МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ
КЫРГЫЗСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ И. АРАБАЕВА

КАФЕДРА «ПРИКЛАДНАЯ ИНФОРМАТИКА»

На правах рукописи

УДК 681.5: 66.012

Байжарикова Марина Айтмухановна

Компьютерный контроль параметров, автоматизация управления трехступенчатым процессом метанового сбраживания органических отходов в биореакторах

05.13.06-автоматизация и управление технологическими процессами
и производствами
Диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук

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

Бишкек – 2021

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПЕРЕЧЕНЬ УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ 6

ВВЕДЕНИЕ 8

1. **ОБЗОР ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ АНАЭРОБНОГО (МЕТАНОВОГО) СБРАЖИВАНИЯ ОТХОДОВ ЖИВОТНОВОДСТВА КРС В БИОГАЗОВОЙ ТЕХНОЛОГИИ** 14

1.1 Характеристика и состав органических отходов животноводства подстилочного и безподстилочного навоза КРС 14

1.2 Обзор кинетики процесса и выбор основных параметров метанового сбраживания для системы контроля и автоматизации 17

1.2.1. Кинетика процесса метанового сбраживания 20

1.2.2. Основные параметры метанового сбраживания 24

1.2.3. Выбор конструкции и расчет проектируемого биореактора 26

1.2.4. Обоснование выбора узлов измельчения навоза КРС и трехступенчатого метанового сбраживания субстрата в биореакторах 31

1.2.4.1. Узел предварительной подготовки сырья при применение различных композиций состава субстрата 32

1.2.4.2. Узел трехступенчатого процесса метанового сбраживания субстрата в биогазовой установке 36

1.2.5. Технические параметры, контролирующие оптимизацию и управления процессом метанового сбраживания 40

1.2.5.1. Подача и отбор субстрата 41

1.2.5.2. Теплопередача, стабилизация температурного режима 44

1.2.5.3. Перемешивание 45

1.2.5.4. Измельчение 46

1.3. Выбор математических моделей для описания и моделирования метанового сбраживания трехступенчатой биогазовой установки 47
Выводы к главе 1 53

2 МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И КОМПЬЮТЕРНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ТРЕХСТУПЕНЧАТОГО ПРОЦЕССА МЕТАНОВОГО СБРАЖИВАНИЯ СУБСТРАТА В БИОРЕАКТОРЕ 55
2.1. Разработка технологического процесса: узлов подготовки сырья и метанового сбраживания субстрата в трехступенчатой биогазовой установке 55
2.2. Разработка совмещенного узла грубого и тонкого измельчения подстилочного и безподстилочного навоза КРС 58
2.3. Разработка математической модели узлов степени измельчения и метанового сбраживания в биореакторах трехступенчатой биогазовой установки 63
2.3.1. Разработка математической модели степени измельчения подстилочного навоза КРС для метанового сбраживания субстрата в биореакторах 64
2.3.2. Влияние параметра степени измельчения подстилочного навоза КРС на выход биогаза 70
2.3.3. Влияние параметров зависимости скорости выхода метана на трехступенях метанового сбраживания от времени пребывания в биореакторе 73
2.3.4. Влияние параметров зависимости скорости выхода метана от состава сырья и температуры субстрата в биореакторе 79
2.4. Алгоритм расчета и моделирование метанового сбраживания измельченного субстрата на всех ступенях биогазовой установки 83
Выводы к главе 2 101

3 РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ЛОКАЛЬНЫХ КОНТУРОВ И АВТОМАТИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ ТРЕХСТУПЕНЧАТОЙ БИОГАЗОВОЙ УСТАНОВКИ В ИС TRACE MODE 103

3.1. Нагрев сбраживаемого субстрата в биореакторах и терморегуляция температурного режима 103

3.2. Мешалка–нагреватель и устройство управления системой перемешивания его в биореакторе 108

3.3. Подача и отбор загружаемой дозы измельченного субстрата до необходимого уровня в биореакторе 109

3.4. Общая схема контуров регулирования и автоматизации и управления процессом метанового сбраживания в биореакторе и всей трехступенчатой биогазовой установке 110

3.5. Разработка алгоритма системы управления биореакторами и всей трехступенчатой биогазовой установки 114

3.6. Разработка программного обеспечения пуска процесса метанового сбраживания измельченного субстрата и выход на непрерывный режим 117

3.7 Программное обеспечение контроля и управления параметрами метанового сбраживания в биореакторах 122

3.7.1. Подпрограмма контура регулирования измельчения подстилочного навоза КРС 123

3.7.2. Подпрограмма контура регулирования стабилизации температурного режима. 125

3.7.3. Подпрограмма контура регулирования подачи и отбора загружаемого субстрата до заданного уровня 126

3.7.4. Подпрограмма контура регулирования пуска и остановки мешалки-нагревателя 127

3.8. Компьютерное моделирование метанового сбраживания

измельченного подстилочного навоза КРС в ИС TRACE MODE 6 128
3.9. Внедрение результатов измельчения и метанового сбраживания в биореакторах полученных компьютерным моделированием на реальной установке в К/Х «Акжар» 136
3.10. Энергоэкономическая оценка трехступенчатой биогазовой установки 139
Выводы к главе 3 141
ВЫВОДЫ 142
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ 145
ПРИЛОЖЕНИЕ 162
ПРИЛОЖЕНИЕ 1 Программы расчета выхода биогаза из реактора 162
ПРИЛОЖЕНИЕ 2 Программы контроля и управления измельчением твердых частиц в сбраживаемом субстрате 163
ПРИЛОЖЕНИЕ 3 Программы расчета плотности биогаза и концентрации 166
ПРИЛОЖЕНИЕ 4 Программное обеспечение системы контроля, автоматизации управления параметрами метанового сбраживания субстрата в трехступенчатой биогазовой установки 167
ПРИЛОЖЕНИЕ 4.1.1 Программное обеспечение мониторинга подачи и выхода субстрата 2 ступени биореактора 169
ПРИЛОЖЕНИЕ 4.1.2 Программное обеспечение мониторинга подачи и выхода субстрата 3 ступени биореактора 172
ПРИЛОЖЕНИЕ 4.1.3 Программное обеспечение мониторинга контроля мешалок биореакторов 181
ПРИЛОЖЕНИЕ 4.1.4 Программное обеспечение мониторинга контроля температуры биореакторов 182
ПРИЛОЖЕНИЕ 5 Патенты, свидетельство, акты внедрения и сертификаты научных конференций 183

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;

ИС TRACE MODE – интегрированная среда TRACE MODE;

КРС – крупный рогатый скот;

ХНИР – хозрасчетная научно-исследовательская работа;

НИР – научно-исследовательская работа;

СПК– сельскохозяйственный кооператив;

CO2 – диоксид углерода;

CH4 – метан;

pH – уровень кислотно-щелочного баланса;

ρ – концентрация плотности жидкости;

R – микровязкость жидкости;

v –темп, скорость жидкости;

P – тензор напряжения жидкости;

$H2O$ – вода;

B – объем, размер выхода биогаза

V – темп, скорость выхода биогаза

v – рабочий размер, объем биореактора

K– показатель барботажного размешивания

Тбр – период ферментации

S – микроконцентрация субстрата

μm – предельная удельная скорость увеличения бактерий

k – показательтеплопередачи

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

СС – сбраживаемый субстрат;

АС – анаэробное сбраживание;

СРМ – максимальная удельная скорость роста микроорганизмов;

СВБ – скорость выхода биогаза;

В0 – предельный выход биогаза из единицы органического вещества;

S – концентрация субстрата;

Кб – коэффициент барботажного перемешивания;

К – кинетический параметр;

k – коэффициент теплопередачи;

τбр – время брожения;

μ_m – максимальная удельная скорость роста микроорганизмов;

u – скорость движения теплоносителя по трубе;

Q – количество теплоты, требующееся для обогрева биореактора;

$\Delta F_{\text{зм}}$ – площадь соприкосновения теплопередающей поверхности с оверхностью биореактора;

$T_{\text{т}}$ – температура теплоносителя;

Тб – температура среды в биореактора;

СММ – средняя молярная масса биогаза;

БР – биореактор.

