоначальные параметры системы, такие как объем загружаемого сырья, желаемый размер на выходе, и объем труб узла обработки сырья. Далее происходит визуализация наполнения емкости для перемешивания органического сырья с водой. При этом насос для перекачивания сырья в шнек находится в положение «Выключен». При нажатии на него все сырье переходит в емкость для временного хранения, измельчения и сбраживания сырья. Далее для запуска процесса измельчения необходимо переключить выключатель муфты в положение «Включен». Запустится работа элементов узла обработки органического сырья, а самосырье в емкости для временного хранения. За счет использования генератора синусоида начнет циклические движения в направлении сверху вниз. На

элементе «Тренд», демонстрирующим график, будет пошагово прорисовываться зависимость между временем обработки и размером сырья. А в полях для отображения выходных данных, таких как количество необходимых циклов и время выполнения процесса отобразятся полученные результаты (рис. 3.15-Б).

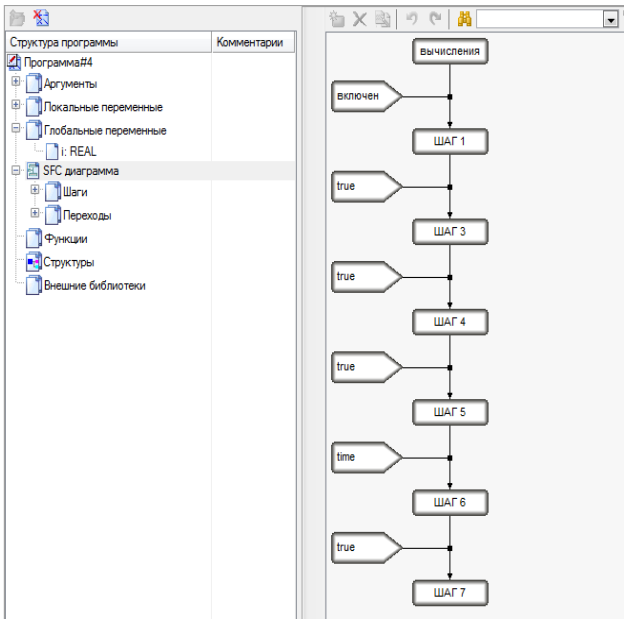


Рис. 3.15. А) Окно построения SFC диаграммы

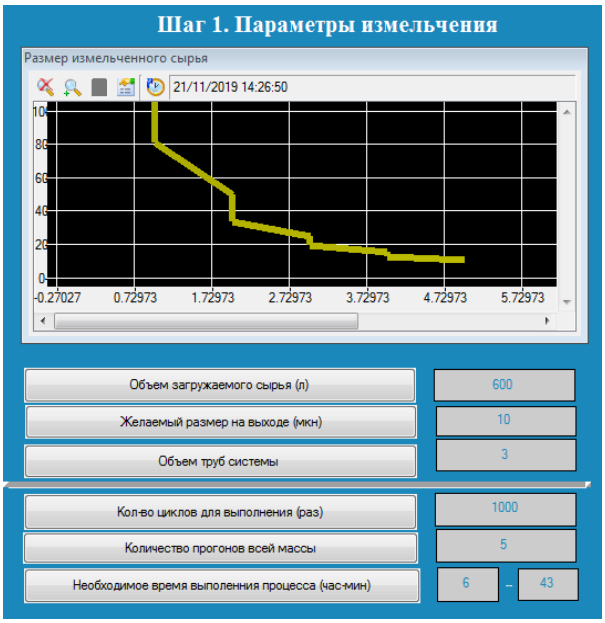


Рис. 3.15. Б) Рис. 3.48 - Тренд, демонстрирующим график пошаговой зависимости между временем обработки и размером сырья.

Нагрев субстрата в психрофильном режиме.

Перейдем к созданию области нагрев субстрата в психрофильном режиме.

Создадим каналы: t_0 - начальная температура субстрата, t_1 - желаемая температура субстрата, P - можность нагревательного элемента, T - время необходимое на нагрев.

А так же два канала IR и TEM, необходимыве для отображения процесса нагрева на графике (рис. 3.16 А). Расположим на окне экрана 4 элемента кнопка

и аналогичное количество элементов «Текст», в последовательности, показанной на рисунке (рис. 3.16 Б).

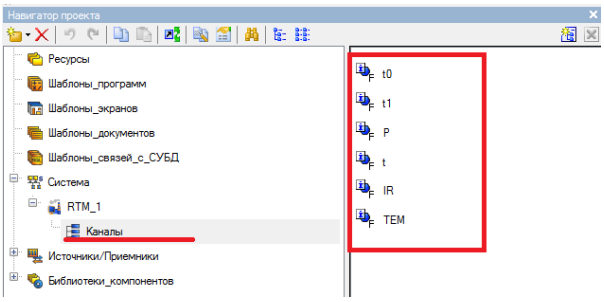


Рис. 3.16. А) Переменные процесса нагрева субстрата

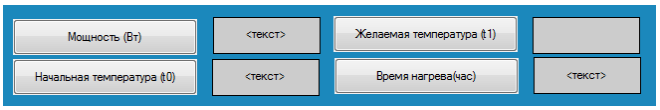


Рис. 3.16. Б)Окно элементов

Настроим элементы «Кнопка», для этого вызовем окно «Свойство объекта» двойным нажатием левой кнопки мыши (рис. 3.17 А).

В поле «Текст» ввести соответствующее название кнопок. Откроем закладку «События» и раскроем меню «По нажатию» (mousePressed). Выберем из списка команду «Передать значение». В свойстве «Тип передачи» выберем «Ввести и передать». В поле результат осуществим привязку к соответствующему Аргументу (рис. 3.17 Б).

Список кнопок и соответствующих им аргументов представлен ниже: Началная температура-t0, Желаемая емпература - t1, Время нагрева- t.

Далее изменим свойства компонентов Текст, для этого откроем окно Свойства объекта. Дважды щелкнув на слово Текст, расположенному в столбце Свойства (левая часть окна), в свойстве Вид индикации в выпадающем списке выберем Значение. В окне привязка осуществим привязку к соответствующему аргументу (рис. 3.17 С).

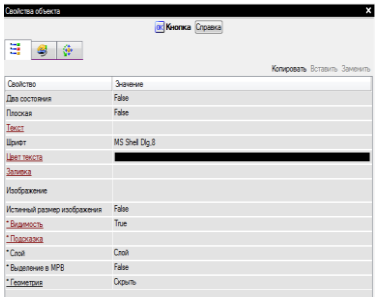


Рис. 3.17. А) Окно-Свойство объекта

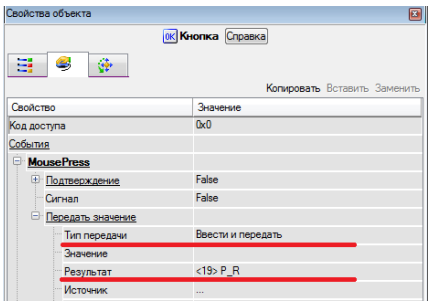


Рис. 3.17. Б) Свойства кнопки

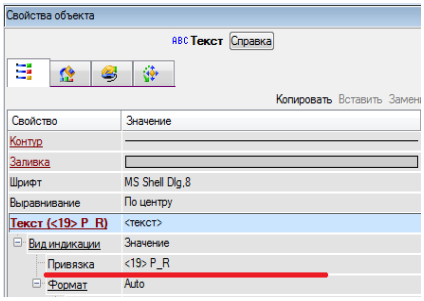


Рис. 3.17. С) Привязка аргумента к тексту

Аналогичным образом настроим остальные компоненты текст. В нажней части окна экрана расположим элемент «Тренд ХУ» (рис. 3.18 А).

Двойным нажатием левой клавишей мыши по компоненту вызовем окно Свойства объекта, во второй вкладки открывшегося окна создадим кривую (рис. 3.18 Б).

Осуществим привязку линий X и У к каналам IR_X и TEM_R, зададим необходимый цвет линии, изменим толщину линии (рис. 3.18 С).

С правой стороны от тренда добавим прибор ползунок (рис. 3. 19).

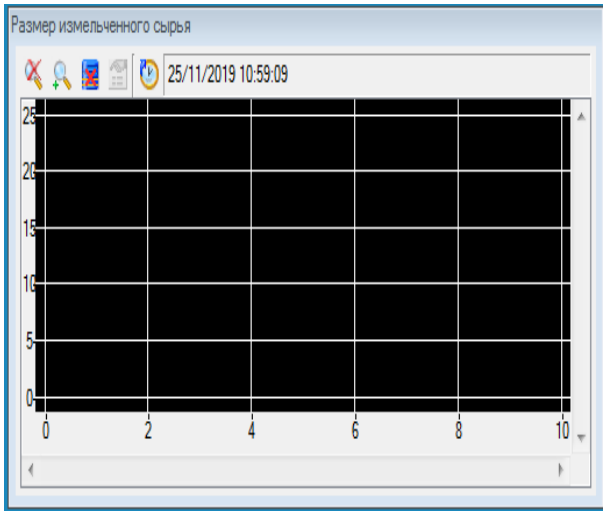


Рис. 3.18. А) Общий вид мнемосхемы с описанием объектов

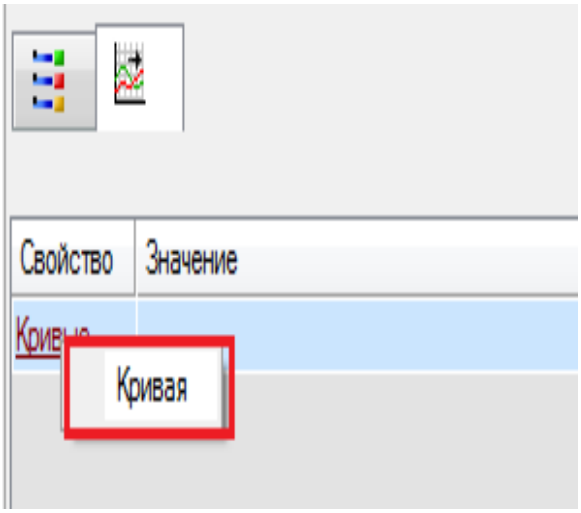


Рис. 3.18. Б) Общий вид мнемосхемы с описанием объектов

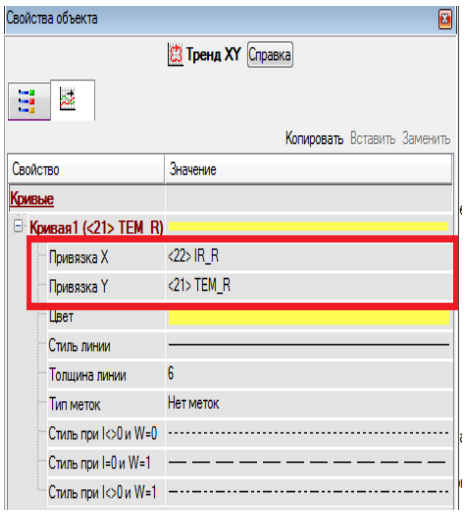


Рис. 3.18. С) Общий вид мнемосхемы с описанием объектов

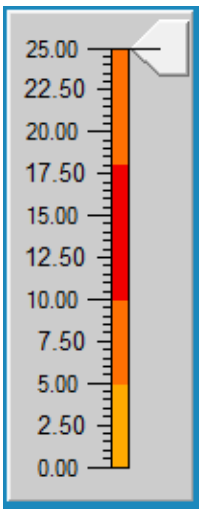


Рис. 3.19. Общий вид мнемосхемы с описанием объектов

Изменим свойства объекта, вызвав свойства объекта. В открывшемся окне изменим параметр отображаемой величины (рис. 3.20).

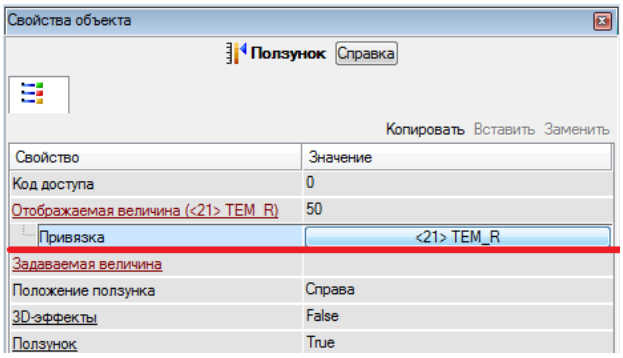


Рис. 3.20. Общий вид мнемосхемы с описанием объектов

После того как компоненты настроены перейдем к созданию программы нагрев. Эта программа должна проверять соответствуют ли условия нагрева психрофильному температурному режиму, и в случае нахождения несоответствий изменять мощность обогревательного элемента (в случае быстрого нагрева - уменьшать, медленного - увеличивать до оптимального значения). Для создания программы в структуре проекта нажимаем правой кнопкой мыши по слову Каналы, в выпадающем списке выберем Создать компонент и далее Программа. Переименуем программу в Набор (рис. 3.21 А).

В шаблоне программы зададим необходимые аргументы, осуществив при этом привязку к соответвующему каналу (рис. 3.21 Б).

В разделе Глобальные переменные создадим две переменные (рис. 3.21 С).

В качестве языка программирования выберем SFC диаграммы. В открывшемся окне создадим аналогичную диаграмму (рис. 3.21 Д).

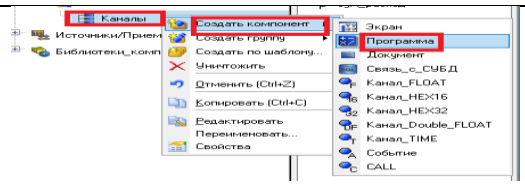
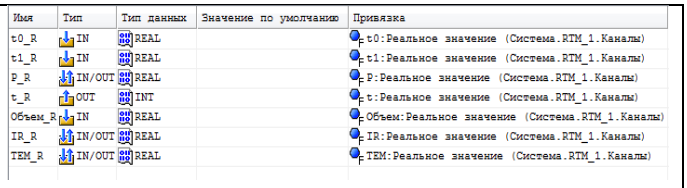
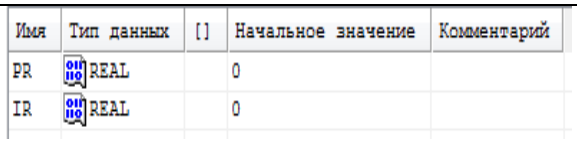


Рис. 3.21. А) Общий вид мнемосхемы с описанием объектов



Имя	Тип	Тип данных	Значение по умолчанию	Привязка
t0_R	IN	REAL		t0:Реальное значение (Система.RTM_1.Каналы)
t1_R	IN	REAL		t1:Реальное значение (Система.RTM_1.Каналы)
P_R	IN/OUT	REAL		P:Реальное значение (Система.RTM_1.Каналы)
t_R	OUT	INT		t:Реальное значение (Система.RTM_1.Каналы)
Объем_R	IN	REAL		Объем:Реальное значение (Система.RTM_1.Каналы)
IR_R	IN/OUT	REAL		IR:Реальное значение (Система.RTM_1.Каналы)
TEM_R	IN/OUT	REAL		TEM:Реальное значение (Система.RTM_1.Каналы)

Рис. 3.21. Б) Общий вид мнемосхемы с описанием объектов



Имя	Тип данных	[]	Начальное значение	Комментарий
PR	REAL		0	
IR	REAL		0	

Рис. 3.21. С) Общий вид мнемосхемы с описанием объектов

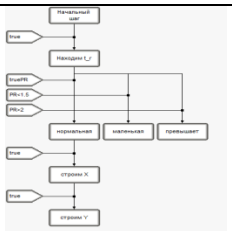


Рис. 3.21. Д) Общий вид мнемосхемы с описанием объектов

В структуре проекта необходимо раскрыть раздел **SFC диаграмма**. (рис. 3.22 А).