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы диссертации. Крепкая экономика и независимость стран СНГ и ЕАЭС напрямую зависит от обеспечения людей продуктами питания. Однако, увеличения поголовья КРС и в особенности молочного направления, содержащиеся в стойловом режиме сопровождается выделением большого количества органических отходов, которые загрязняют окружающую среду.

Органические отходы КРС содержат штаммы метанобразующих бактерий, при участии которых при определенной температуре в биореакторе образуется основные компоненты биогаза: метан и диоксид углерода. Во всем мире наблюдается усиление тренда на использование органических отходов: производственных и бытовых, так как она направлена, прежде всего, на решение экологических проблем, но и одновременно способна служить неисчерпаемым источником получения «зеленой» энергии.

Получение биогаза (близкого к природному газу) путем анаэробного сбраживания органических отходов животноводства – один из основных путей развития биоэнергетического комплекса в будущем и настоящем. Так как, анаэробное сбраживание позволяет решить сразу две проблемы: безопасную и безотходную утилизацию органических отходов, в результате чего на выходе получается ценное удобрение – биошлам и биогаз (метан). Биошлам поступает в виде удобрения на поля, а биогаз как топливо для бытовых нужд фермерских хозяйств.

В настоящее время рынок насыщен биогазовыми установками, которые в основном получают биогаз ферментацией органических отходов мезофильными бактериями в силосных емкостях в течении длительного времени, с малой автоматизацией и с высокой стоимостью продукции [1, 2, 3].

Применение инновационных подходов в разработке биогазовой технологии, включающую непрерывную одновременную подачу и отвод субстрата, ее поэтапное метановое сбраживание в биореакторах, низкую

стоимость установки и малое количество отходов КРС доступную фермерам позволяет достичь максимального количества выхода биогаза (метана) и уменьшить время сбраживания.

Использование современных средств автоматизации и автоматизированной системы управления биогазовой установкой позволит оптимизировать работу метанового сбраживания в биореакторах, стабилизировать оптимальные режимные параметры в заданных интервалах и систему безаварийности.

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

Связь темы диссертации с приоритетными научными направлениями, основными научно - исследовательскими работами.

Инициативой проведения диссертационной работы явились выполнение работ в соответствии с планом НИР, ХНИР проводимых на кафедре «Прикладная информатика» КГУим. И.Арабаева и кафедры «Прикладная информатика и программирование» ТарРУ им. М.Х. Дулати.

В основном результаты диссертации были получены при выполнении ХНИР № 0117РКД0176 (2015 – 2017 гг.) и ХНИИР № 0119 РК Д0324 (2017-2019 гг.) по теме: «Компьютерный контроль параметров, автоматизация управления метанового сбраживания органических отходов в биореакторах» заключенных между ТарГУ имени М.Х. Дулати и К/Х «Акжар».

Цель исследования:

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

Задачи исследования:

1. Исследовать кинетические условия и их параметры, влияющие на интенсификацию процесса метановым сбраживанием органических отходов бактериями: первичного гидролизного расщепления; повышения кислотности; образования уксусной кислоты и образования метана;

2. Разработать конструкции устройства обработки сырья и биореактора с мешалкой – нагревателем в трехступенчатой биогазовой установке, обеспечивающие максимальный выход биогаза при укоренном метановом сбраживании субстрата;

3. Создать информационную модель трехступечатого метанового сбраживания органических отходов в биореакторах, включающую ее измельчение, нагрев, подачу сырья и перемешивание на каждой ступени процесса и дать ее математическое описание;

4. Разработать систему автоматического регулирования локальных контуров: степени измельчения; нагрев и стабилизации температуры; перемешивания и подачи загружаемого субстрата до уровня в биореакторы, а также системы автоматизации и управления трехступенчатой биогазовой установки в интегрированной среде TRACE MODE.

Научная новизна:

1. Разработана информационная модель непрерывного метанового сбраживания измельченного навоза КРС, позволяющая найти оптимальные температурные режимы работы биореакторов на трех ступенях биогазовой установки.

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

3. Разработана обобщенная математическая модель, описывающая процессы кавитации и метанового сбраживания подаваемого субстрата, нагрева и перемешиванием ее на каждой ступени процесса, позволяющая выявить

оптимальные режимные параметры для системы контроля и управления биогазовой установкой.

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

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

Практическая значимость полученных результатов.

Результаты работы внесут существенный вклад в изучение процесса метанового сбраживания в модифицированном биореакторе и в вычислении основных параметров, влияющих на образование биогаза в каждой ступени и суммарного выхода биогаза с биогазовой установки.

В частности предложены:

1. Программный продукт и аппаратно - программный комплекс «Автоматизация системы управления», разработанные для тестирования и проведения экспериментов новых научных исследовательских разработок по автоматической системы управления метановым сбраживанием в биореакторах;

2. Модель малогабаритной биогазовой установки доступной в цене, которая позволяет хозяйствам утилизировать отходы непосредственно в местах производства, отдаленных от централизованной инфраструктуры, обеспечения самих себя электричеством, природным газом и экологически чистыми органическими удобрениями, способными обеспечить восстановления плодородия почв.

Экономическая значимость полученных результатов:

1. Обоснованы в применении: концепции автоматического управления; теории оптимального управления; математических методов и моделирования; методики проведения экспериментов, а также апробаций результатов

математического моделирования на внедренной реально действующей биогазовой установке с целью коммерциализации их в фермерских хозяйствах;

2. С учетом предварительной подготовки подстилочных и безподстилочных отходов животноводства грубым и тонким измельчением получено дополнительное количество метана, которого хватает как на обогрев биореакторов так и на нужды фермерких хозяйств и при этом экономический эффект составит более 3099801,55 тенге в год от отказа природного газа.

3. Раздельное метановое сбраживание субстрата в мезофильном и термофильном ступенях биогазовой установки позволяет получать наряду с метаном и ценное обезвреженное биоудобрение, следовательно, экономический эффект от применения их в растениеводстве.

Основные положения диссертации, выносимые на защиту:

1. Комплекс мер по оптимизации режима работы измельчения, гомогенизации и диспергации водной суспензии навоза КРС по основным критериям эффективности увеличения выхода биогаза и ускорения длительности метанового сбраживания;

2. Математическая модель трехступенчатого метанового сбраживания субстрата подвергнутой кавитационной деструкции, измельчения и гомогонизации, а также нагрева, перемешивания и подачи частями сбраживаемого субстрата в биореакторах.

3. Алгоритмы контроля и автоматизации управления измельчения, температурного режима, перемешивание, подачи и отбора загружаемой дозы субстрата для сбраживания в биореакторе;

4. Моделирование автоматизированной системы управления узлов биогазовой установки: кавитационной деструкции и трехступенчатого метанового сбраживания субстрата, функционирующие на базе специализированного электронного программируемого логического контроллера с прикладным програмным обеспечением в ИС TRACE MODE.

Личный вклад соискателя:

1. Основные положения и результаты диссертации, которые выносятся на защиту, получены автором самостоятельно;

2. Постановка вопроса, цель и поставленные задачи, пути их решения, приведенные в диссертации, научные и практические результаты, а также их анализ, итоговые выводы и внедрение в К/Х «Акжар», ИП «Күнім», СПК «Ак-Мол» были осуществлены лично автором представленной диссертации.

Апробации результатов диссертации:

Полученные результаты докладывались на следующих научных семинарах и конференциях:

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

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

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

Полнота отражения результатов диссертации в публикациях:

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

Структура и объем диссертации.

Диссертационная работа включает: введение, три главы основного текста и выводы, которые приведены на 193 страницах, список использованной литературы из 135 наименований, рис. 65 и таблиц 18.

ГЛАВА 1. ОБЗОР ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ АНАЭРОБНОГО (МЕТАНОВОГО) СБРАЖИВАНИЯ ОТХОДОВ ЖИВОТНОВОДСТВА КРС В БИОГАЗОВОЙ ТЕХНОЛОГИИ

1.1. Характеристика и состав органических отходов животноводства подстилочного и бесподстилочного навоза КРС

В работе [4] отмечено, что в организме коров 16,4% энергии используются для наращивания тела животного 25,6% – расходуется на переваривание кормов; остальные 58% переходят в навоз. Эффективность получения метана из навоза в основном зависит от его состава и свойств. Например, жидкий навоз состоит из смеси твердых и жидких экскрементов, оборотной воды, подстилочной соломы, остатков кормов и т.д.

Отходы КРС являются опасным источником многих заболеваний. Они могут содержать несколько десятков и даже сотен жизнеспособных яиц и личинок [5].

При долгом хранении отходов КРС при благоприятных условиях он начинает разлагаться с ообразованием кислот. Это свидетельствует о том, что подаваемое сырье на переработку в биореактор не свежее, а это влечет за собой понижение Рн среды, изменяется соотношение микроорганизмов, что нарушает дальнейщее метановое сбраживание. Поэтому одним из важных моментов является своевременный сбор и подготовка навоза к метановому сбраживанию, для максимального сохранения органического вещества, его состава. Животноводческие комплексы должны иметь полы в помещении, откуда навоз самотеком или с помощью скребков направлялся в сборники для подачи на предварительную обработку в шнековый измельчитель и кавитационный деспергатор. В ином случае при сборе навоза с подстилочной соломой могут возникнуть потери, следовательно, впоследствии не полный выход биогаз при одинаковых затратах. К примеру, на одну тонну свежего навоза затраты

эквивалентны 36 - 39 кг. [6]. Сухое органическое вещество навозных стоков (СОВ) состоит, в основном, из биополимеров – белков, жиров и углеводов.

От соотношения концентраций этих соединений в отходах зависит выход биогаза в каждом конкретном случае. Удельный выход биогаза (в расчете на 1кг распавшегося СОВ) при распаде жиров в 1,5 раза выше, чем при распаде углеводов и белков. Содержание метана в газах брожения обусловлено разложением жиров и белков, а диоксида углерода – разложением углеводов. Данные о выделении биогаза из основных групп органических веществ представлены в табл. 1.1 [6].

Таблица 1.1 – Выход биогаза с 1 кг распавшегося СОВ

Компонент СОВ	Выход биогаза за м3/кг расп.вещества	Состав газа, %		Степень распада вещества, %
		CH4	CO2	
Углеводы	0,79	50	50	64
Жиры	1,25	68	32	70
Белки	0,704	71	29	47

Используя данные об удельном выходе биогаза и количестве сброженного абсолютно сухого беззольного вещества, можно рассчитать теоретический выход газа в метантенке. Максимально возможную степень сбраживания сухого органического вещества, загружаемого в метантенки сырья определяют по формуле [7]:

$$а = (0{,}92ж + 0{,}62у + 0{,}34б) \cdot 100\ \%, \qquad (1.1)$$

где ж, у, б – содержание жиров, углеводов и белков, г на 1г СОВ.

Выход биогаза заметно меняется, если исходный субстрат, кроме навоза, содержит растительные остатки (ботву картофеля, солому злаковых и т.п.).

В составе этих остатки содержатся около 15 – 20 %. По данным [8], соотношение количества газа, которое может быть получено из органического вещества навоза дойных коров (Д), откормочных бычков (Б), свиней (С) и кур (К), примерно равно:

$$Д: Б: С: К = 5: 7: 8: 10. \quad (1.2)$$

Обеспечение этого соотношения очень важно, так как углерод и азот являются биогенными элементами, определяющими рост и метаболизм микроорганизмов метанового биоценоза. Если соотношение C:N слишком велико, то процесс сбраживания замедляется из - за недостатка азотного питания для микробов. Если же это соотношение чрезмерно мало, то избыток азота приводит к образованию большого количества аммиака, токсичного для бактерий. По данным различных авторов, оптимальное соотношение C:N находится в пределах (11–16):1 [4, 5, 6].

При смешении различных отходов (так называемый коферментационный процесс) соотношение C:N в сбраживаемом субстрате приближается к оптимальному и выход биогаза значительно увеличивается, например навоз КРС равен 0.38 $м^3$/кг. [9].

Метод коферментационного сбраживания смеси органических отходов животных и растительной биомассы в последние годы широко используется в Европе. В частности, в Австрии при сбраживании смеси навоза от 50 голов КРС и растительной биомассы (измельченной травы, ботвы свеклы, кукурузного силоса) с 20 га посевных площадей получают среднегодовой выход метана около 300 $м^3$ CH4 [10].

Этот метод с успехом используется в Украине. По расчетам специалистов, используя растительную биомассу только с 10% площадей пашни и пастбищ страны и только половину органических отходов сельскохозяйственных животных, можно получить в год до 21421,59 МВт электроэнергии, что отвечает мощности нескольких атомных электростанций [11].

Кроме углеродо - азотного баланса, для осуществления устойчивого брожения необходимо присутствие в сырье микроэлементов (железо, молибден, никель, кобальт и др.). Напротив, наличие в сбраживаемой массе антибиотиков, которые могут попадать в навоз во время лечения животных, отрицательно влияет на процесс брожения [9,12].

Большое значение для эффективного сбраживания жидкого навоза имеют влажность сырья и содержание в нем твердых частиц. Это связано с условиями эксплуатации и установки, поскольку твердые частицы, имеющие большую плотность, чем сбраживаемый субстрат (песок, глина и т.п.) образуют в метантенке осадок, а легкие частицы флотируют и образуют на поверхности жидкости корку, препятствующую газовыделению.