Необходимо выделить строку находите t_r. На этом шаге осуществляется просчет общего времени необходимого на нагрев заданного объема субстрата. Среди предложенных языков выберите **Техно-ST.**

Программное обеспечение приводится в Приложении 5.

После того как все шаги и переходы программы настроены, проверим работоспособность. После запуска проекта зададим начальные значения Мощности, температур. После того как все значения будут добавлены программа начнет просчет значений, на экране отобразится график отображающий нагрев по часам до желаемого значения. В случае если

мощность не соответствует условиям, произойдет автоматическое ее изменение до оптимального значения (рис. 3.22 Б).

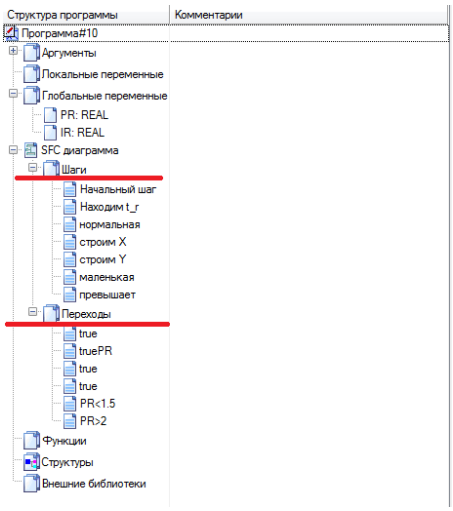


Рис. 3.22. А) Общий вид мнемосхемы с описанием объектов

Рис. 3.22. Б) Общий вид мнемосхемы с описанием объектов

Расчет концентрации метана

В основном, биогаз - это состав газовидных элементов, основными элементами которой являются метан (до 85%) и углекислый газ (15 ÷ 50%). Остальные газообразные элементы в биогазе находятся в виде примесей и обычно не превышают процентов объема смеси биогаза. Так как рассчитать примеси не лабораторным путем не представляется возможным, при дальнейших расчетах будем предполагать, что биогаз состоит из метана и диоксид углерода. В работе [135] были выведены формулы:

$$V = \frac{P1 * V1 * T2}{T1P2} \tag{3.1}$$

где $V1$ - размер, используемый одним молем идеального газа при обычных условиях ($t = 0$ С, $P1 = 101325$ Па), есть непрерывная величина, равная 0,022414 м3, $T2 = 273 + t1$ (К), $P2 = 116524$ Па.

Средняя молярная масса смеси биогаза равна умножению на объемную долю молярной массы каждого компонента:

$$\mathrm{M}biog = \mathrm{M}(\mathrm{CH4}) * \omega(\mathrm{CH4}) + M(\mathrm{CO2}) * \omega(\mathrm{CO2}), \quad (3.2)$$

где $\mathrm{M}(\mathrm{CH4})$это есть молярная масса метана, которая равна 12,011*1+1,008*4=16,043 кг/кмоль, также $\mathrm{M}(\mathrm{CO2})$ – молярная масса диоксида углерода, равная $12{,}011 * 1 + 16 * 2 = 44{,}01$ кг/кмоль.

Если сформулировать объемную часть метана в биогазовой консистенциипосредствомс (ω(CH4)=c) и соответственно объемную часть углекислого газа ω(CO2)=1-c, в таком случае среднюю молярную массу биогаза можно выразить через значение объемной части метана в виде выражения:

$$Mbiog = 16{,}043\mathrm{c} + 44{,}01 * 1 - \mathrm{c}) = 44{,}01 - 27{,}967 * \mathrm{c} \quad (3.3)$$

Как известно, насыщенность газа равна отношению молярной массы к его молярному объему. В то время плотность биогаза (ρbiog), с учетом формулы (3.3), также объема 1 кмоль биогаза, равного V2, можно выразить в виде: (3.4)

$$\mathrm{pbiog} = \frac{\mathrm{Mbiog}}{\mathrm{V2}} = \frac{44.01 - 27.967 * \mathrm{c}}{\mathrm{V2}}, \text{кг/м3} \quad (3.4)$$

Однако остается вопрос как найти плотность биогаза без лабораторных испытаний. Исследуя работы [2,3,4,5,6], с помощью регрессионного анализа можно вывести относительную зависимость между размером частиц и плотностью биогаза в виде степенной функции:

$$y = 0.7577x0.1115,$$

где x-размер преобладающих частиц.

Коэффициент детерминации данной функции 0.8888, средняя ошибка аппроксимации -4.6534 %, что свидетельствует о достаточно хорошей подгонке к параметрам исследований вышеперечисленных работ.

Для построения данного процесса в системе интегрированной информационной системы для управления промышленным производством Scada Trace Mode первым делом создадим необходимые каналы: CO2 - содержание углекислого газа; CH4 - содержание метана; CO2%- процентное содержание углекислого газа; CH4% - процентное содержание метана. (Рис. 3.23 А).

Разместим на экране два компонента Кнопка и два компонента Текст. (рис. 3.26-Б). Свойства кнопок изменять не будем, в свойствах Текста осуществим привязку к соответствующим каналам CO2 и CH4. (рис. 3.23 Б).

Разместим на экране элемент Тренд (рис. 3.23 С).

Особый интерес представляет именно концентрация метана, поэтому осуществим привязку к параметру CH4. (рис. 3.23 Д).

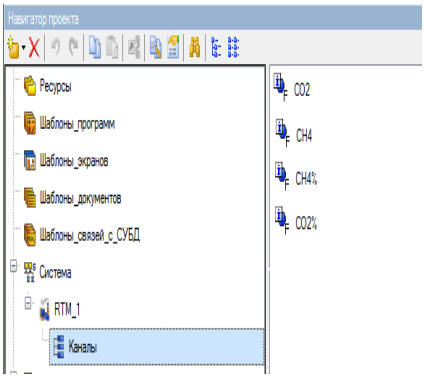


Рис. 3.23. А) Создание каналов

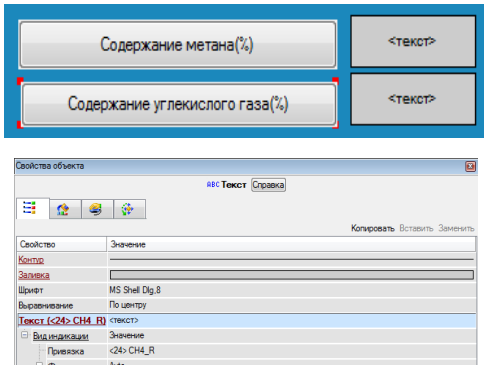


Рис.3.23. Б) Привязка каналов CO2 и CH4.

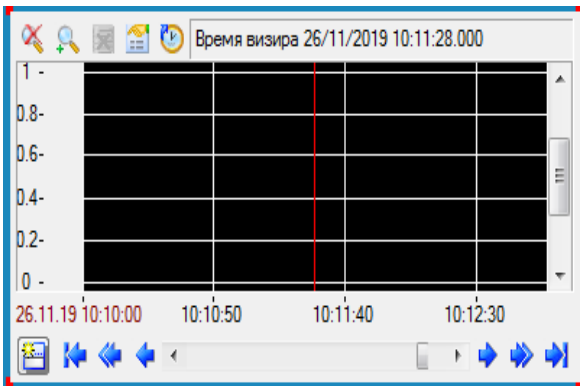


Рис. 3.23. С) Тренд

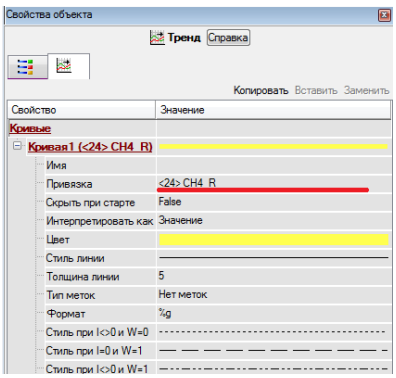


Рис. 3.23. Д). Создание кривые и привязка к аргументу

Для визуализации содержания метана и углекислого газа расположим элемент ползунок (рис. 3.24 А). Поверх элемента ползунок расположим 4 элемента текст, в двоих из которых изменим свойства текст на CH4 ИCO2, а оставшиеся два привяжем к соответствующим каналам. Кроме того, для отображения на ленте только двух цветов необходимо открыть выпадающее меню строки Полоса и изменить значения пределов элемента (рис. 3.24 Б).

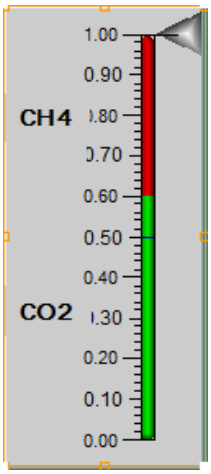


Рис. 3.24. А) Ползунок

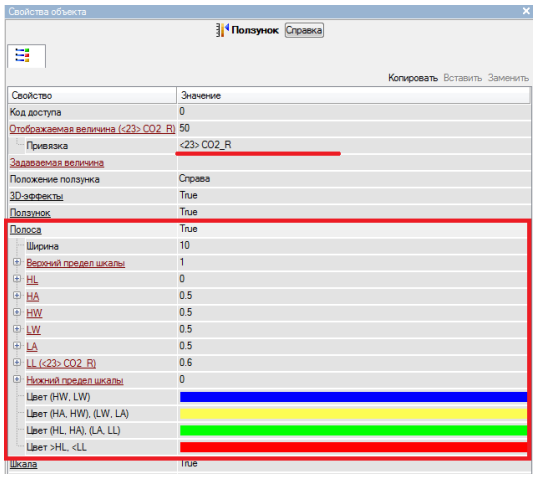


Рис. 3.24. Б) Свойства и привязка к аргументу

После того как создание и привязка каналов к соответствующим элементам закончена, в структуре проекта создадим новый элемент Программа, назовем его Концентрация. В редактировании шаблона создадим аргументы

(Рис. 3.25-А). В разделе глобальные переменные добавим две переменные (рис. 3.25 Б).

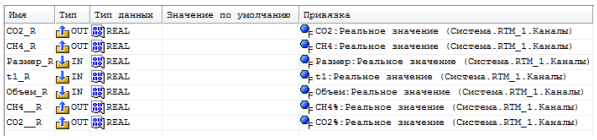


Рис. 3.25. А) Создание аргумента программы.

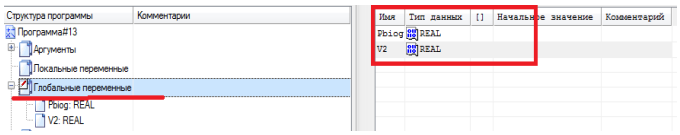


Рис. 3.25. Б) Глобальные переменные

Теперь щелкнув по слову Программа выберем язык программирования Техно ST. **Программное обеспечение приводится в Приложении 6**

Расчет проводился по введенной желаемой степени измельчения, а так же учитывая температурный режим. Запуск программы позволяет вычислить предполагаемую плотность биогаза и соответственно найдет концентрацию веществ в нем. Результаты полученные по программе приведены при вводе необходимых параметров приведены на рис. 3.26.

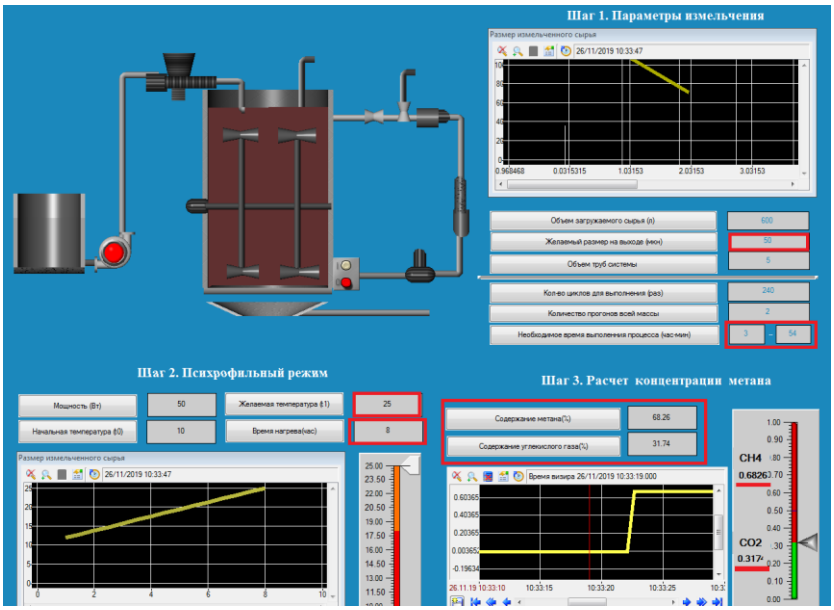


Рис. 3.26. Результаты решения программы по введенным исходным данным

Таким образом, на основе введенных данных при преобладающим размере частиц в 50 мкр. выход метана составит 68,26%, а выход углекислого газа соответственно 31,74%.

Таким образом, рассматривая программу в целом можно сделать вывод, что реализованная в TraceModeScada система позволяет находить важные параметрические данные, такие как время обработки узлом измельчения сырья, время нагрева, а так же способна регулировать мощность нагревательного элемента и просчитывать концентрацию веществ в выработанном биогазе.

Становится очевидна роль компьютеров и информационных технологий в развитии сельского хозяйства. Конечно, даже самые сложнейшие модели еще не в состоянии описать всевозможные взаимосвязи, отразить все многообразие поведения сложных агробиологических систем в различных ситуациях. Однако они имеют большое значение для исследовательских целей - изучения особенностей механизмов, определяющих важнейшие физиологические процессы, возможности.

3.3. Проведение компьютерного эксперимента для нахождения оптимальных параметров процессов кавитационной и биогазовой технологии

Целью компьютерных опытных изучений является доказательство и уточнение разработанных теоретических утверждений, но кроме того соответствие характеристик и режимов функционирования технологических процессов измельчения, гомогенизации, деспергации субстрата на УОС и анаэробного сбраживания в психрофильном режиме навоза КРС в биореакторе. Программой компьютерных экспериментальных исследований предусмотрен сбор необходимой информации для обоснования и нахождения оптимальных режимных параметров управления работой УОС и биореактора. На основе которого определяются следующие задачи:

- проверка теоретических основ и положений, определяющих характер и структуру процессов проектирования;

- анализ адекватности разработанных математических моделей используемых при нахождение оптимальных режимных характеристик параметров управления и экспериментальное подтверждение их эффективности.

Решение вышеперечисленных вопросов следует использование методологии системного расклада, нацеленное на комплексное изучение объектов, также процессов. Отличительной особенностью указанной методологии считается применения передовых технологий, в том числе и информационных, невозможно обеспечить производство высококачественной эффективной работы также и конкурентно-способность предприятия на рынке сельскохозяйственной продукции. В этом случае, существенной становится роль первоначального компьютерного эксперимента. По своей сути компьютерный эксперимент помогает предугадать поведение исследуемой системы, выявить оптимальные начальные параметры для получения высоких показателей на выходе при минимизации расходов вспомогательных ресурсов и уменьшении износа оборудования [136]. Проведем компьютерный эксперимент с использованием созданной ранее АСУ ТП в системе Scada Trace Mode. Опишем этапы проведения эксперимента:

1. установление цели эксперимента;
2. уточнение условий проведения эксперимента;
3. выявление ивыборвходных и выходных параметров;
4. составление плана и проведение эксперимента;
5. анализ полученных результатов.