Кроме того, принизкой влажности (<86%) затрудняется перемещение субстрата по коммуникациям, а при высокой влажности (>96%) резко снижается газовыделение из - за недостаточного содержания органического вещества в сырье. Большинство специалистов считает оптимальной концентрацию сухих веществ в навозе 8 – 10%, а оптимальная влажность при дозе загрузки 14% находится в пределах 92 – 94% [5, 8, 13].

Кинетический процесс анаэробного сбраживания в биореакторах, отмечается разнообразием подходов к описанию и определению цепочки образования метана в биореакторе, следовательно, невозможности точного описания математической модели, в виду влияния на процесс многочисленных параметров, что требует его изучения.

При выборе основных параметров для контроля и управления биогазовой установкой используются результаты: как эмпирических моделей используемые для описания кинетики метанового сбраживания в биореакторе, так и экспериментальных исследований для определения численных значений параметров. Анализируются критерии оценки параметров на возможность максимального воздействия на процесс метанового сбраживания биореакторе и систему контроля и управления на всех ступенях биогазовой установки.

1.2. Обзор кинетики процесса и выбор основных параметров метанового сбраживания для системы контроля и автоматизации

Животноводческие предприятия являются одним из основных источников выбросов парниковых газов в атмосферу. Метан образуется в результате разложения навоза КРС на животноводческих фермах при хранении или вывозе

их на поля в виде удобрения. Переработка ежедневно возобновляемых отходов животноводства, а именно навоза КРС в биореакторе с получением биогаза и биоудобрения позволяют частично решить экологические и социальные задачи, а также и финансовые за счет используемого в быту биогаза (метана) для выработки электричества и биоудобрений для повышения урожайности сельскохозяйственных культур.

Имеющиеся единичные биогазовые установки отличаются: продолжительным сроком сбраживания; большими затратами для сбора ежедневного объема загружаемого сырья в биореакторы, простым регулированием и автоматизацией процесса метанового сбраживания, а также большой стоимостью оборудования, что неэффективно и недоступно малым крестьянско - фермерским хозяйствам [1].

Авторы научно - исследовательских работ по переработке органических отходов приходят к выводу, что «в настоящее время разработаны и функционируют большое количество установок по выработке биогаза из органических отходов в различных странах [1, 2, 3].

Однако большинство научно - обоснованных биогазовых биореакторов предназначено для переработки отходов крупных животноводческих комплексов и предусматривает подогрев сбраживаемой биомассы применением электроэнергии от централизованных сетей, что сдерживает эффективную утилизацию отходов крестьянских хозяйств, рассредоточенных в регионах с отсутствием централизованного энергоснабжения».

Поэтому в условиях рыночной экономики возникает необходимость дальнейшего совершенствования биогазовой технологии и биореакторов по получению биоудобрения и биогаза (метана).

Разработка и моделирование процесса метанового сбраживания в биореакторах трех ступеней психрофильного, мезофильного и термофильного, позволяет получить оптимальные режимные характеристики для системы контроля и оптимизации параметров метанового сбраживания в усовершенствованной трехступенчатой биогазовой установке.

Кинетический процесс анаэробного сбраживания в биореакторах, отмечается разнообразием подходов к описанию и определению цепочки образования метана в биореакторе, следовательно, невозможности точного описания математической модели, в виду влияния на процесс многочисленных параметров, что требует его изучения.

При выборе основных параметров для контроля и управления биогазовой установкой используются результаты: как эмпирических моделей используемые для описания кинетики метанового сбраживания в биореакторе, так и экспериментальных исследований для определения численных значений параметров. Анализируются критерии оценки параметров на возможность максимального воздействия на процесс метанового сбраживания биореакторе и систему контроля и управления на всех ступенях биогазовой установки.

Условия и методы исследований.

Метановые биореакторы превращают органические отходы (сельскохозяйственные и пищевые отходы, навоз животных или человека и другие органические отходы) в энергию (в форме биогаза или электричества). Преимущества, которые обеспечивает процесс метанового сбраживания, - это утилизация отходов, производство энергии и производство удобрений [14].

Управление отходами очень важно, как в городской, так и в сельской местности. В большинстве промышленно развитых стран мира уже существуют системы управления отходами, хотя их часто можно улучшить с точки зрения воздействия на окружающую среду. В сельских районах часто отсутствуют санитарные условия или надежные системы управления отходами, и это очень ценный сервис по состоянию здоровья и окружающей среды [15].

Метановое сбраживание может обеспечить энергией тех, у кого ее еще нет, или может производить чистую энергию в качестве альтернативы производству энергии с интенсивным выбросом углерода. Энергия, предоставляемая тем, у кого ее еще нет, позволяет обществам достигать большего и обеспечивает намного более высокое качество жизни. Чистая «зеленая» энергия приобретает все большее значение по мере роста мирового

потребления энергии, и люди оказывают большее влияние на глобальный климат [16].

Побочный продукт удобрения - еще одно преимущество, которое может повысить ценность метановой переработки сырья. Как только исходное сырье потребляется в процессе анаэробного сбраживания, оставшийся материал можно использовать в качестве почвенной добавки для повышения урожайности сельскохозяйственных культур. Крестьянским хозяйствам остается вывезти на поля полученное органичсекое удобрение или использовать их в подсобном хозяйстве [17].

1.2.1. Кинетика процесса метанового сбраживания

Биохимический процесс метанового сбраживания – это процесс разложения вещества в отсутствие кислорода. Процесс происходит в желудках животных, и тот же биологический процесс, который встречается в природе, может быть воспроизведен и контролироваться инженерами. Существует четыре основных этапа метанового сбраживания, см. рис. 1.1 подробно описанных в следующих разделах [18].