Опишем в соответствии с этапами проведение эксперимента подробно.

1. Целью эксперимента является нахождение оптимальных входных параметров для автоматизированной системы управления технологическим процессом получения биогаза из органического сырья (биомассы).

2. Компьютерный эксперимент, TraceMode, версия 6.10.1

3. 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.

Кроме того параметр "мощность обогревательного элемента" можно отнести как к входным, так и к выходным параметрам т.к. в ходе выполнения программы, если заданное оператором значение не соответствует выполнению условий психрофильного температурного режима, значение данного параметра может автоматически регулироваться.

4. В качестве опорного плана проведения эксперимента создадим матрацу начальных и конечных значений параметров [137]. 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, матрица входных значений проведения эксперимента примет вид (табл.3.1.).

Таблица 3.1 - Матрица входных значений

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

Зададим в АСУ ТП входные параметры характерные для опыта №1 (рис 3.27).

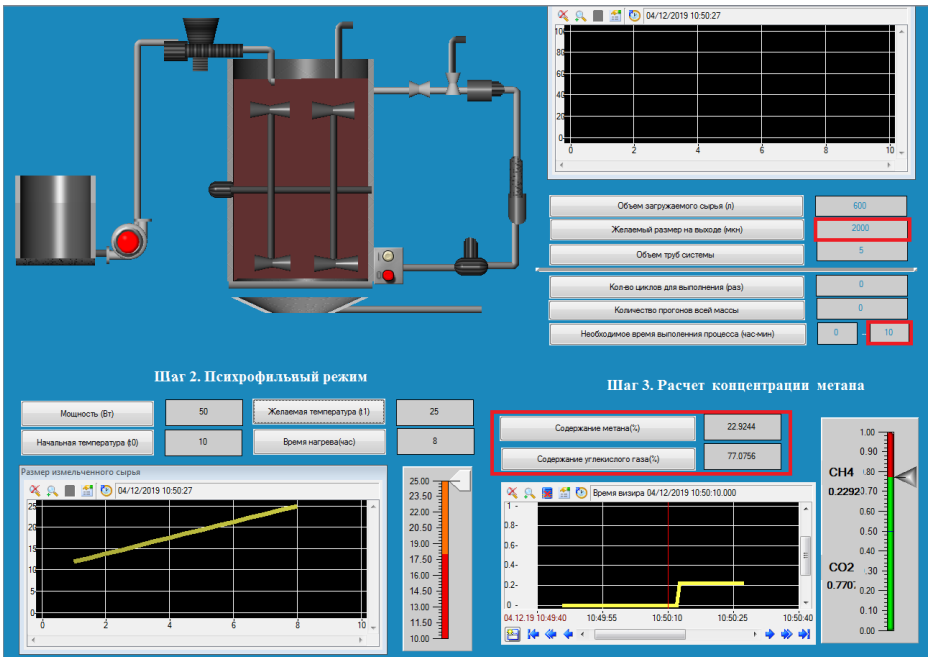


Рис. 3.27. Выходные параметры при вводе в систему сырья с преобладающим размером частиц 2000 микр

Зададим в АСУ ТП входные параметры характерные для опыта №2 (Рис.3.28 А), для опыта №3 (Рис.3.28 Б), для опыта №4 (Рис.3.28 С), для опыта №5 (Рис.3.28 Д), для опыта №6 (Рис.3.28 Е), для опыта №7 (Рис.3.28 Г), для опыта №8 (Рис.3.28 В).

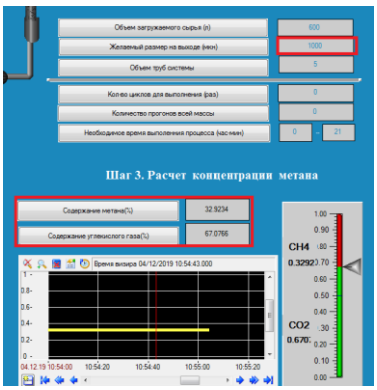


Рис. 3.28. А) выходные параметры при вводе в систему сырья с преобладающим размером частиц 1000 микр

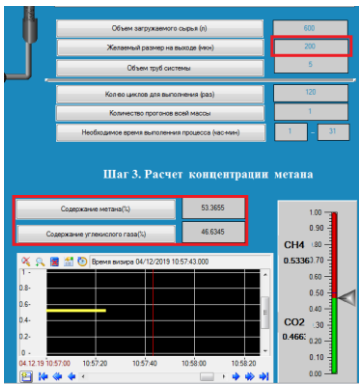


Рис. 3.28. Б) выходные параметры при вводе в систему сырья с преобладающим размером частиц 200микр

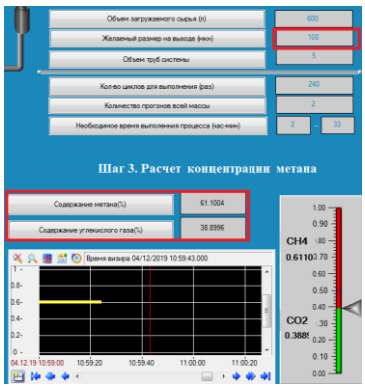


Рис. 3.28. С) выходные параметры при вводе в систему сырья с преобладающим размером частиц 100микр

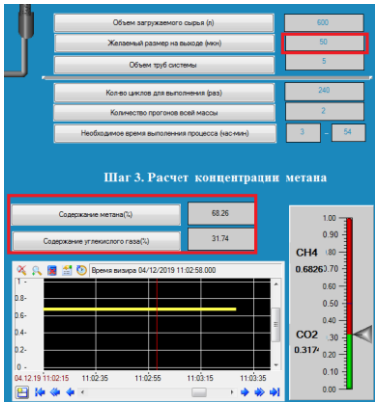


Рис. 3.28. Д) выходные параметры при вводе в систему сырья с преобладающим размером частиц 50 микр

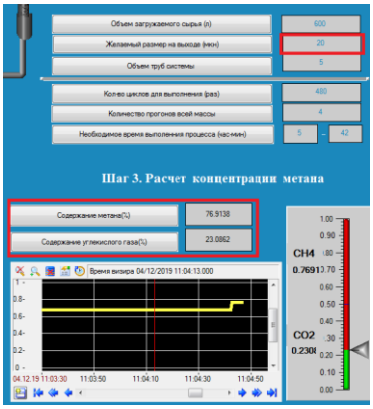


Рис. 3.28. Е) выходные параметры при вводе в систему сырья с преобладающим размером частиц 20микр

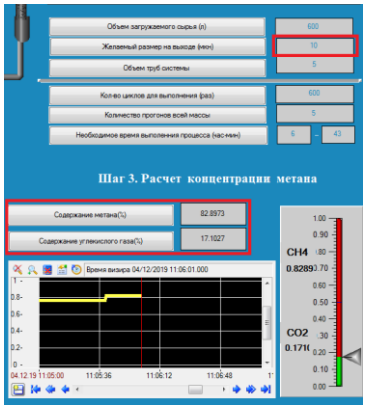


Рис. 3.28. Г) выходные параметры при вводе в систему сырья с преобладающим размером частиц 10микр

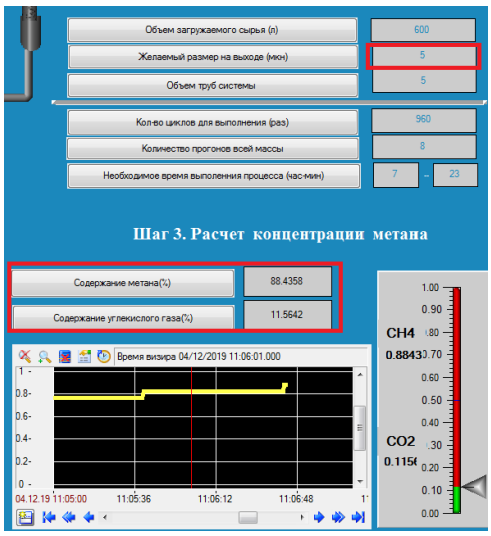


Рис. 3.28. В) выходные параметры при вводе в систему сырья с преобладающим размером частиц 5микр

На основании полученных результатов заполним таблицу выходных параметров (табл.3.2).

Таблица 3.2 - Выходные параметры

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

5. После проведения экспериментов проанализируем полученные данные. Для удобства создадим таблицу, показывающую зависимость интересующих нас параметров (табл.3.3.).

Таблица 3.3 - Зависимость интересующих нас параметров

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 зависимостью между размером частиц и концентрацией биогаза. Как видно из графика проведения экспериментов с уменьшением частиц происходит увеличение выхода метана и уменьшение процентного содержания углекислого газа (рис. 3.29).

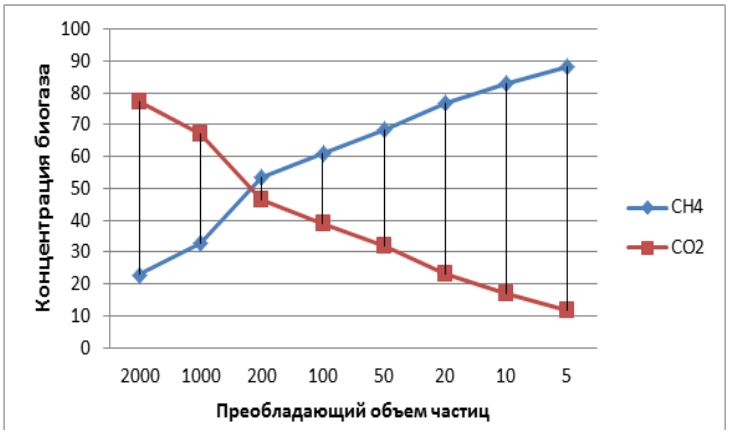


Рис. 3.29. Общий вид мнемосхемы с описанием объектов

Однако видно, что после измельчения частиц менее чем на 10 микронов увеличение метана незначительное, зато увеличивается время обработки сырья и, следовательно, увеличивается износ оборудования. Исследования преподавателей прикладной механики МФТИ было определено, 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. Кроме того следует понимать, что максимально-возможный выход метана зависит и от происхождения сырья.

Таким образом, была реализована программная автоматизация системы управления процессом подготовки и обработки биомассы, которая позволяет осуществлять непрерывный процесс наблюдения и регистрации параметров устройства обработки биомассы и метанового сбраживания в биореакторе в сравнении с заданными критериями.

Ключевыми параметрами контроля являются степень измельчения обрабатываемой биомассы, давлении, а также температура подготовительной емкости. На основании полученных данных параметров описания данного объекта выносится суждения о поведении каждого оборудования и всей биогазовой установки в целом.

В производственных условиях обстоятельствах на показатели процесса помимо основного комплекса факторов, исследуемых с помощью компьютерного эксперимента, влияет также множество факторов, контролировать которые трудно или невозможно. Это приводит к тому, что оптимальные условия, найденные через компьютерный эксперимент, часто не воспроизводятся в промышленности. В связи с этим необходимо периодически проводить эксперимент непосредственно на промышленном объекте для уточнения и регулировании входных параметров.

3.4. Апробация результатов расчета и моделирования кавитационной деструкции сырья в лабораторных условиях

В Таразском государственном университете им. М.Х. Дулати по результатам научных исследований, полученного патента проводимым по хоздоговорной научно - исследовательской работе была спроектирован и собрана УОС (рис.3.30.).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.

Рис. 3.30. Устройство УОС и система управления собранные в мастерской ТарГУ им. М.Х. Дулати

Однако, при применение факторов, исследуемых с помощью компьютерного эксперимента в реальных условиях производства, на них влияет множество и других факторов. В следствии, этого найденные оптимальные режимные характеристики контролировать на производстве очень трудно в виду влияния других неучтенных факторов [124]. Поэтому необходимо периодически проверять результаты экспериментальных данных для уточнения и регулировании входных параметров.

Результаты обработки структуры и степени измельчения частиц субстрата до и после УОС приведены (рис.3.31.).

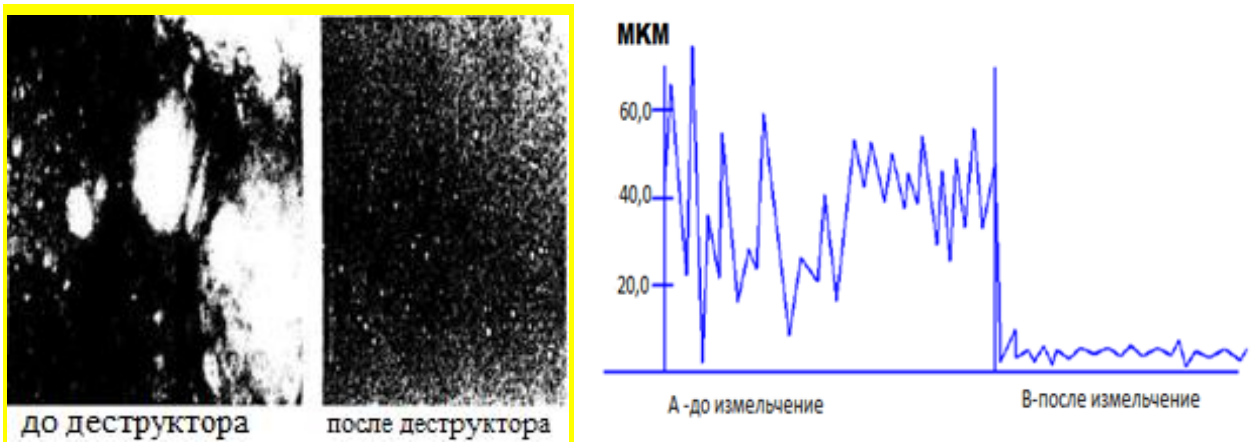


Рис. 3.31. Структура и измельчения частиц субстрата до и после УОС

3.5. Эффективность применения кавитационных деструкторов

В настоящее время ультразвуковые и гидродинамические кавитационные деструкторы используются для обеспечения однородной и однородной консистенции биомассы. Благодаря контролируемому процессу кавитации они широко используются в производстве биогаза.

Специально разработанная конструкция деструктора позволяет использовать кавитационный деструктивный эффект для обеспечения однородной и однородной консистенции сырья.

Результаты предварительной обработки биологического сырья:

- высокая степень измельчения и гомогенизация сырья;

- возможность строительства небольших ПХГ, что позволит значительно сократить капитальные затраты и сократить период ферментации биомассы;

- выделение природных ферментов, которые являются биологическим катализатором процесса ферментации биомассы;

- стабилизация биологических процессов, что приводит к образованию пены и отсутствию поплавка в верхней части биоресурсов;

- до 70-75% содержания метана в биогазе [21, 22].

В кавитационных деструкторах сырье, перед подачей в биогазовую установку, подвергается комплексной обработке: предварительному измельчению, и воздействию мощного высокочастотного (частота около 20 кГц) гидродинамического излучения

Кавитационное воздействие позволяет оптимизировать распределение сырья в реакторе, и реализует ряд мер, облегчающих последующую микробиологическую обработку. А именно, происходит разрушение межклеточных мембран, позволяющее извлечь содержимое растительных зерен и волокон и тем самым значительно ускорить скорость и глубину переработки сырья [125].

Получившиеся на выходе частицы биомассы будут иметь широкий разброс размеров. И основной эффект состоит не в измельчении, а в изменении структуры сырья - например основной эффект здесь - разрушение межклеточных мембран. Разрушение межклеточных мембран позволяет извлечь содержимое растительных зерен и волокон и тем самым значительно ускорить и углубить переработку сырья (рис. 3.32.).