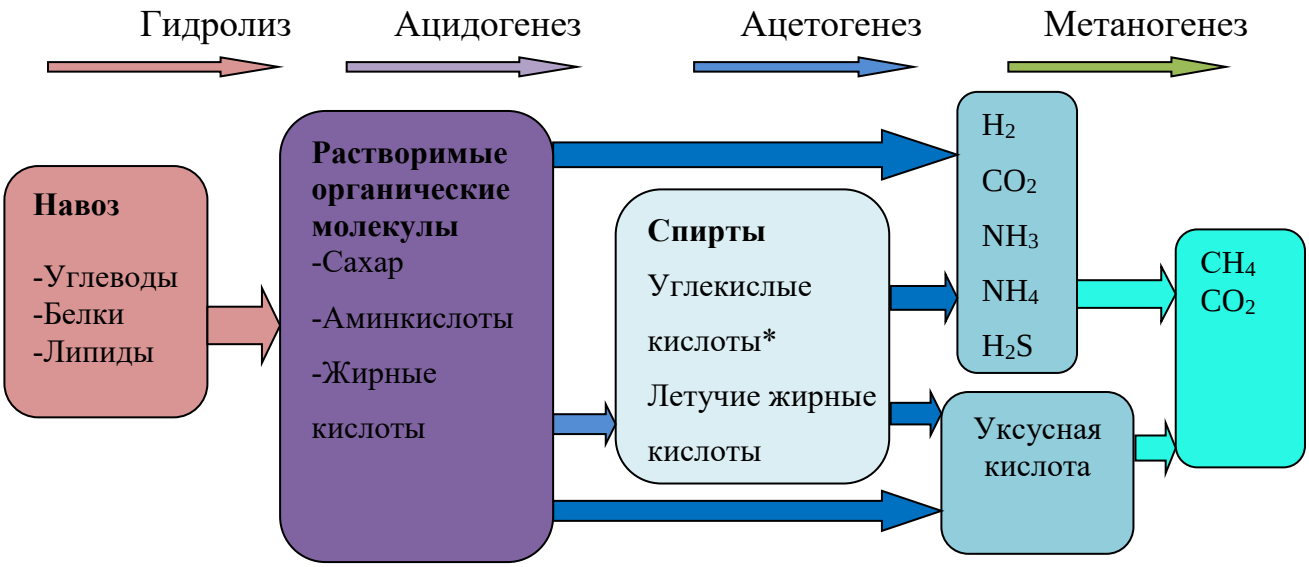


Рисунок 1.1 Путь метанового пищеварения состоит из четырех основных этапов: гидролиз, ацидогенез, ацетогенез и метаногенез

Гидролиз.

Первым этапом в процессе метанового сбраживания, гидролиза, является разрыв химических связей путем добавления воды. Исходное сырье для метанового сбраживания в биореакторе может состоять из множества различных компонентов и материалов, которые способствуют существованию разных вариантов гидролиза; углеводы, жиры и белки распадаются на более мелкие молекулы на этом начальном этапе анаэробного сбраживания.

В случае липидов обычно триглицериды разделяются на три жирные кислоты и глицерин путем добавления трех молекул воды, см. рис. 1.2.

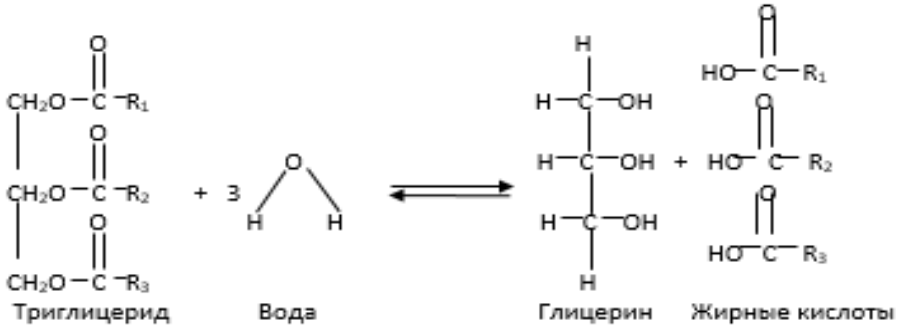


Рисунок 1.2 Гидролиз триглицерида приводит к глицерину и трем жирным кислотам

В случае углеводов полисахариды (сложные сахара) распадаются на моносахариды. Одним из примеров является расщепление лактозы на галактозу и глюкозу, см. рис 1.3.

В случае липидов обычно триглицериды разделяются на три жирные кислоты и глицерин путем добавления трех молекул воды, см. рис. 1.4.

$$C_{12}H_{22}O_{11} + H_2O \rightarrow C_6H_{12}O_6 + C_6H_{12}O_6$$

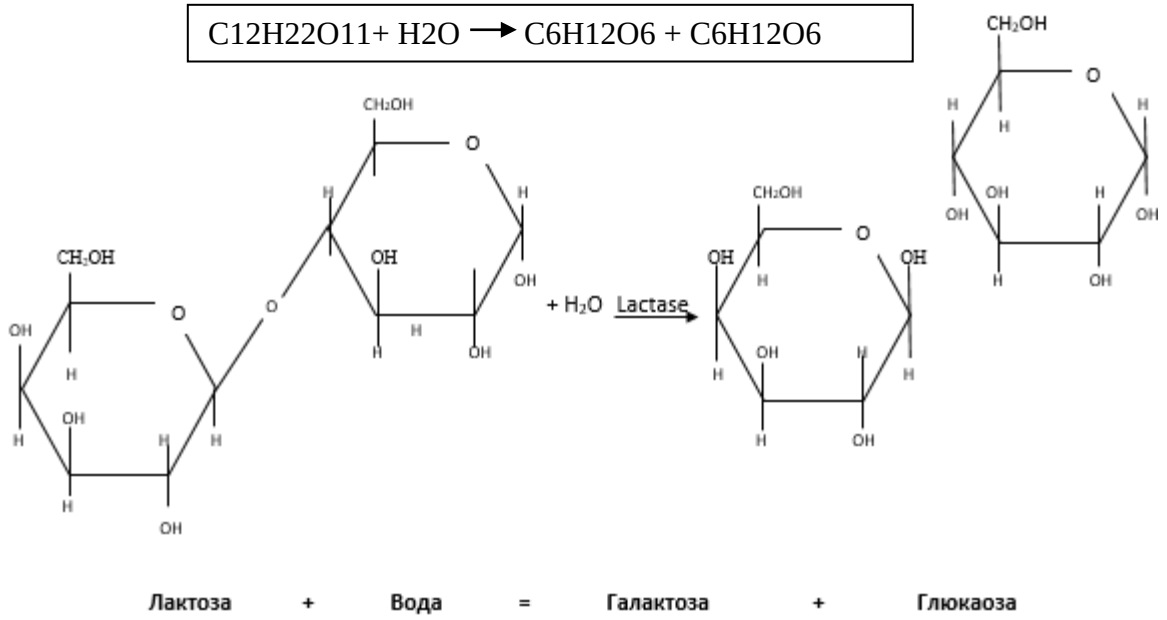


Рисунок 1.3 Гидролиз расщепляет лактозу (полисахарид) на галактозу и глюкозу (моносахариды)

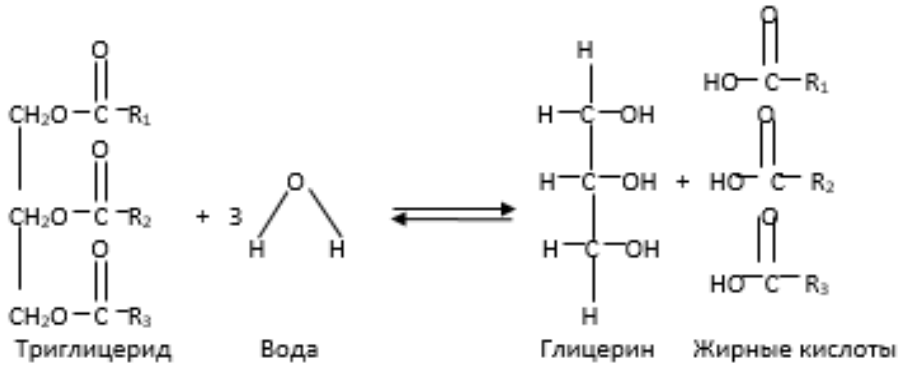


Рисунок 1.4 Гидролиз триглицерида приводит к глицерину и трем жирным кислотам

В случае белков пептидные связи разрываются на отдельные аминокислоты, см. рис. 1.5.