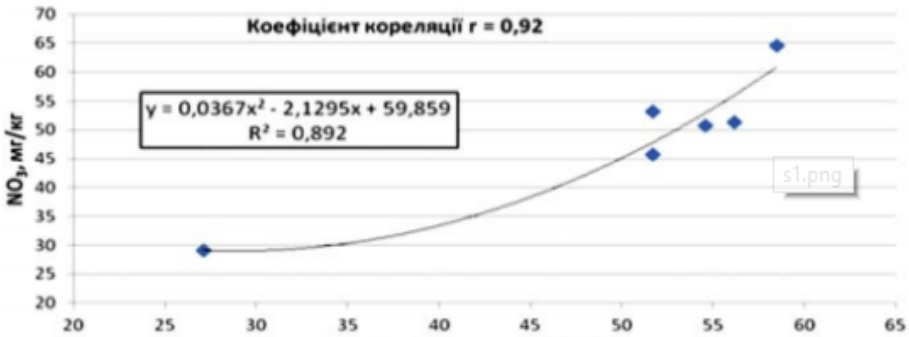


Рис. 3.32. Деструкция соломы и содержание NO3

Таким образом, при использовании кавитационного деструктора для увеличения выхода биогаза степень измельчения сырья начинает играть второстепенную роль. Важно, изменилась ли его структура в ходе обработки. То есть если соломинка "после" выглядит так же, как и "до", но в ней появились микротрещины и поры, позволяющие бактериям реализовать анаэробную обработку, то цель обработки достигнута.

Проведение эксперимента на устройство УОС и система управления собранные в мастерской ТарГУ им. М.Х. Дулати, приведены на рис. 3.33. по производству биогаза из смешанного сырья, состоящего из соломы, силоса и навоза. Прирост выхода биогаза составил 25-30% (по сравнению с идеальными условиями сбраживания в лабораторном реакторе).

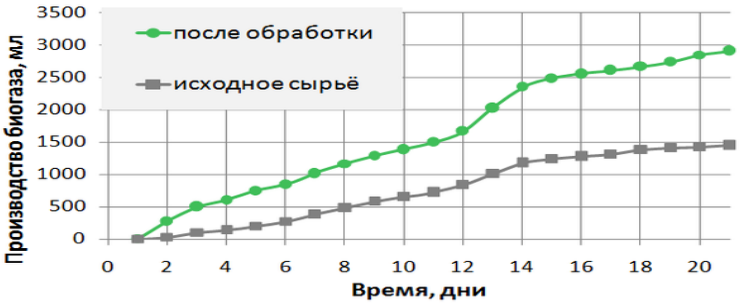


Рис. 3.33. Выход биогаза при использовании разрушения мембранной структуры

Результаты обработки:

- увеличение производства биогаза на 10 - 30% в зависимости от вида сырья;

-увеличение скорости переработки сырья в реакторе на 30 - 60%;

- возможность работы с волокнистыми типами сырья (солома, сено, костра и т.д.);

-снижение вязкости сырья, затрат энергии на перемешивание в реакторе, а также износа мешалки;

-повышение общей стабильности сбраживания сырья [12].

Таким образом, при использовании кавитационого деструктора считаем целесообразным при выполнении обработки сырья выполнить 2 цикла. При этом разброс частиц будет от 50 мкм до 1 мм, но полезная площадь для воздействия увеличится за счет влияние ультразвуковых частот на структуру мембранных клеток.

Суммарное время выполнение $t = 2 * 21 = 42$ мин.

3.6. Экономическая рентабельность использования эффекта кавитации

При бесподстилочном содержании животных и птиц в составе навозной массы доля примесей (соломы, остатков грубых кормов, земли и т.д.) достигает до 20%, они не однородны, имеют разные физико-механические свойства, размеры частиц и т.д. Поэтому непосредственное использование такого сырья для интенсивного брожения невозможно. [24]

Таким образом, для увеличения воздействия микроорганизмов необходимо увеличить полезную площадь воздействия. Это осуществляется за счет измельчения органического сырья, таким образом, увеличивается выход биогаза.

В то же время кавитационные технологии в настоящее время дают отличные результаты в конверсии газообразных, твердых и жидких сред. В зоне кавитации генерируется двухфазный экологически чистый поток, который в случае трения переключается в пост - звуковой режим скачка давления. Прыжковая энергия давления является дополнительным фактором усиления мощности воздействия на жидкую среду, что приводит к взаимодействию на микроуровне компонентов среды и образованию высокодисперсных смесей, смешиванию несмешивающихся или трудно смешиваемых сред, разрушению бактерицидных агентов и многим другим полезным эффектам. Таким образом, происходит разрушение мембранной структуры органического сырья, что плодотворно влияет на работу микроорганизмов, при этом число циклов для обработки сырья сокращается с 5 до 2.

Для просчета экономической эффективности посчитаем энергозатраты на обработку органического сырья. В соответствии с табл.3.3. 8 мацератор за 1 час работы тратит 0,55 кВт.

Таблица 3.3 – Характеристики мацератора

Двигатель,	Frame	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L

кВт													
0,55	D90S	398	264	134	100	45	150	90	190	80 n/b	200	1,5	140

В соответствии с табл. 3.4. гетероторный насос 3 КВт/ час.

Таблица 3.4 - Характеристики гетероторного насоса

Потребляемая мощность КВт/час	3 КВт

В соответствии с табл.3.5. диспрегатор - 7,5кВт

Таблица 3.5 – Характеристики диспергатора

Модель	УОС – 03Н	УОС-10
Производительность на воде, $м^3$/час	5	10
Мощность эл.двигателя, кВт (3000 об/мин)	3	7,5
Зазор между рабочими органами	0,2 мм	0,1 мм
Материал рабочих органов	Сталь 12Х18Н10Т	Сталь 38ХС

Общий расход энергии системы обработки сырья за час составляет$0{,}55 + 3 + 7{,}5 = 11{,}05$ кВт.

Расход энергии на выполнения обработки сырья без учета эффекта кавитации 1 час 45 мин, следовательно $11{,}05\text{кВт} * 1 + 0{,}71 * 11{,}05\text{кВт} = 44{,}2 + 7{,}8\text{кВт} = 18{,}85$ кВт уйдет на обработку сырья (600 л) с размером частиц до 15 мм.

С учетом работы кавитанционного деструктора время обработки сырья составляет 42 мин, следовательно, энерго затраты $0{,}7 * 11{,}05\text{кВт} = 7{,}74$ кВт. Анализируя полученные результаты получаем, что за 1 обработку сырья экономия энергии при использовании эффекта кавитации составляет $18{,}85$ кВт $- 7{,}74$ кВт $= 11{,}11$ кВт, если месячную загрузку взять за 15, то

экономия в месяц составит 166,7 кВт, а за год 2000 кВт, в денежном форме 54018 тг. Кроме того, использование кавитационного деструктора позволяет:

- ускорить сбраживание сырья в реакторе;
- увеличить глубину переработки сырья;
- испольовать солому и другие волокнистые субстраты в качестве сырья для биогазовой установки;
- снизить вязкость субстрата и расход энергии на перемешивание сырья;
- в случае строительства новой установки - использовать реактор меньшего объема;
- и, в итоге, получить результат - существенное повышение экономической эффективности биогазовой установки.
- уменьшить трудозатраты;
- за счет уменьшения времени сбраживания, увеличить объемы выхода биогаза [12]

3.7. Внедрение результатов компьютерного эксперимента на реальной установке в КФХ «Акжар» и получение опытной партии обработанного субстрата

В связи с этим практическую реализацию основных методик и алгоритмов автоматизации технологических процессов кавитационной деструкции и анаэробного сбраживания в психрофильном режиме проводили на действующей установке в КХФ «Акжар», СПК «Бірлік-Туймекент» РК для уточнения и регулировании входных параметров (рис.3.34) [126].

Рис. 3.34. Реальная УОС и система управления установленная в КХФ «Акжар» СПК «Бірлік-Туймекент» РК

Получение пробных партии однородной смеси на реальной УОС по рекомендациям режимных характеристик параметров полученных по разработанным алгоритмам и методикам исследований (рис.3.35).

Рис.3.35. Образцы измельчения частиц субстрата полученные на реальной УОС установленная в КХФ «Акжар» СПК «Бірлік-Туймекент» РК

Приведенные на рис 3.35.образцы частиц полученные на действующей в КФХ «Акжар» УОС используемый для измельчения и гомогенизации сырья показывают удовлетворительное соответствие размеров частиц полученных с компьютерного расчета гидродинамического кавитационного деструктора. Акты внедрения в учебный процесс, в К/Х « Акжар», СПК «Бирлик Туймекент» и удостоверение патента приведены в приложении.

Внедрение энергосберегающей биогазовой технологии в КХФ «Акжар» показало, что если на утилизацию ежедневно 300 кг. навоза КРС расходуется

2130 тенге, то с одногобиореактора в сутки формирует 0,18 м3 эквивалентного газа, которого довольно с цельюприготовления пищи. За 240 дней стойлового этапа замещается 43,2 м3 равносильного природного газа на сумму 264 т. тг. Сбраживание в биореакторе навоза в количестве 300 кг. в день, позволяет получать ежегодно 72 т. биоудобрения, что хватает удобрить более 69 г. сельскохозяйственных земель. Не следует, не учитывать и налоги на загрязнение окружающей среды, выбросы CO2, CH4, влияющие на (парниковый эффект) потепление климата.

Таким образом, внедрение биогазовой технологии на всех крестьянских хозяйств СНГ, ЕАЭС быстро окупается и дает возможность устойчивого экономического развития введения предпринимательской деятельности.

ВЫВОДЫ К ГЛАВЕ 3

1. Результаты экспериментов показывают, что с уменьшением частиц, после кавитационого деспергирования, происходит увеличение выхода метана и уменьшение процентного содержания углекислого газа.

2. Анализ результатов эксперимента показал, что после измельчения частиц менее чем на 10 микронов увеличение метана незначительное, но при этом увеличивается время обработки сырья.

3. Было установлено, что частицы фракции 10 мкм являются 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.

4. Тестирование результатов полученных по компьютерному моделированию измельчения сырья на реальной УОС в К/Х «Акжар», показало на незначительное отклонение, которое вызвано неучтенными факторами и нестабильностью параметров навоза КРС.

5. Применение кавитанционного деструктора позволило обработать сырье за 42 мин, что позволило снизить энергозатраты на $18{,}85\ \text{кВт} - 7{,}74\ \text{кВт} = 11{,}11$, а за год это составляет 2000 кВт., при стоимости 54018 тг.

6. Экономический расчет при непрерывной работе действующей установки, обрабатывающая вдень 300 кг. навоза КРС, позволяет получать ежегодно 72 т. биоудобрения,которогохватает удобрить более 69 г. сельскохозяйственных земель и 43,2 м3 эквивалентного природного газа на сумму 264 т. тг.

ВЫВОДЫ

1. Применение кавитационого 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, и полезная площадь для воздействия микроорганизмов увеличилась за счет влияния ультразвуковых частот на структуру мембранных клеток;

2. Согласно расчету гидродинамического диспергатора определен, наименьший спектр относительной участка диспергатора, соответствующая относительному снижению относительного давления $(\mathrm{P_н} - \mathrm{P_к})/(\mathrm{P_н} - \mathrm{P_{н.п}})$, а минимальная утрата в диспергаторе составляют $0{,}45 \leq \Omega \leq 0{,}7$;

3. Получено суммарное время измельчения и гомогонизации 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 указаниям датчиков согласно сигналам таймера. Источник автоматики отключает концепцию обогрева, систему смешивания, сигнализирует о начале и конце залива, также слива сырья;

5. Разработан способ переработки органических отходов (патент РК № 103153, 2016 г.);

6. Разработано программное обеспечение системы контроля и автоматизации управления для, осуществления 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 COMSOL MULTI PHYSICS 4.3.

Таким образом, внедрение биогазовой технологии на всех крестьянских хозяйств СНГ, ЕАЭС быстро окупается и дает возможность устойчивого экономического развития введения предпринимательской деятельности.

ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

Результаты исследований по УОС использованы и внедрены в:

- КФХ «Акжар»

- КФХ «Чуаш - Оглы (Казахстан, Жамбылская область, Байзакский район)

- ОННОЦ «Академия цифровизации и экологически-чистые технологии»

- СПК «Бірлік-Туймекент» (Казахстан, Тараз)

- в учебном процессе кафедры «Прикладная информатика и программирование» ТарГУ имени М.Х.Дулати (Казахстан, Тараз)

- в учебном процессе кафедры «Прикладная информатика» КГУ имени А.Арабаева (Кыргыстан, Бишкек).

На способ переработки органических отходов, получен патент 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 технолгии, состояшейе из системы измельчения, гомогенизм и сбраживания в малых КФХ, имеющих откормбазу.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Токмолдаев А. Б. Обоснование технологической схемы и параметров установки для переработки и обеззараживания навоза в условиях малых сельхозформирований: /Токмолдаев А. Б. / дис. к. т. н. - Алматы, 2009. - 116 с.

2. Родина Е. М. Отчет в области оценки мер по сокращению парниковых газов из бытовых и сельскохозяйственных отходов, 2003. – 181с.

3. Дубровский В. С. Метановое сбраживание сельскохозяйственных отходов / Дубровский В.С.,ВиестурУ. Э. / Рига: Зинатне, 1988. - 204 с.

4. Архипченко И. А. Оптимизация процесса компостирования и влияние биокомпостов на урожай / АрхипченкоИ. А., Орлова О. В. // Агрохимический вестник. – 2001. – № 5. – С. 22-24.

5. Стребков Д. С. Биогазовые установки для обработки отходов животноводства. /Стребков Д. С., Ковалев А. А. / Техника и оборудование для села – 2006. - №11. – С.28-30

6. Веденев А. Г. ОФ «Флюид» Биогазовые технологии в Кыргызской Республике. /Веденев А. Г., Веденева Т. А./ — Б. Типография «Евро», 2006. — 90с.

7. Щербо, А. С. К вопросу об использовании биогаза в качестве источника энергии / А. С. Щербо // Сборник трудов молодых ученых первого международного экологического конгресса (третьей международной научно-технической конференции) «Экология и безопасность жизнедеятельности промышленно-транстпортных комплексов ELPIT 2007», 20-23 сентября 2007 г. – Тольятти, 2007. – Т. II. – 433 с.

8. Эдер Б., Биогазовые установки. Практическое пособие. Основы планирования. Строительство. Типы установок. Экономическая обоснованность. / ЭдерБ., ХайнцШ./ – 2006, – 218 с.

9. Руководство по эксплуатации. ОФ "Флюид", "Биоэнергетические модули для анаэробного сбраживания навоза типа БЭМС с реакторами объемом 5,0; 25,0; 50,0; 100,0 м3", 2004г.; 47с.

10. Шишкин Н.А. Малые энергоэкономические комплексы и возобновляемые источники энергии. – М.: Готика, 2000.- 147с.

11. Биогаз-85. Проблемы и решения. Материалы советско-финского симпозиума 4-6 февраля 1985 г., Москва-Хельсинки, 1985г.

12. Васильева Е. А. Возобновляемые источники энергии: методическое пособие для выполнения контрольных работ /сост.: ВасильеваЕ. А., ИсяновЛ. М./ СПбГТУРП. – СПб., 2014. - 28 с.

13. Ковалев А. Л. Технологии и технико-энергетическое обоснование производства биогаза в системах утилизации навоза животноводческих ферм: дис. докт. техн. наук: 05.14.08. М, 1998. 244 с: илРГБОД, 71:99-5/708-9.

14. Borzani, W. (2003), Calculation of fermentation parameters from the results of a batch test taking account of the volume of biomass in the fermenting medium.Biotechnol.Lett.25, 1953-1956.

15. Kottner M. (2009), Biogas in agriculture: potential – present use – obstacles in Germany //Ibid. – P.710-713.

16. Кафаров В. В. Принципы создания безотходных химических производств / КафаровВ. В. / М.: Химия, 1982.

17. Волова Т. Г. Биотехнология. – Новосибирск: Изд-во Сибирского отделения Российской Академии наук, 1999. – 252с.(6)

18. Биркин С. М. Совершенствование технологии и технических средств утилизации навоза крупного рогатого скота:/Биркин С. М./ автореф. дис….канд.тех.наук /С.М.Биркин; ИПК ВГША "Нива". - 2009. - 23 с.

19. Сатьянов С.В. Повышение эффективности биоустановок путем получения альтернативной энергии и биоудобрений: /Сатьянов С.В. / дис. ... канд. техн. наук. – Москва, 2011. – 158 с.

20. СавенкоА. В. Динамическая прочность технологических жидкостей. /СавенкоА. В./ Маг.диссер. Красноярск. 2018г. с. 14-27.

21. Айтбаева З. К. Разработка алгоритма построения мнемосхемы и программирования устройства измельчения, гомогонизации и диспергации навоза. / Айтбаева З.К. / Тараз 2019г. – ТарМПУ баспасы. – 3 бөлім. – Б. 34-37.
22. ЯрмаркинаД. А. Разработка технологии посола деликатесных изделий с использованием гидродинамической кавитации. /ЯрмаркинаД. А. / Челябинск, 2016г. с.70-89.
23. Евдокимов В. А. Гидродинамическая кавитационная технология обработки пищевых сред / ЕвдокимовВ.А., Прохасько Л.С. // Салауатты тамақтану өнімдерінің инновациялық технологиялары, олардың сапасы және қауіпсіздігі: алықаралық ғылыми-тәжірибелік конф. – Алматы: АТУ, 2012. – С.212–214.
24. Айтбаева З. К.Функциональная схема для кавитационной деструкции и анаэробного сбраживания. /Айтбаева З.К., Тлебаев М.Б., Маматаева Д.У./ Материалы V Международной научно-практической конференции «Наука и образование в современном мире: Вызовы XXI века». Нур-Султан – 2019г.С. 112 – 115.
25. Гладиков И. А. УрФУ Экспериментальное исследование влияния размеров частиц субстрата на глубину разложения органического вещества отходов КРС. /Гладиков И. А. Арбузова Е. В., Щеклеин С. Е. / Екатиринбург, 2013г. с. 44-57.
26. Мухин А.А.А.с. 334993 СССР, МКИ В 01 F 3 / 08, А 01 j 11 / 16. Устройство для гомогенизациижидкости/А.А.Мухин,Ю.Н.Кузьмин,А.Ф.Генералов.– № 1456356/28 – 13; Заявлено 02.07.70; Опубл. 11.04.72, Бюл. № 39. – 2 с.
27. Промтов, М. А. Роторные импульсные аппараты и перспективы их применения / М.А. Промтов // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2008. – Вып. 4. – Т. 14. – С.1–3.
28. Ярмаркин Д. А. Сравнительный анализ существующих кавитационных устройств / Д. А. Ярмаркин, Л. С. Прохасько, Р. В. Залилов // Инновационные подходы и технологии для повышения эффективности производств в условиях глобальной конкуренции» международная научно-практическая конференция, посвященная памяти член-корресподента КазАСХН, д.т.н., профессора

Тулеуова Елемеса Тулеуовича. 01 марта 2016 г. – Семей: Государственный университет имени Шакарима. – 2016. – Т. I. С.556–560.
29. Патент № 2306972. МПК B01F5/00. Устройство для гомогенизации и приготовления смесей / Ганиев Р.Ф., Кормилицын В.И., Украинский Л.Е. и др. Опубл.27.09.2007.
30. В. И. Мяленко, И. А. Ганиева Патент РФ 2526993 "Способ получения биогаза из экскрементов животных".
31. Пат. МД №3062. Анаэробный метантенк для обезвреживания труднодеградируемых органических соединений / Ковалев В. В., Ковалева О. В., Унгуряну Д. В., Суман И., Оника В./;опубл. BOPI, № 5, 2006.
32. Пат. МД № 3272. Анаэробный биореакор. /Ковалев В.В., Унгуряну Д.В., Ковалева О.В., Суман И., Мереуца Г. К., Плугару И. Ф., Дука Г. Т./ Опубл. BOPI, № 3, 2007.
33. Есполов Т. И. Биогазовая установка. /Есполов Т. И. Ауланбергенов А. А. Касымбеков Ж. К. Агибаев С. Б. Буркетбаева А. Н./ РГКП "КНАУ" МОН РК. 15.08.2011, бюл. № 8.
34. Айтбаева З. К. «Способ переработки органических отходов» /Айтбаева З. К.,ТлебаевМ. Б., ТажиеваР. Н., ДоумчариеваЖ. Е., Байжарикова.М. А. Патент №103153.-Казахстан. 2016.
35. Сатьянов С. В. Повышение эффективности биоустановок путем получения альтернативной энергии и биоудобрений: /Сатьянов С. В. / дис. канд. техн. наук. – Москва, 2011. – 158 с.
36. Чернышов А. А. Совершенствование биогазовых установок для производства удобрений из навоза КРС: дис. канд. техн. наук / ЧернышовА. А./ All-Россия. Научно-исследовательский институт электрификации сельского хозяйства. -М., 2004. - 118 с.
37. Решетникова И. В. Разработка энергосберегающей электротехнологии сбраживания навоза с использованием объемного СВЧ-нагрева. Диссертации на соискание ученой степени канд. техн. наук, 05.20. 02, Ижевск, 2009.

38. Наумова О. В. Совершенствование электроимпульсной технологии при получении биогаза из органических отходов: /Наумова О. В./ Дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук: 05.20.02: Саратов, 2005 126 с. РГБ ОД;
39. Вохмин В. С. Разработка энергосберегающей электротехнологии сбраживания навоза с использованием индукционного нагрева. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук, Ижевск, 2012г.
40. Tlebayev M. B.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., Baijarikova M. A/ Journal of Phfrmaceutical Sciences and Research Vol. 9(4), 2017, -C 392-400
41. Веденев А. Г. Введение в биогазовые технологии. /Веденев А. Г., Веденева Т. А./ — Б.: «Алтын Принт», 2012. — 40 с.
42. Зигмунд, Ф. Ф. Изучение эффективности перемешивания механическими мешалками в условиях теплового импульса / ЗигмундФ. Ф., ЧасовскийЕ. З. // ТрудыКХТИ. 1962. — Вып. 30. — С. 329−340.
43. Trakhunova I.A. Improving the efficiency of anaerobic processing of organic waste in a digester with hydraulic stirring based on a numerical experiment. Kazan: Kazan Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, 2014. – 16 с.
44. Сидыганов Ю. Н. Результаты математического моделирования процессов теплового перемешивания при анаэробном сбраживании органических отходов / СидыгановЮ. Н., Онучин Е. М., Костромин Д. В., Медяков А. А. // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2011. - № 24. – С. 332-338.
45. Исаев С. М. Математическая модель проточного реактора с мешалкой (CSTR). /Исаев С. М., Тлебаев М. Б. / г. Вена, Австрия, 2015;
46. Кущев Л. А. Теоретические аспекты процесса получения биогаза при анаэробной ферментации органических отходов. /Кущев Л. А. / Работа, выполненная в рамках реализации Гранта РФФИ № 14-48-08039.
47. КущевЛ. А. Математическое моделирование процесса получения биогаза при переработке органических отходов. /КущевЛ. А., СусловД. Ю.,

АлифоноваА. И., НикулинН. Ю./ Энерго и ресурсосбережение. Переработка отходов. Белгород, 2011, - 177с.
48. Самойлов Н. А. Моделирование в химической технологии и расчет реакторов: монография. – Уфа: ООО «Монография», 2005. – 224 с
49. ХмелевС. С. Повышение эффективности кавитационно-акустических воздействий на химико-технологические процессы в аппаратных системах с жидкой фазой значительной вязкости: автореф. дис. канд. техн. наук. Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, Бийск, 2011г.
50 Шестаков С. Д. Формулировка критерия подобия для сонохимических реакторов при обработке сред, не обеспечивающих акустический резонанс, [Текст]/ Шестаков С. Д., Бефус А. П.// Деп. в ВИНИТИ РАН, №840-В2008.
51. Эпштейн Л.А.Динамика каверн при течениях жидкости в трубке с пережатием [Текст] / Эпштейн Л.А.// — М.: [б. и.], 1972.— 20 с.
52. Шальнев К. К. Кавитация, физические стороны явления, вредность в технике, методы борьбы с кавитацией [Текст] / Шальнев К. К. // М.: [б. и.], 1962. - 35 с.
53. Гуревич М. И. Теория струй идеальной жидкости [Текст] / Гуревич М. И. // М.: Наука, 1979. - 536 с.
54. Аганин А. А. Моделирование взаимодействия газовых пузырьков в жидкости с учётом их малой несферичности /Аганин А. А., Давлетшин А. И./ Математическое моделирование. 2009. Том. 21, № 6. С. 89–102.
55. Ivanov V.A. Mathematical modeling of cavitation during debarking of timber in the aquatic environment. / Ivanov V.A., Gasparyan G.R. / *Systems. MethodsTechnology.MathematicalModeling*, 2013, 3(19), 171-178.
56. Спиридонов, Е. К. Теоретическиеосновырасчетаипроектированияжидкостногазовыхструйныхнасосов: дисд-ратех. наук / Е. К. Спиридонов. – М.:НПО «Гидромаш», 1996. – 454 с.
57. Шестаков С. Д. О распределении плотности потенциальной энергии многопузырьковой кавитации по отношению к генерирующей ее

гармонической волне /Шестаков С. Д./Тр.XVI сессия Росс. Акустический пров, т.1.-М.:ГЕОС, 2005

58. Айтбаева З.К.Математическое моделирование процесса кавитационной деструкции в устройсве обработки органического сырья. /Айтбаева З.К, Джунбаева Г.Н., Емекбаева А./ XXIII международной научно-практической конференции молодых ученых и студентов «Научная молодежь в аграрной науке: достижения и перспективы» в рамках проведения года Молодежи Республики Казахстан 26-27 апреля 2019 года. ТОМ 4 С. 8-12.

59. Стретт Дж. В. Теория звука [Текст]/ Стретт Дж. В. // М.: Государственное издательство технико-теоретической литературы, 1955. — 504 с.

60. Кнэпп Р. Кавитация. [Текст]/ Кнэпп Р., Дейли Дж., Хэммит Ф.// М.: Мир, 1974.– 668 с.

61. Шестаков С. Д. Исследование возможности непараметрического усиления многопузырьковой кавитации [Текст] / Шестаков С. Д. //Прикладная физика, 6,

62. Hopkins S. D. Dynamics of a Sonoluminescing Bubble in Sulfuric Acid /Hopkins S. D., Putterman S. J., Kappus B. A. / Phys. Rev. Lett. 2005.

63. Nigmatulin R. I. The theory of supercomp-ression of vapor bubbles and nano-scale thermonuclear fusion /Nigmatulin R. I, Akhatov I. Sh., Topolnikov A. S./ Phys. Fluids. 2005. Vol. 17, No. 10. 107 106.

64. Flannigan D. J. Molecular and atomic emission during single- bubble cavitation in concentrated sulfuric acid Acoustics /Flannigan D. J., Suslick K. S. / Research Letters Online. 2005.Vol. 6. № 3. С. 157-161.

65. АганинА. А. Динамика расположенных в линию кавитационных пузырьков в интенсивной акустической волне. /АганинА. А., ДавлетшинА. И., ТопорковД. Ю./ Вычислительные технологии, Том 19, №1, 2014.

66. Закиров К. Р. Численное моделирование роста и схопывания пузырьков в сжимаемой жидкости. /Закиров К. Р. / дис.канд.физ.-мат.наук. Уфа, 2005. 105с.

67. Аганин А. А. Эволюция искажений сферичности кавитационного пузырька при акустическом сверхсжатии [Текст] / [Аганин А. А., Ильгамов М. А., Нигматулин Р. И., Топорков Д. Ю./MZHG.: 2010. - 57–69 с.

68. GavrilyukS. L. DragforceactingonabubbleinacloudofcompressibleesphericalbubblesatlargeReynolds number /Gavrilyuk S. L., Teshukov V. M./ Eur. J. of Mech. B/Fluids. 2005. Vol. 24, No. 4. P. 468–477.

69. Темнов, В. К. и Переплетчик, О. А. О критических коэффициентах кавитации у жидкостных эжекторов /Темнов, В. К. и Переплетчик, О. А. / Динамика гидропневматических систем: Сборник научных трудов. - Челябинск : ЧПИ, 1978 г.- №197. - стр. 82-86.

70. Müller R. Europäische Wege im Kampf um den Typus [Текст] / Müller R., Michael M. Schardt //Hamburg: Igel, 2011. S. 195-291.

71. Корнев В. В. Биогазовая энергоустановка с оптимальными параметрами [Текст] / Корнев В. В. // Газпромрегионгаз. – 2006 г.;

72. Druzyanova V.P. Resource-saving technology for utilization of uncontrolled waste in the conditions of the Republic of Sakha (Yakutia). / Druzyanova V.P. / *AgrarianBulletinoftheUrals*, 2008, 1(43), 63-64.

73. Ковалев А. А. Повышение энергетической эффективности биогазовых установок [Текст] / Ковалев А. А. // 2001 г.;

74. Березин, И. В. Техническая биоэнергетика [Текст] / И.В. Березин, Е.С. Панц-хава// Биотехнология. – 2003.;

75. Скляр О. Г. Основи біогазових технологій та параметри оптимізації процесу зброджування [Текст] / Скляр О. Г., Скляр Р. В. // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. – Мелітополь: ТДАТУ, 2009. – Вип. 9. –Т. 1. –С.20 -30.

76. Бурга Геммеке. Биогаз на основе возобновляемого сырья Сравнительный анализ шестидесяти одной установки по производству биогаза в [Текст] / Бурга Геммеке, Криста Ригер, Петер Вайланд// Германии GFA, 2010 – 116с.

77. Андрюхин Т. Я. Рециркуляционное анаэробное сбраживание отходов сельского хозяйства с выработкой биогаза [Текст] / Андрюхин Т. Я. [и др.] // Биотехнология. – 1989г.

78. Дворецкий Д. С. Компьютерное моделирование — биотехнологических процессов и систем: учеб.пособие [Текст] / Д. С. Дворецкий, С. И. Дворецкий, Е. И. Муратова А. А. Ермаков. // - Издательский Дом Тамб. тек. Университет, 2005. - 80 с.

79. Доумчариева Ж. Е. Расчет скорости выхода метана технологического процесса метанового сбраживания органического субстрата. /Доумчариева Ж. Е., Нуржигитова Ж. Н., Байжарикова М. А., Бейшен Е. М. / Молодой ученый, Международный научный журнал, №4.1 (138.1)/2017.

80. Ратушняк Г. С. Интенсификацiя бтоконверсiї коливальним перемшуванням субстрату: / Ратушняк Г. С. Джеджула В. В. // Монография. - Венеция: УНВЕРСУМ-Венеция, 2008. - 117 с.