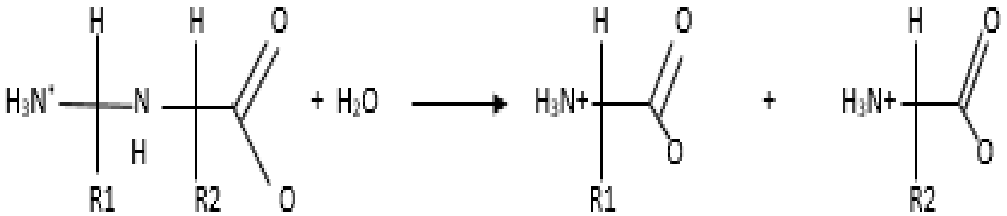


Рисунок 1.5 Гидролиз белка включает в себя разрыв пептидной связи для разделения аминокислот.

Ацидогенез.

Ацидогенные бактерии разлагают продукты гидролиза до летучих жирных кислот. Также образуется некоторое количество водорода, углекислого газа и уксусной кислоты, что поступает на этап ацетогенеза. Ацидогенез вырабатывает ацетат и бутират (летучие жирные кислоты) из глюкозы см. рис. 1.6.

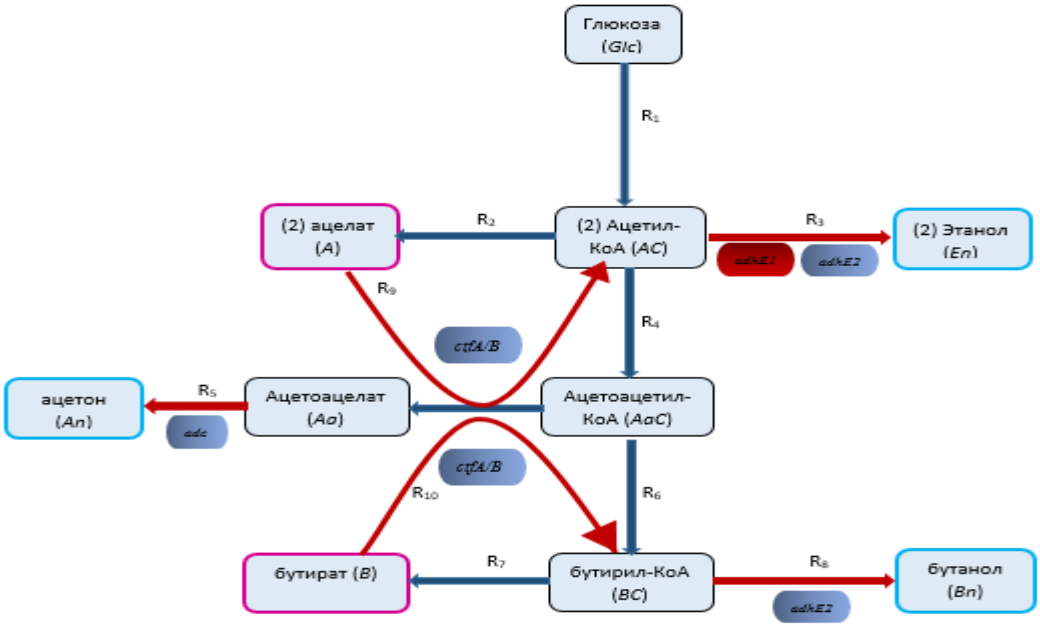


Рисунок 1.6 Во время ацидогенеза бактерии вырабатывают ацетат и бутират (границы очерчены красными линиями). При дальнейшем сбраживание может дополнительно вырабатывать другие побочные продукты

Ацетогенез.

На третьем этапе метанового сбраживания ацетогенные бактерии потребляют то, что выработали бактерии при ацидогенезе и производят ацетат (уксусную кислоту). Одним из примеров этого процесса является потребление глюкозы, приведенное в уравнении.

$$C_6H_{12}O_6 + 2H_2O \rightarrow 2CH_3COOH + 2CO_2 4H_2 \qquad (1.3)$$

Метаногенез.

Последним этапом метанового сбраживания является образование метана бактериями, называемыми метаногенами. По большей части, биологический процесс здесь это расщепление уксусной кислоты, приведенное в уравнении 1.3, хотя другие формы реакции также могут производить метан посредством метанового сбраживания.

$$\mathrm{CH3COOH} -> CH4 + CO2;$$
$$\mathrm{CO2} + \mathrm{H2} -> CH4 + H2O. \qquad (1.4)$$

Для оптимальной работы процесса АС достаточно обеспечить оптимальные режимные характеристики контролируемых параметров метанового сбраживания в биореакторе.

1.2.2. Основные параметры метанового сбраживания

Производство биогаза при метановом сбраживание в биореакторе зависит от отсутствия кислорода, благоприятные условия для жизнедеятельности и способности различных бактерий развиваться внутри биореактора.

Создание комфортных условий для жизнедеятельности бактерий, производящих метан зависит от многих параметров: температуры, pH, размеров частиц, перемешивания, влажности, времени сбраживания и естественно от конструкций и других характеристик биореактора [19, 20].

1. Поддержка метанового сбраживания в основном зависит от благоприятной температуры сбраживаемого субстрата.

В многочисленных научных трудах авторами приводятся выводы, что оптимальными температурами метанового сбраживания субстрата являются интервалы «18°C - 25°C», для психрофильного режима, «25°C - 40°C», мезофильного и «52 - 54°C» для термофильного.

К тому же необходимо учитывать, что процесс метанового сбраживания очень чувствителен к изменениям температуры. Наиболее допустимые изменения температуры определяются в пределах [19, 21, 22]:

- психрофильный режим: ± 2°С в час;
- мезофильный режим: ± 1°С в час;
- термофильный режим: ± 0,5°С в час.

2. Размеры частиц СС.

Кавитационный деспергатор используемый в процессе подготовки отходов животноводства для подачи ее на сбраживание путем воздействия направленной и управляемой кавитации, уменьшает частицы до микронов превращая навоз, смешанный с водой в однородную смесь.

К тому же минимальный размер твердых частиц позволяет использовать и другой эффект – перемешивание субстрата, который разрушает не только корки, но и ускоряет жизнедеятельность бактерий в субстрате, что является немаловажным фактором для максимального выхода биогаза [23, 24].

3. Уровень pH СС.

Из многочисленных иследований ученых было выявлено, что выход из интервала оптимального значения pH, который колеблется в зависимости от сырья от 6,5 до 8,5 заметно снижает выход метана увеличивая при этом диоксид углерода на первом этапе технологической схемы [19, 25].

Устранения увеличения диоксида углерода в диссертационной работе устраняется отбором на первой ступени CO_2, которая потом повторно подается на третью ступень СС, где являяется питательной средой для жизнедеятельности микроорганизмов метанового сбраживания, что ускоряет АС, способствуя повышению его производительности, и улучшает качественные показатели выделяющегося метана (CH_4).

4. Оптимальное время АС выбирают от дозы загрузки в биореактор и температуры процесса. При коротком времени метанового сбраживания бактерии из биореактора вымываются быстрее, чем могут размножаться, а при

продолжительном процессе, не отвечают эффективному процессу получения максимального количества метана.