81. Ruzhinskaya L.I. Mathematical modeling of the processes of anaerobic digestion of an organic substrate. / Ruzhinskaya L.I., Fomenkova A.A. / Overview. ScienceRise, 2014, 4/2(4), 63-69.

82. Vachagina E.K. A mathematical model of the motion of a two-phase gas-liquid medium in a cylindrical fermenter of a biogas plant. / Vachagina E.K., KaraevaYu.V. / Alternative Energy and Ecology, 2009, 10, 79-84.

83. Лапин, Е. Д. Математические модели биотехнологических процессов / ЛапинЕ. Д., БелоусовВ. В., Юрина О. А. // Труды ТГТУ: сб. ст. магистрантов/Тамб. гос. техн. ун-т. – Тамбов, 2006. – Вып. 4. – С. 41–45.

84. Тлебаев М. Б. Разработка и проектирование трехступенчатой высокоскоростной биогазовой установки. /Тлебаев М. Б., Тажиева Р. Н., Айтбаева З. К., Нуржигитова Ж. Н. / Известия ВУЗов Кыргызстана. Республиканский научно-теоретический, г. Бишкек, 2016. - №5.- С.124-128. 12.

85. ИвановВ.А. Математическое моделирование кавитации в процессе окорки лесоматериалов в водной среде. /ИвановВ.А., ГаспарянГ.Р. / Системы. Методы. Технологии. В.А. Иванов и др. Математическое моделирование. – Россия, Братск, 2013. С.171-178.

86. КущевЛ.А. Математическое моделирование процесса получения биогаза при переработке органических отходов. /КущевЛ.А., СусловД.Ю.,

АлифоноваА.И., НикулинН.Ю. / Энерго и ресурсосбережение. Переработка отходов. Белгород, 2011г.
87. Попов Ю. В. Химические реакторы (теория химических процессов и расчет реакторов): /Попов Ю. В., Корчагина Т. К., Панчехин В. А. / учебное пособие. – Волгоград: ВолгГТУ, 2013. – 240 с.
88. Дытнерский Ю. И. Основные процессы и аппараты химической технологии: пособие по проектированию / Ю.И. Дытнерский / - М.: Химия, 1991. - 496с.
89. Барков В. И., Токмолдаев А. Б.; УДК 636:631.3:621.3; Сельское хозяйство / Механизация сельского хозяйства; Казахский научно исследовательский институт механизации и электрификации сельского хозяйства (КазНИИМЭСХ) Республика Казахстан; выбор технологического оборудования для утилизации навоза.
90. https://econet.ru/articles/146539-kak-poluchit-biogaz-iz-navoza-tehnologiya-i-ustroystvo-ustanovki-po-proizvodstvu; Как получить биогаз из навоза: технология и устройство установки по производству.
91. http://www.zorgbiogas.ru/?lang=ru.
92. http://en.puxintech.com/pxabs?gclid=CP6QtMLN4tQCFQpJGQod-UoFHA;PX-ABS-.4M3.
93. http://www.rosbiogas.ru/on-line-calculator-3.html; Универсальный рассчет по Мовсесову Г.Е.
94. Исаев С. М. «Моделирование работы биогазовой установки в интегрированной среде TRACEMODE». /Исаев С. М., Бейшен Е. М, Байжарикова М. А., Омирбайулы Д. / Журнал Известия вузов Кыргызстана, №5, 2017 Бишкек-2017
95. http://www.scada.ru/publication/book/preface.html
96. ШестаковС.Д. Многопузырьковая акустическая кавитация: математическаямодель и физическое подобие. /ШестаковС.Д. / Электронный журнал «Техническая акустика». 2010г.

97. Попов Ю. В. Химические реакторы (теория химических процессов и расчет реакторов) / Попов Ю. В., Корчагина Т. К., Панчехин В. А.//: учебное пособие. – Волгоград: ВолгГТУ, 2013. – 240 с.

98. Beglerova S.T. *Digitalization of higher education as a key factor in the development of agriculture*. / Beglerova S.T., Aitbaeva Z.K., Makovetskaya A.A. / Higher School of Kazakhstan - NUR-SULTAN, - № 4 (28) / 2019. С. 81-84.

99. Орлова Ю. А. Автоматизация и управление биоконверсией с целью повышения качества технологического процесса когенерации. Автореферат диссертации на соискание ученой степени канд. техн. наук, 05.13.06, Москва, 2012г.

100. Орлова Ю.А. Информационное обеспечение автоматизированных биогазовых станций / Орлова Ю.А. / Безопасность жизнедеятельности №3, 2012,с.24-26.

101. Kudryashova A.G. Substantiation and development of means for increasing the energy efficiency of the three-stage digester. / Kudryashova A.G. / Izhevsk: Izhevsk State Agricultural Academy, 2011. – 71 с.

102. Бойцов Е.П. Разработка и исследование автоматической системы управления процессом гидродинамического измельчения биомассы / Бойцов Е.П. /

103. RuthSuehle. Raspberry Pi Hacks: The book / Ruth Suehle, Tom Callaway. - O'Reilly Media. Inc., 2013. - 367 p.

104. АрсенкинА.М. Гидромеханическоедиспергирование / АрсенкинА.М., БыковаЮ.С., ГоршенковМ.В., ЕсинВ.А., ЗадорожныйВ.Ю., БалабышкоА.М., ЗиминА.И., РужицкийВ.П. – М.: Наука, 1998. – 331 с.

105. Galimbekov A.D. Investigation of The Influence of High Frequency Electromagnetic Fields On Sorption Processes. / Galimbekov A.D., Kadyrov M.A., Drugov D.A., Muratova G.I., Baizharikova M.A./ Latvian Journal of Physics and Technical Sciences, 2019, 56(1), 53-59.

106. Biogas manual. From receipt to use, 2010. Retrieved from: https://mediathek.fnr.de/media/downloadable/files/samples/h/a/handreichungbiogasru2012.pdf.

107. SidyganovYu.N. Anaerobic waste processing for biogas production. / SidyganovYu.N., Shamshurov D.N., Kostromin D.V. / Mechanization and Electrification of Agriculture, 2008, 6, 42-43.

108. Vedenev A.G. PF “Fluid” Biogas technologies in the Kyrgyz Republic. / Vedenev A.G. / Bishkek: Euro Printing House, 2006. – 48 c.

109. Zhumagazhinova A.T. Methods of intensification of the processes of anaerobic digestion. / Zhumagazhinova A.T., Algazinova N.K. / - Bulletin of the Innovative Eurasian University. 2014. No1 ISSN 1729-536X

110. Meshcheryakova I.V. Development and research of a multistage hydropercussion-cavitation device for fine grinding of hard-to-concentrate ores, dissertation abstract for the degree of candidate of technical sciences./ Meshcheryakova I.V. / - Krasnoyarsk, 2014 - 23 p. Scientific adviser: Doctor of Technical Sciences, Professor A.N. Anushenkov

111. Шаяхметов Р. Г. Влияние конструкций метантенков на интенсификацию процессов анаэробного сбраживания /Шаяхметов Р. Г. / Молодой ученый. – Чита: Изд-во ООО «Молодой ученый», 2011. – Т. 1, № 5(28). – С.113-116.

112. Хамроев Х. ХПонятия технической нормы в машиностроении /Хамроев Х. Х., Кулдошев Э. И., Авазова Д., Наботов С. И. / Молодой ученый. — 2016. — №3. — С. 221-223. — URL https://moluch.ru/archive/107/25666/ (дата обращения: 06.03.2019).

113. Исаченко В. П. Теплопередача / В. П. Исаченко, В. А. Осипова, А.С. Сукомел. М.: Энергоиздат, 1981.- 416 с.

114. Капустин А.С. Исследование теплообмена при перемешивании вязких жидкостей / Капустин А.С. / Автореф. дисс. канд. техн. наук.- JL, 1967.-24 с.

115. Кутателадзе С. С. Основы теории теплообмена / КутателадзеС. С. / Новосибирск: Наука, 1970. — 660 с.

116. Козлов Г. С. Интенсификация теплообмена при перемешивании высоковязких ньютоновских жидкостей в аппаратах / Козлов Г. С. // Автореф. дис. канд. техн. наук. 1970. — 17 с.
117. Кондратьев Г. М. Регулярный тепловой режим / Г. М. Кондратьев. -М.: ГТТИ, 1954. 240 с.
118. (http://thermalinfo. ru/eto-interesno/kriterialnye - uravneniya - teploobmena – raschet - teplootdachi-v-trubah-i-kanalah)
119. Зарыкбаева К. С. Определение энергетической эффективности метантенка биогазовой установки. /Зарыкбаева К. С., Степанова О. А., Ермоленко М. В., Золотов А. Д. / Молодой ученый. — 2014. — №6. — С. 161-164. — URL https://moluch.ru/archive/65/10732/ (дата обращения: 27.03.2019).
120. Землянка О. О., Губинський М. В. // Вибір раціональних режимів роботи реактора біогазової установки. “Технічна теплофізика та промислова теплоенергетика”, випуск 1, 2009 – 9 с.
121. Землянка О. О., Губінський М. В. // Дослідження впливу флотаційних процесів на продуктивність біогазової установки. “Вісник Вінницького політехнічного інституту”, 2010, №3, - 6 с.
122. Тлебаев М. Б., Тажиева Р.Н., Доумчариева Ж.Е., АйтбаеваЗ.К., Байжарикова М. А.Отчето научно-исследовательской работе по теме «Компьютерный контроль параметров, автоматизация управления метанового сбраживания органических отходов в биореакторах» (заключительный) МРНТИ 62.01.91,62.01.77
123. Тлебаев М. Б., Тажиева Р.Н., Доумчариева Ж.Е., АйтбаеваЗ.К.,Байжарикова М. А.Отчет о научно-исследовательской работе по теме «Моделирование и оптимизация процесса анаэробного брожения в биогазовой установке с получением продуктов: Метана, двуокиси углерода и воды»(заключительный) МРНТИ 62.01.91,62.01.77
124. Бийбосунов Б. И. Автоматизация системы управления и контроля трехступенчатым процессом сбраживания субстрата в биогазовой установке. /

Бийбосунов Б. И., Тажиева Р. Н., Доумчариева Ж. Е., Айтбаева З. К. / Известия вузов Кыргыстана, № 5.– Бишкек, 2016.С. 90-93.

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

126. Тлебаев М.Б. 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.

127. Деменков Н.П. Языки программирования промышленных контроллеров. /Деменков Н.П. /Учебное пособие/ / Под ре-дакцией К.А. Пупкова.- М. : Изд-воМГТУим.Н.Э.Баумана, 2004 г. 172 стр.

128. Петров И.В. Программируемые контроллеры. Стандартные языки и инструменты./ Под ред. проф. В.П.Дьяконова . – М.: СОЛОНПресс, 2003. - 256 с.

129. FINALDRAFT - IEC 61131-3, 2ndEd.PROGRAMMABLECONTROLLERS - PROGRAMMINGLANGUAGES 2001-04-16

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

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

132. ТрушниковМ. А. Автоматизированные системы управления в промышленности : учеб.пособие / М. А.Трушников [и др.] ; ВПИ (филиал) ВолгГТУ. - Волгоград : ВолгГТУ, 2010. - 97 с.

133. Майер Р.В. Основы компьютерного моделирования: учебное пособие. -- глазов: ГГПИ, 2005. - 25 с.

134. Исаев С. «Моделирование работы биогазовой установки в интегрированной среде TRACEMODE»./ Исаев С., Бейшен Е., Байжарикова М.А., Омирбайулы Д. / Журнал Известия вузов Кыргызстана, №5, 2017 Бишкек-2017

135. Дибиров Я. А. УПРОЩЕННЫЙ И ДОСТОВЕРНЫЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИЙ МЕТАНА И ДИОКСИДА УГЛЕРОДА В БИОГАЗЕ / Я. А. Дибиров, К. Я. Дибиров // Международный научно-исследовательский журнал. — 2019. — № 11 (77) Часть 1. — С. 42—47. — URL: https://research-journal.org/technical/uproshhennyj-i-dostovernyj-metod-opredeleniya-koncentracij-metana-i-dioksida-ugleroda-v-biogaze/ (дата обращения: 25.11.2019.). doi: 10.23670/IRJ.2018.77.11.007

136. Akhnazarova S. L. Methods of optimizing an experiment in chemical technology. / Akhnazarova S. L., Kafarov V. V. / Textbook. allowance. 2nd ed., Revised. and add. - M .: Higher. Shk, 1985.- 327 pp .: ill.

137. Красовский, Г. И. Планирование эксперимента / Г. И. Красовский, Г. Ф. Филаретов.- М.: Изд-во БГУ, 1982.- 302с.

П Р И Л О Ж Е Н И Я

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Акт внедрения

УТВЕРЖДАЮ
Зав. Кафедрой
«Прикладная информатика и программирование»
_____ Тлебаев М.Б.
«28» 01 2020

Акт внедрения
Результатов НИР в учебный процесс

Настоящим подтверждением, что в ходе выполнения диссертационного исследования на тему «Автоматизация и управление кавитационной диструкцией отходов животноводства для интенсификации анаэробного сбраживания» разработан курс «Моделирование химико-технологических процессов» в объеме 3 кредита (30 лекционных и 15 лабораторных часов), который внедрен в учебный процесс на кафедре «Прикладная информатика и программирование» по специальности 5В060200 – Информатика.

Разработчики курса: преподаватель Айтбаева З.К.

Декан факультета Г.И. Муратова

Акт внедрения

СОГЛАСОВАНО
Проректор по научной работе
ТарГУ им. М. Х. Дулати
Койбаков С.М.
(Фамилия, инициалы)
М.П.
«20» 01 2020

УТВЕРЖДАЮ
Директор крестьянского хозяйства
«Акжар»
Ибраева Г.Е
(Фамилия, инициалы)
М.П.
«20» 01 2020

Акт внедрения
о реализации научных результатов, полученных в диссертации Айтбаевой Замиры Кишкембаевны на соискание ученой степени кандидата наук по направлению технических наук по специальности «05.13.06 – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (пол отраслям) на тему: «Автоматизация и управление кавитационной диструкцией отходов животноводства для интенсификации анаэробного сбраживания»

Настоящим подтверждением, что в ходе выполнения диссертационного исследования на тему «Автоматизация и управление кавитационной диструкцией отходов животноводства для интенсификации анаэробного сбраживания» в Таразском государственном университете им. М.Х. Дулати по результатам научных исследований, полученного патента проводимым по хоздоговорной научно-исследовательской работе была спроектирована и собранна УОС.

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. 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 практическую реализацию основных методик и алгоритмов автоматизации технологических процессов кавитационной деструкции и анаэробного сбраживания в психрофильном режиме проводили на действующей установке в КХФ «Акжар» СПК «Бірлік-Туймекент» РК для уточнения и регулировании входных параметров.

Исполнители: Айтбаева З.К.
Байжарикова М.А.
Декан факультета Муратова Г.И.
Зав. Кафедрой Тлебаев М.Б.

Акт внедрения

УТВЕРЖДАЮ
Председатель сельхоз
производственного кооператива
СПК «Бірлік Туймекент»

«___» _____ 2019 г

АКТ
о реализации научных результатов, полученных в диссертации Айтбаевой Замиры Кишкембаевны на соискание ученой степени кандидата наук по направлению технических наук по специальности «05.13.06 – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (пол отраслям) на тему: «Автоматизация и управление кавитационной диструкцией отходов животноводства для интенсификации анаэробного сбраживания»

Комиссия в составе:

1. Байжарыкова М.А. – председатель, магистр
2. Мырзабаев К. – зав. Производством
3. Бисенбаев А. – электрик/монтажник
4. Рустамбекова Б. – бухгалтер

Свидетельствует о том, что при разработке и автоматизации биогазовой установки были реализованы следующие научные результаты, полученные в кандидатской диссертации Айтбаевой ЗамирыКишкембаевны.

1. Решены проблемы сокращение периода сбраживание субстрата в биореакторе за счет кавитационнойдиструкции, автоматизацией и ситстемой управления биогазовой установки.
2. Оптимизация узлов кавитационной диструкцией субстрата и психпрофильного режима анаэробного сбраживания, обеспечивающий интенсификацию работы биогазовой установки путем автоматизации.
3. Разработан способ переработки отходов животноводства, с первоначальной подготовкой субстрата.
4. Ускоренное поэтапное сбраживание навоза КРС.

Реализация материалов диссертации Айтбаевой Замиры Кишкембаевны позволила:

1. Повысить выход биогаза
2. Сократить сроки анаэробного сбраживания
3. Возможность строительства биореакторов меньших объемов и размеров, с уменьшением затрат.
4. Улучшения экологических и социальных условий
5. Использование в быту биогаза и биоудобрений

Материалы диссертации использованы в следующих документах, материалах и разработках:

1. Отчет ГОСНТИ 1
2. Отчет ГОСНТИ 1
3. Патент 1
4. Патент 2

По результатам реализации получен следующий положительный эффект:

1. Разработано устройство обработки сырья, позволяющее предварительно измельчить и гомогонизировать отходы животноводства перед подачей его на сбраживание в биореакторе.
2. Применение кавитационого деструктора для обработки сырья в УОС позволило осуществить его за 2 цикла. Получаемый при этом разброс частиц в интервале от 50 мкм до 1 мм, и полезная площадь для воздействия микроорганизмов увеличилась за счет влияния ультразвуковых частот на структуру мембранных клеток.
3. Разработан алгоритм автоматизации и беспроводного управления по показаниям датчиков и по сигналам таймера. Блок автоматики включает и выключает систему подогрева, систему перемешивания, а также сигнализирует о начале и конце залива и слива сырья.
4. Разработан способ переработки отходов животноводства в УОС и биореакторе, включающую ее измельчение, нагрев, насыщения бактериями с дополнительным нагревом и перемешиванием субстрата в биореакторе работающим в психрофильном режиме сбраживания.
5. Разработано программное обеспечение для, осуществляя моделирования и управления работой основных параметров процессов деструкции и сбраживания органических отходов в ИС TRACEMODE;
6. Построены мнемосхемы и интерфейсы работающие в онлайн –режиме, следящий за реальным ходом работы оборудований по предварительной подготовке и сбраживанию отходов в ИС TRACEMODE, процесса нагрева в COMSOLMULTIPHYSICS 4.3.

Председатель комиссии _____ Байжарыкова М.А.

Члены комиссии _____ Мырзабаев К.

_____ Бисенбаев А.

_____ Рустамбекова Б.

Акт внедрения

СОГЛАСОВАНО
Ректор (проректор) вуза
Директор (заместитель
директора) НИИ, КБ
_____
«20» 11 20 16 г.

УТВЕРЖДАЮ
Руководитель организации
_____
«___» _____ 20___ г.

АКТ ВНЕДРЕНИЯ

результатов научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ в высших учебных заведениях

Заказчик Руководитель крестъянского хозяйство «Акжар», Бисенбаева Г.Е.
(наименование организации, Ф.И.О. руководителя организации)

Настоящим актом подтверждается, что результаты работы: «Моделирование и оптимизация процесса анаэробного брожения в биогазовой установке с получением продуктов: метана, двуокиси углерода и воды» (производство биогаза)
(наименование темы, № гос.регистрации)

выполненной Таразским государственным университетом им. М.Х. Дулати, кафедра «Информатика»
(наименование ВУЗа, НИИ, КБ)
стоимостью 2000000 тенге
(цифрами и прописью)
выполняемой с 01.01.2015 – 30.12.2016 г.
(сроки выполнения)
внедрены в К/Х «Акжар»
(наименование предприятия, где осуществлялось внедрение)

1.Вид внедренных результатов биогазовые технологии получения метана и жидких биоудобрений в трехступенчатой биогазовой установке
(эксплуатация изделия, работы, технологии);
производство (изделия, работы, технологии),
функционирование (систем)

2.Характеристика масштаба внедрения:
единичное
(уникальное, единичное, партия, массовое, серийное)

3.Форма внедрения:

Методика (метод): Моделирование и оптимизация процесса анаэробного брожения в биогазовой установке с получением продуктов: метана, двуокиси углерода и воды.

Выбранный нами подход связан с ускорением и максимальным получением биогаза из органических отходов непрерывным поэтапным метановым сбраживанием в реакторах. За основу данной биогазовой установки принят трехступенчатый процесс анаэробного сбраживания при получении биогаза.

Цель: Разработка математических моделей процесса гидролиза, и повышение кислотности в ферментаторах и выработка оптимальных рекомендаций по проектированию и автоматизации биогазовой установки. Разработка программного обеспечения для обработки результатов компьютерного моделирования.

Задачи:

1. Исследовать условия и возможности интенсификации и повышения эффективности в процессе метанового брожения органических отходов бактериями: первичного гидролизного расщепления; повышения кислотности; образования уксусной кислоты и образования метана.

2. Создать модель поэтапного метанового сбраживания органических отходов в реакторах, включающую ее измельчение, нагрев, насыщения бактериями с дополнительным нагревом и перемешиванием на каждой стадии процесса и дать ее математическое описание.

3. Разработать программное обеспечение расчета гидродинамики движущихся потоков отдельных фаз многокомпонентной биосмеси на каждой стадии метанового сбраживания и очистки биогаза, через решения конечной системы уравнений методом трехдиагональной матрицы.

4.Новизна результатов научно-исследовательских работ качественно новые
(пионерские, принципиально новые,
качественно новые, модификация, модернизация старых разработок)

5.Опытно-промышленная проверка Проведены испытания на экспериментальном стенде и определены оптимальные параметры: давление, перемешивание, температура 11.04.2016 г.
(указать номер и дату актов испытания,
К/Х «Акжар»
(наименование предприятия, период)

6.Внедрены:
- в промышленное производство процесс
(участок, цех (цеха), процесс)
- в проектные работы
(указать объект, предприятие)

7.Годовой экономический эффект *
ожидаемый 800 тыс.тг.
(от внедрения в проект)
фактический тыс. тенге

в том числе долевое участие
тыс. тенге
(цифрами и прописью)

8.Удельная экономическая эффективность внедренных результатов тыс тг

9.Объем внедрения

что составляет от объема внедрения,

положенного в основу расчета гарантированного экономического эффекта, рассчитанного по окончании НИВ
(Э гар.= тыс. тенге) ,
а при поэтапном внедрении Э гар. при заключении договора.

Социальный и научно – технический эффект: Итогом проведенной работы явилось совершенствование работы биогазовой установки с трехступенчатым метантенком. Проектируемая биогазовая установка, оборудованная дополнительными ступенями метанового сбраживания (модулями с биореакторами) делает процесс получения метана из биогаза практически полностью непрерывным и безотходным. Субстрат, оставшейся после ферментации, идет на производство экологически чистых минеральных удобрений и кроме тепла, из метана можно добывать экологически чистое электричество и топливо для грузовых и легких автомобилей.

Итогом проведенной работы явилось совершенствование работы биогазовой установки с трехступенчатым метановым сбраживанием в биореакторах, с измельчением экскрементов на кавитаторах и с отделением CO_2 на первой ступени.

Приложение: Расчет экономической эффективности от внедрения новой разработки по моделированию и оптимизации процесса анаэробного брожения в биогазовой установке.

От ВУЗа:
Начальник отдела ОКНИР

Руководитель НИР

От предприятия:
Начальник планового отдела

Ответственный за внедрение

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Патент на разработку

МИНИСТЕРСТВО ЮСТИЦИИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

УДОСТОВЕРЕНИЕ АВТОРА

№ 103153

Настоящим удостоверяется, что Айтбаева Замира Кишкембаевна (KZ)

и Тлебаев Манат Бейшенович (KZ); Тажиева Рысты Нарбаевна (KZ); Доумчариева Жанагул Есеновна (KZ); Байжарикова Марина Аитмухановна (KZ)

является(ются) автором(ами) полезной модели

(11) 2943

(54) Способ переработки органических отходов

(73) *Патентообладатель:* Республиканское государственное предприятие на праве хозяйственного ведения "Таразский государственный университет имени М.Х.Дулати" Министерства образования и науки Республики Казахстан (KZ)

(21) 2016/0566.2
(22) 21.10.2016

Вице-министр юстиции
Республики Казахстан Н. Пан

ПРИЛОЖЕНИЕ3

Листинг программного обеспечения работоспособного алгоритма контроля за биореактором, включающий в себя анализ параметров температуры и уровня

Программа на ST

//Для начала необходим раздел описания данных, к которым привязаны аргументы экрана

```
PROGRAM
VAR_INOUT gas : REAL; END_VAR
VAR_INOUT anim_drob : REAL; END_VAR
VAR_INOUT anim_dis : REAL; END_VAR
VAR_INOUT anim_pod : REAL; END_VAR
VAR_INOUT temp : REAL; END_VAR
VAR_INOUT sign : REAL; END_VAR
VAR_INOUT uroven : REAL; END_VAR
VAR_INOUT vkl : REAL; END_VAR
VAR_INOUT klapan : REAL; END_VAR
VAR_INOUT sliv : REAL; END_VAR
VAR_INOUT temp2 : REAL; END_VAR
VAR_INOUT temp3 : REAL; END_VAR
VAR_INOUT uroven2 : REAL; END_VAR
VAR_INOUT uroven3 : REAL; END_VAR
VAR_INOUT random : REAL; END_VAR
VAR_INOUT anim_r1 : REAL; END_VAR
VAR_INOUT anim_r2 : REAL; END_VAR
VAR_INOUT klapan2 : REAL; END_VAR
VAR_INOUT vkl2 : REAL; END_VAR
VAR s : REAL := 0; END_VAR
s=5;
```

//В данном блоке показано управление клапана горелок, включение или отключении при необходимости.

```
if vkl2==1
then
gas=1;
temp=temp+6;
else
gas=0;
end_if;
if temp>=30 then gas=0;
end_if;
If temp<=25 then gas=1;
end_if;
if gas==1
then
```

```
temp=temp+3;
else
temp=temp-3;
end_if;
if temp>=30
then
gas=0;
end_if;
If temp<=25
then gas=1;
end_if;
ifvkl==1 then
uroven=uroven+8;
end_if;
```

// В данном блоке показано управление уровнем в емкости. Происходит контроль, в котором при превышении идет слив жидкости в следующий реактор, при недостатке с предыдущего.

// При превышении реактором допустимого уровня, происходит аварийный сигнал и загорается лампа над реактором.

```
ifuroven>=80 then
uroven=uroven-s;
end_if;
ifuroven>80 then
anim_drob=1;
else
anim_drob=0;
end_if;
ifuroven<=75 then
uroven=uroven+s;
end_if;
END_PROGRAM
```

Текст программного обеспечения создания набора в емкость 1 органического сырья.

```
SFC_STEP "ШАГ 1"
    VAR_INOUT Уровень3_R : REAL := 0; END_VAR
    VAR_OUTPUT Слив_b1 : REAL; END_VAR
    VAR_INOUT Уровень2_R : REAL := 0; END_VAR

    while Уровень3_R<100 do
    Уровень3_R=Уровень3_R+1;
    END_while;

END_SFC_STEP
```

Рис. П.3.1 Программный листинг «Шаг 1»

```
SFC_TRANSITION "не нажата" FROM( INITIAL_STEP ) TO( STEP_1
    VAR_INOUT Уровень3_R : REAL := 0; END_VAR
    VAR_OUTPUT Слив_b1 : REAL; END_VAR
    VAR_INOUT Уровень2_R : REAL := 0; END_VAR

    !Слив_b1

END_SFC_TRANSITION
```

Рис. П.3.2 Программный листинг «не нажата»

```
SFC_STEP "ШАГ 2"
    VAR_INOUT Уровень3_R : REAL := 0; END_VAR
    VAR_OUTPUT Слив_b1 : REAL; END_VAR
    VAR_INOUT Уровень2_R : REAL := 0; END_VAR

    while Уровень3_R<0 do
    Уровень3_R=Уровень3_R-1;
    END_while;

END_SFC_STEP
```

Рис.П.3.3 Программный листинг «Шаг 2»

```
SFC_TRANSITION "нажата" FROM( INITIAL_STEP ) TO( STEP_2 )
VAR_INOUT Уровень3_R : REAL := 0; END_VAR
VAR_OUTPUT Слив_b1 : REAL; END_VAR
VAR_INOUT Уровень2_R : REAL := 0; END_VAR
Слив_b1
END_SFC_TRANSITION
```

Рис.П.3.4 Программныйкод«нажата»

```
SFC_STEP "ШАГ 3"
    VAR_INOUT Уровень3_R : REAL := 0; END_VAR
    VAR_OUTPUT Слив_b1 : REAL; END_VAR
    VAR_INOUT Уровень2_R : REAL := 0; END_VAR

    while Уровень2_R<100 do
    Уровень2_R=Уровень2_R+1;
    END_while;

END_SFC_STEP
```

Рис.П.3.5 Программныйкод «Шаг 3»

```
SFC_TRANSITION "true" FROM( STEP_2 ) TO( STEP_3 )
VAR_INOUTУровень3_R : REAL := 0; END_VAR
VAR_OUTPUT Слив_b1 : REAL; END_VAR
VAR_INOUT Уровень2_R : REAL := 0; END_VAR
true
END_SFC_TRANSITION
```

Рис.П.3.6 Программныйкод «true»

Текст программного обеспечения измельчения органического сырья в УОС.

```
SFC_STEP "ШАГ 1"
    VAR_INOUT Измельчение_R : REAL; END_VAR
    VAR_INOUT УровеньП_R : REAL := 0; END_VAR
    VAR_INOUT Уровень2_R : REAL; END_VAR
    VAR_OUTPUT Слив_R : REAL; END_VAR
    VAR_OUTPUT Уровень3_R : REAL; END_VAR
    VAR_INOUT Общийпрогон_R : REAL; END_VAR
    VAR_INPUT Размер_R : REAL; END_VAR
    VAR_OUTPUT Общеевремя_R : REAL; END_VAR
    VAR_INPUT Объем_R : REAL; END_VAR
    VAR_INPUT Объем_труб_R : REAL; END_VAR
    VAR_OUTPUT Дразмер_R : REAL; END_VAR
    VAR_OUTPUT Ось_X_R : INT; END_VAR
    VAR_OUTPUT i_R : INT; END_VAR
    VAR_INOUT chas_R : INT; END_VAR
    VAR_INOUT min_R : INT; END_VAR
    VAR x : INT := 1; END_VAR

    Уровень2_R=УровеньП_R;
    Слив_R=0;
    Уровень3_R=0;

END_SFC_STEP
```

Рис.П 3.7Программа «Шаг 1»

```
SFC_TRANSITION "включен" FROM( INITIAL_STEP ) TO( STEP_1 )
VAR_INOUT Измельчение_R : REAL; END_VAR
VAR_INOUT УровеньП_R : REAL := 0; END_VAR
VAR_OUTPUT Общеевремя_R : REAL; END_VAR
VAR_INPUT Объем_R : REAL; END_VAR
VAR_INPUT Объем_труб_R : REAL; END_VAR
VAR_OUTPUT i_R : INT; END_VAR
VAR_INOUT chas_R : INT; END_VAR
VAR_INOUT min_R : INT; END_VAR
VAR x : INT := 1; END_VAR
Измельчение_R
END_SFC_TRANSITION
```

Рис.П 3.8Программа «Включен»

```
SFC_STEP "ШАГ 3"
    VAR_INOUT Измельчение_R : REAL; END_VAR
    VAR_INOUT УровеньП_R : REAL := 0; END_VAR
    VAR_INOUT Уровень2_R : REAL; END_VAR
    VAR_OUTPUT Слив_R : REAL; END_VAR
    VAR_OUTPUT Уровень3_R : REAL; END_VAR
    VAR_INOUT Общийпрогон_R : REAL; END_VAR
    VAR_INPUT Размер_R : REAL; END_VAR
    VAR_OUTPUT Общеевремя_R : REAL; END_VAR
    VAR_INPUT Объем_R : REAL; END_VAR
    VAR_INPUT Объем_труб_R : REAL; END_VAR
    VAR_OUTPUT Дразмер_R : REAL; END_VAR
    VAR_OUTPUT Ось_X_R : INT; END_VAR
    VAR_OUTPUT i_R : INT; END_VAR
    VAR_INOUT chas_R : INT; END_VAR
    VAR_INOUT min_R : INT; END_VAR
    VAR x : INT := 1; END_VAR

Общеевремя_R=(233.1369*Объем_R*9.61)/(Размер_R+45.5042);

if  Размер_R>=18 then
Общийпрогон_R= 233.1369/(Размер_R+45.5042);
end_if;

if  Размер_R<18 then
Общийпрогон_R= (161.11/Размер_R)**0.59;
end_if;

chas_R=Общеевремя_R/3600;
min_R=(Общеевремя_R%3600)/60;

END_SFC_STEP
```

Рис.П 3.9Программа «Шаг 3»

```
SFC_TRANSITION "true" FROM( STEP_3 ) TO( STEP_4 )
  VAR_INOUT Измельчение_R : REAL; END_VAR
  VAR_INOUT УровеньП_R : REAL := 0; END_VAR
  VAR_INOUT Уровень2_R : REAL; END_VAR
  VAR_OUTPUT Слив_R : REAL; END_VAR
  VAR_OUTPUT Уровень3_R : REAL; END_VAR
  VAR_INOUT Общийпрогон_R : REAL; END_VAR
  VAR_INPUT Размер_R : REAL; END_VAR
  VAR_OUTPUT Общеевремя_R : REAL; END_VAR
  VAR_INPUT Объем_R : REAL; END_VAR
  VAR_INPUT Объем_труб_R : REAL; END_VAR
  VAR_OUTPUT Дразмер_R : REAL; END_VAR
  VAR_OUTPUT Ось_X_R : INT; END_VAR
  VAR_OUTPUT i_R : INT; END_VAR
  VAR_INOUT chas_R : INT; END_VAR
  VAR_INOUT min_R : INT; END_VAR
  VAR x : INT := 1; END_VAR
  true
END_SFC_TRANSITION
```

Д) Программа «true»

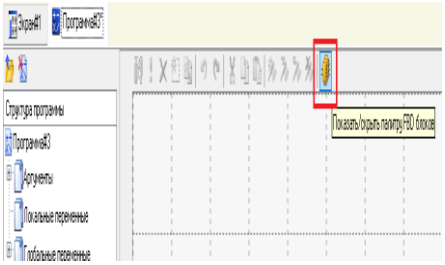


Рис.П 3.10 Создание блоков в программе FBD

Рис.П 3.11 Программа FBD блоки

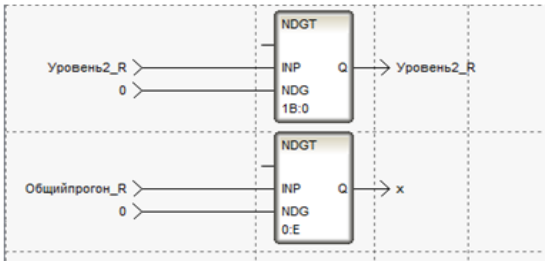


Рис.П 3.12 FBD диаграмма

```
SFC_STEP "ШАГ 5"
    VAR_INOUT Измельчение_R : REAL; END_VAR
    VAR_INOUT УровеньП_R : REAL := 0; END_VAR
    VAR_INOUT Уровень2_R : REAL; END_VAR
    VAR_OUTPUT Слив_R : REAL; END_VAR
    VAR_OUTPUT УровеньЗ_R : REAL; END_VAR
    VAR_INOUT Общийпрогон_R : REAL; END_VAR
    VAR_INPUT Размер_R : REAL; END_VAR
    VAR_OUTPUT Общеевремя_R : REAL; END_VAR
    VAR_INPUT Объем_R : REAL; END_VAR
    VAR_INPUT Объем_труб_R : REAL; END_VAR
    VAR_OUTPUT Дразмер_R : REAL; END_VAR
    VAR_OUTPUT Ось_X_R : INT; END_VAR
    VAR_OUTPUT i_R : INT; END_VAR
    VAR_INOUT chas_R : INT; END_VAR
    VAR_INOUT min_R : INT; END_VAR
    VAR x : INT := 1; END_VAR

    Общийпрогон_R=x;
i_R=x*(Объем_R/Объем_труб_R);

END_SFC_STEP
```

Рис. П.3.13 Программа «Шаг 5»

```
SFC_STEP "ШАГ 6"
    VAR_INOUT Измельчение_R : REAL; END_VAR
    VAR_INOUT УровеньП_R : REAL := 0; END_VAR
    VAR_INOUT Уровень2_R : REAL; END_VAR
    VAR_OUTPUT Слив_R : REAL; END_VAR
    VAR_OUTPUT УровеньЗ_R : REAL; END_VAR
    VAR_INOUT Общийпрогон_R : REAL; END_VAR
    VAR_INPUT Размер_R : REAL; END_VAR
    VAR_OUTPUT Общеевремя_R : REAL; END_VAR
    VAR_INPUT Объем_R : REAL; END_VAR
    VAR_INPUT Объем_труб_R : REAL; END_VAR
    VAR_OUTPUT Дразмер_R : REAL; END_VAR
    VAR_OUTPUT Ось_X_R : INT; END_VAR
    VAR_OUTPUT i_R : INT; END_VAR
    VAR_INOUT chas_R : INT; END_VAR
    VAR_INOUT min_R : INT; END_VAR
    VAR x : INT := 1; END_VAR

if i<x then i=i+0.5; end_if;
if i>=x then Измельчение_R=0; Уровень2_R=100; end_if;

END_SFC_STEP
```

Рис. П.3.14 Программа «Шаг 6»

```
SFC_STEP "ШАГ 7"
    VAR_INOUT Измельчение_R : REAL; END_VAR
    VAR_INOUT УровеньП_R : REAL := 0; END_VAR
    VAR_INOUT Уровень2_R : REAL; END_VAR
    VAR_OUTPUT Слив_R : REAL; END_VAR
    VAR_OUTPUT УровеньЗ_R : REAL; END_VAR
    VAR_INOUT Общийпрогон_R : REAL; END_VAR
    VAR_INPUT Размер_R : REAL; END_VAR
    VAR_OUTPUT Общеевремя_R : REAL; END_VAR
    VAR_INPUT Объем_R : REAL; END_VAR
    VAR_INPUT Объем_труб_R : REAL; END_VAR
    VAR_OUTPUT Дразмер_R : REAL; END_VAR
    VAR_OUTPUT Ось_X_R : INT; END_VAR
    VAR_OUTPUT i_R : INT; END_VAR
    VAR_INOUT chas_R : INT; END_VAR
    VAR_INOUT min_R : INT; END_VAR
    VAR x : INT := 1; END_VAR

if  Размер_R>=18 then
Ось_X_R:=i;
Дразмер_R:=-45.5042+232.1369/i;
end_if;
if  Размер_R<18 then
Ось_X_R:=i;
Дразмер_R:=161.11*i**(-1.705);
end_if;

END_SFC_STEP
```

Рис. П.3.15 Программа «Шаг 7»

Текст программного обеспечения нагрева объема субстрата.

```
SFC_STEP "Находим t_r"
    VAR_INPUT t0_R : REAL; END_VAR
    VAR_INPUT t1_R : REAL; END_VAR
    VAR_INOUT P_R : REAL; END_VAR
    VAR_OUTPUT t_R : INT; END_VAR
    VAR_INPUT Объем_R : REAL; END_VAR
    VAR_INOUT IR_R : REAL; END_VAR
    VAR_INOUT TEM_R : REAL; END_VAR

    if PR==0 then PR=P_R; end_if;
    t_R=(Объем_R*4.6*(t1_R-t0_R))/(PR*100);

END_SFC_STEP
```

Рис. П.3.16 Программа «находим t_r»

```
SFC_TRANSITION "truePR" FROM( STEP_1 ) TO( STEP_2 )
    VAR_INPUT t0_R : REAL; END_VAR
    VAR_INPUT t1_R : REAL; END_VAR
    VAR_INOUT P_R : REAL; END_VAR
    VAR_OUTPUT t_R : INT; END_VAR
    VAR_INPUT Объем_R : REAL; END_VAR
    VAR_INOUT IR_R : REAL; END_VAR
    VAR_INOUT TEM_R : REAL; END_VAR

    ((t1_R-t0_R)/t_R>=1.5 and (t1_R-t0_R)/t_R<=2)

END_SFC_TRANSITION
```

Рис П.3.17 Программа «находим truePR»

```
SFC_STEP "нормальная"
    VAR_INPUT t0_R : REAL; END_VAR
    VAR_INPUT t1_R : REAL; END_VAR
    VAR_INOUT P_R : REAL; END_VAR
    VAR_OUTPUT t_R : INT; END_VAR
    VAR_INPUT Объем_R : REAL; END_VAR
    VAR_INOUT IR_R : REAL; END_VAR
    VAR_INOUT TEM_R : REAL; END_VAR

    P_R=PR;

END_SFC_STEP
```

Рис П.3.18 Программа «нормальная»

```
SFC_TRANSITION "PR<1.5" FROM( STEP_1 ) TO( STEP_6 )
    VAR_INPUT t0_R : REAL; END_VAR
    VAR_INPUT t1_R : REAL; END_VAR
    VAR_INOUT P_R : REAL; END_VAR
    VAR_OUTPUT t_R : INT; END_VAR
    VAR_INPUT Объем_R : REAL; END_VAR
    VAR_INOUT IR_R : REAL; END_VAR
    VAR_INOUT TEM_R : REAL; END_VAR

    (t1_R-t0_R)/t_R<1.5

END_SFC_TRANSITION
```

Рис. П.3.19 Программа «PR<1.5»

```
SFC_STEP "маленькая"
    VAR_INPUT t0_R : REAL; END_VAR
    VAR_INPUT t1_R : REAL; END_VAR
    VAR_INOUT P_R : REAL; END_VAR
    VAR_OUTPUT t_R : INT; END_VAR
    VAR_INPUT Объем_R : REAL; END_VAR
    VAR_INOUT IR_R : REAL; END_VAR
    VAR_INOUT TEM_R : REAL; END_VAR

    PR=PR+2;
    P_R=PR;

END_SFC_STEP
```

Рис. П.3.20 Программа «маленькая»

```
SFC_TRANSITION "PR>2" FROM( STEP_1 ) TO( STEP_7 )
    VAR_INPUT t0_R : REAL; END_VAR
    VAR_INPUT t1_R : REAL; END_VAR
    VAR_INOUT P_R : REAL; END_VAR
    VAR_OUTPUT t_R : INT; END_VAR
    VAR_INPUT Объем_R : REAL; END_VAR
    VAR_INOUT IR_R : REAL; END_VAR
    VAR_INOUT TEM_R : REAL; END_VAR

    (t1_R-t0_R)/t_R>1.5

END_SFC_TRANSITION
```

Рис. П.3.21 Программа «PR>2»

```
SFC_STEP "превышает"
    VAR_INPUT t0_R : REAL; END_VAR
    VAR_INPUT t1_R : REAL; END_VAR
    VAR_INOUT P_R : REAL; END_VAR
    VAR_OUTPUT t_R : INT; END_VAR
    VAR_INPUT Объем_R : REAL; END_VAR
    VAR_INOUT IR_R : REAL; END_VAR
    VAR_INOUT TEM_R : REAL; END_VAR

    PR=PR-2;
    P_R=PR;

END_SFC_STEP
```

Рис. П.3.22 Программа «превышает»

```
SFC_TRANSITION "true" FROM( STEP_2 ) TO( STEP_3 )
    VAR_INPUT t0_R : REAL; END_VAR
    VAR_INPUT t1_R : REAL; END_VAR
    VAR_INOUT P_R : REAL; END_VAR
    VAR_OUTPUT t_R : INT; END_VAR
    VAR_INPUT Объем_R : REAL; END_VAR
    VAR_INOUT IR_R : REAL; END_VAR
    VAR_INOUT TEM_R : REAL; END_VAR

true

END_SFC_TRANSITION
```

Рис П.3.23 Программа «true»

```
SFC_STEP "строим X"
    VAR_INPUT t0_R : REAL; END_VAR
    VAR_INPUT t1_R : REAL; END_VAR
    VAR_INOUT P_R : REAL; END_VAR
    VAR_OUTPUT t_R : INT; END_VAR
    VAR_INPUT Объем_R : REAL; END_VAR
    VAR_INOUT IR_R : REAL; END_VAR
    VAR_INOUT TEM_R : REAL; END_VAR

if IR<=t_R then IR=IR+0.5; IR_R=IR; end_if;
if IR>t_R then IR_R=t_R;end_if;

END_SFC_STEP
```

Рис П.3.24 Программа «строим X»

```
SFC_STEP "строим Y"
    VAR_INPUT t0_R : REAL; END_VAR
    VAR_INPUT t1_R : REAL; END_VAR
    VAR_INOUT P_R : REAL; END_VAR
    VAR_OUTPUT t_R : INT; END_VAR
    VAR_INPUT Объем_R : REAL; END_VAR
    VAR_INOUT IR_R : REAL; END_VAR
    VAR_INOUT TEM_R : REAL; END_VAR

    if TEM_R<t1_R then TEM_R=t0_R+IR*((t1_R-t0_R)/t_R);
end_if;

if TEM_R>=t1_R then TEM_R=t1_R;
end_if;

END_SFC_STEP
```

Рис П.3.25 Программа «строим У»

Текст программного обеспечения расчета концентрации метана и диоксида углерода в биогазе.

```
PROGRAM
    VAR_OUTPUT CO2_R : REAL; END_VAR
    VAR_OUTPUT CH4_R : REAL; END_VAR
    VAR_INPUT Размер_R : REAL; END_VAR
    VAR_INPUT t1_R : REAL; END_VAR
    VAR_INPUT Объем_R : REAL; END_VAR
    VAR_OUTPUT CH4__R : REAL; END_VAR
    VAR_OUTPUT CO2__R : REAL; END_VAR

    If (Размер_R !=0 and t1_R!=0) then
    Pbiog = 0.7577*Размер_R**0.1115;
    V2=(8.314*(273+t1_R))/116524;
    V2=V2*1000;
    CH4_R=(44.01-V2*Pbiog)/27.967;
    CO2_R=1-CH4_R;
    CH4__R=CH4_R*100;
    CO2__R=CO2_R*100;

end_if;

END_PROGRAM
```

Рис. П.3.26 Расчет концентрации метана и диоксида углерода в биогазе программа Техно - ST