5. Время оборота в биореакторе психрофильного режима СС будет составлять 11 суток, 9 суток в мезофильном режиме и 8 суток в термофильном режиме [19, 20, 24].

6. Доля СС ежедневно вносимого в биореакторы и отводимого, составляет одно и тоже количество для всех температурных режимов [26]. Выбор времени метанового сбраживания также зависит и от типа перерабатываемого сырья.

7. Значения влажности навоза и экскрементов для КРС колеблется в интервале 92(%) – 86(%).

8. Перемешивание позволяют предотвратить: формирования корки и осадка; устранить пустоты и скопления; обеспечить равномерную температуру и популяции бактерий внутри биореактора и высвобождение произведенного биогаза. Однако не стоит забывать, что слишком частое его разбивание приводит метанового сбраживания к непродуктивности [27].

Таким образом, для получения максимального количества биогаза, необходимо обосновать выбор основных параметров метанового сбраживания. При правильном подборе и расчете вышеназванных параметров зависящих друг от друга, легче поддерживать процесс метанового сбраживанияв биореакторах и осушествлять их контроль и управлять работой биореакторов на трех ступенях метанового сбраживания, что позволяет получать максимальный выход биогаза и концентрации метана в трехступенчатой биогазовой установке.

1.2.3. Выбор конструкции и расчет проектируемого биореактора

В многочисленных работах [8, 15, 19] при проектировании биореактора применяемые данные достигают погрешности до 50%. В этом случае прогноз полученных суточных объемов и состава биогаза для проектирования биореактора не совсем точны. Добиться точности можно либо лабораторным экспериментом либо внедрением на фермерских хозяйствах.

Поэтому в основном начальные данные для расчета биореакторов определяются из литературных источников, которые требуют естественно уточнения.

Расчет объема первой емкости для тонкого измельчения загружаемой одной дозы СС.

Расчет навоза от 20 голов КРС, определяется по формуле [28]:

$$Gоб = \sum N крс. \cdot Муд. = 20\ крс \cdot 30\ кг/сут = 600\ кг \quad (1.5)$$

где, Nкрс - количество КРС;

Муд. - означает количество навоза от КРС животного в сутки, кг/сут.

Примем следующие допущения. Количество навоза от одной КРСравно 30 кг/сут. При этом органического вещества в нем равно 75 - 85%, углерода и азота 15 - 16. Следует заметить, что в экскрементах КРС азот составляет 50%.

Расчет емкости для одной дозы подаваемого СС в биореактор психрофильного режима субстрата состоящего из навоза КРС и воды и смешения его до влажности 92% по следующей формуле [4]:

$$V_{ШТ} = 0{,}7\ldots0{,}9 \times mВм \times tВм \div \rho\ Вм = (0{,}8 \times 600 \times 1) \div 800 = 0{,}6 м^3 \quad (1.6)$$

где, $t_{bм}$ – продолжительностьброжения, сут;

$\rho_{bм}$ – плотность сбраживаемой субстрата, кг/м

Расчет объёма биореактора психрофильного режима СС.

1. Определяем объем занимаемый субстратом из 11 порций по формуле:

$$V_{шт} = (0{,}8 \cdot 600 \cdot 11) / 800 = 6{,}6\ м^3 = 6600\ л \quad (1.7)$$

2. Если принять высоту внутренней емкости равной 3 м., а часть с рассечением как 0.5 м. то объём рассеченной части можно найти следующими расчётами:

$$\frac{3}{100}\% = 0{,}03\%,\ \frac{0{,}5}{0{,}03}\% = 16{,}6\% \quad (1.8)$$

Определив, что рассечённая часть составляет 16,6% от общего объёма цилиндра, найдем объём субстрата занимаемой в этой части, для этого надо найти объём цилиндра.

3. Поскольку сбор выделяемого биогаза занимает 1/3 часть получается, что нам нужно прибавить к объёму самого субстрата его половину.

$$6600 + 3300 = 9900 \text{ л, что получается } 9.9 \text{ м}^3. \quad (1.9)$$

4. Тогда объём рассечённой части биореактора можно вычислить с помощью этих расчетов:

$$\frac{9900}{100} = 99; \quad 99 * 16{,}6 = 1643{,}4; \quad \frac{1643{,}4}{2} = 821{,}7 \quad (1.10)$$

5. Тогда радиус емкости рассчитываем по формуле, в которой мы примем высоту за 2,5 т.к. рассеченная часть уже известна и ее мы не будем включать в расчет:

$$V = S_{окр} \cdot H = \pi R^2 H; \quad (1.11)$$

$$3{,}14 * x^2 * 2.5 = 9.9; \quad x^2 = \frac{9.9}{7.85}; \; R = x = 1.12$$

Следовательно, радиус психрофильного биореакторе будет составлять 1.12 м.

Анализ элементов, содержащихся в навозе для каждой фермы неодинаков в виду различного кормления КРС. Поэтому содержание сухих компонентов и параметров влажности определяют с учетом поправки из специальных таблиц.

1. Расчет содержания сухого вещества в субстрате осуществляется по формуле:

$$M_{св} = m_{сут\ общ} (1 – V_{\%}/100) = 600кг\ (1\text{-}92/100) = 48\ кг; \quad (1.12)$$

где $V_{\%}$- влажность субстрата.

2. Расчет содержания сухих органических веществ в субстрате:

$$M_{сов} = M_{св}\ (R_{сов\%}/100 = 48кг\ x(15/100) = 7.2\ кг; \quad (1.14)$$

где, $R_{сов\%}$ - содержание сухих органических веществ в субстрат,

$M_{св}$ - содержание сухого вещества в субстрат.

Расчет объёма биореактора мезофильного режима СС.

3.Вычислим полный объем, занимаемый субстратом из 9 порций по формуле:

$$V_{шт} = (0{,}8 \cdot 600 \cdot 9) / 800 = 5{,}4 м^3 = 5400 л \quad (1.15)$$

4. Поскольку высота биореактора и рассечённой части идентична с прошлой, чтобы найти объём субстрата занимаемой в разрезанной части надо узнать объём цилиндра, а по скольку объём выделяемого биогаза занимает 1/3 часть получается, что 5400 + 2700 = 8100л что является 8.1 м^3, и объём разрезанной части можно высчитать с помощью этих расчетов:

$$8100/100 = 81;\ 81*16{,}6 = 1344{,}6;\ 1344{,}6/2 = 672{,}3 \qquad (1.16)$$

5. Если рассечённая часть составляет 16,6% от общего объёма цилиндра, а поскольку объём самого субстрата и выделяемого биогаза занимает 1/3 часть, то получаем 5400+2700 = 8100л или 8.1 м^3, а объём этой части высчитываем по формуле:

$$8100/100 = 81{,}81*16{,}6 = 1344{,}6/2 = 672{,}3 \qquad (1.17)$$

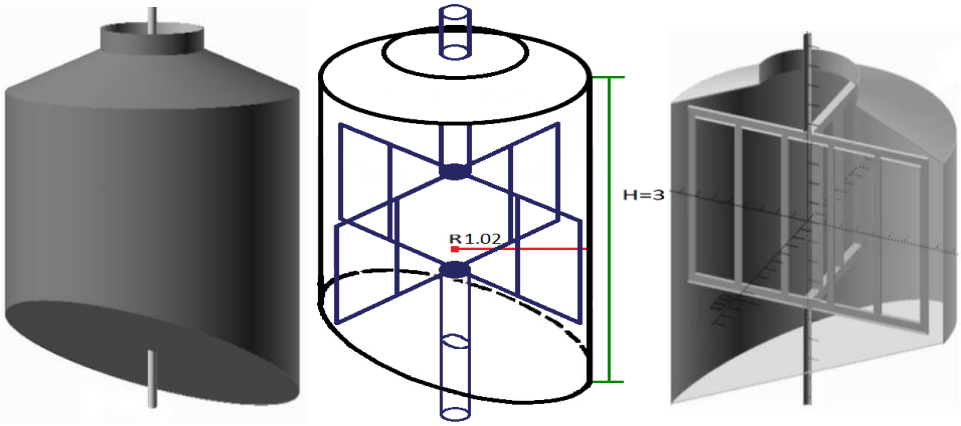
Тогда радиус емкости можно рассчитать по следующей формуле, в которой мы примем высоту за 2,5 т.к. часть с рассеченной частью мы считать не будем:

$$V = S_{окр} \cdot H = \pi R^2 H = 3{,}14 * x2 * 2{,}5 = 8.1;$$

$$x2 = 8.1/7.85 = 1.03 \quad R = x = 1.015 \qquad (1.18)$$

Получается, что в мезофильном биореакторе радиус будет равен 1.015, см. рис. 1.7.

Корпус биореактора теплоизолирован.



1 2 3

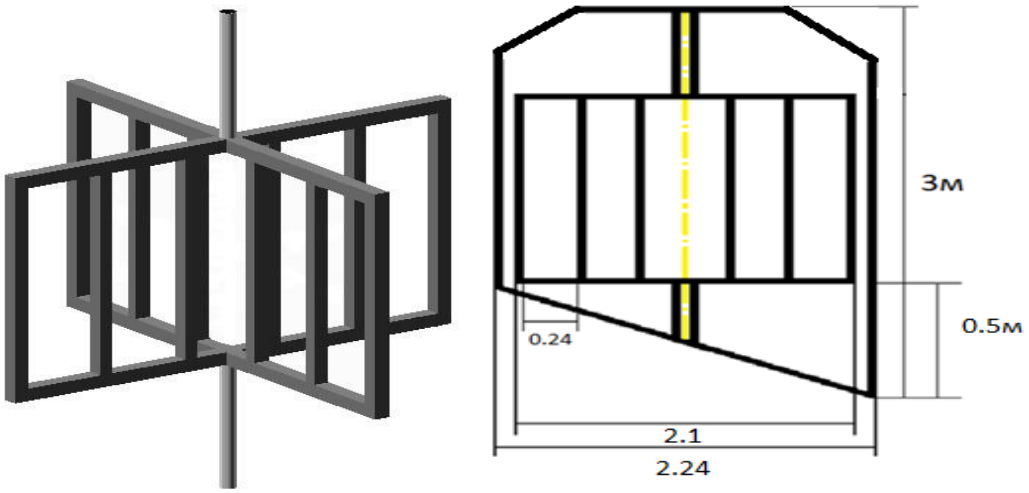
Рисунок 1.7 Модифицированный биореактор мезофильного температурного режима

1 - общий вид, 2 - схема, 3 - внутренний вид.

Расчет объема биореактора термофильного режима СС вычисляется идентично. Полный объем, занимаемый субстратом из 8 порций равен 4,8м^3=4800л, а радиус в которой мы примем высоту за 2,5 т.к. часть с рассеченной частью мы не будем считать, равен R = x = 0.96.

Вышеприведенные расчеты показывают, что объем биореакторов для всех ступеней СС различается незначительно, а различие составляет лишь их радиус. Отдельно произведен расчет усеченной части биореактора.

Нагрев субстрата в биореакторе, через встроенную мешалку создает заданную температуру по всему объему биореактора, см. рис.1.8 [28, 29].



1 2

Рисунок 1.8 Схема расположения лопастей теплообменника - мешалки

1 - мешалка, 2 - геометрические параметры в биореакторе

В диссертационной работе, принятое новое конструктивное решение совмещения перемешивающего устройства (мешалки), как нагревательного элемента биогазовой установки, через которую проходит топочный газ (эффект трубы самовара), в один узел позволяет стабилизировать основной параметр температуру, а следовательно увеличить выход биогаза и уменьшить время метанового сбраживания субстрата в биореакторе.

1.2.4. Обоснование выбора узлов измельчения навоза КРС и трехступенчатого метанового сбраживания субстрата в биореакторах

Глубокий анализ биогазовых технологий показывает, что все усилия ученых в основном нацелены на разработку технологий, повышающие экономиическую эффективность хранения и транспортировки растительного сырья (биомассы). Стоимость таких технологий очень высока и окупаемость длится несколько лет, что не приемлемо для фермерских хозяйств.

Такие установки долго окупаются из - за огромных капитальных затрат на строительство и заготовки сырья и требуют дотации от государства. К тому же у данных биогазовых технологий скорость сбраживания низкое, что увеличивает время сбраживания биомассы в метатенке [1, 30].

Анализ литературных источников показал, что низкий выход метана исходит из - за неустойчивого температурного режима, образование корки сдерживающий выход биогаза, неэффективного подбора состава и однородности сырья.

Для устранения недостатков существующих биогазовых установок необходимо разработать биогазовую технологию, которая включает: стабилизацию температурного режима благоприятную для всех микроорганизмов симбиоза бактерий; измельчения и гомогонизации до однородной среды загружаемой дозы субстрата; делением дозы на несколько частей и подачи порциями для сбраживания; одновременным перемешиванием мешалкой, выполняющую также роль дополнительного узла нагрева сбраживаемого субстрата внутри биореактора и доступной автоматизацией, системой контроля и управления значимыми параметрами биогазовой установки.

Исходя из этого разработка малогабаритной, доступной по цене, с малым количеством сырья, с стабилизацией температурного режима, с перемешиванием, с системой подачи субстрата и с системой контроля и управления параметрами биогазовой установки является актуальной задачей.

В настоящее время самым дешевым ресурсом биоэнергетики является органические отходы животных, пищевые отходы и канализационные стоки.

В этом случае необходимо усилить работу на применение эффективных методов предварительной подготовки сырья и применение различных композиций состава субстрата с целью повышения скорости метаногеноза в биореакторах и максимального выхода биогаза и концентрации метана в нем.

Проведен анализ влияния основных параметров анаэробного сбраживания на выход метана, который позволил разработать трехступенчатую биогазовую установку, доступную по цене и по количеству ежедневно возобновляемого сырья навоза КРС производимого на ферме. Отличительной особенностью от существующих биогазовых технологий являются инновационные элементы: грубое измельчение подстилочного сырья и далее получения гомогенной однородной среды кавитационным деструктором; дополнительного нагрева сбраживаемого субстрата горячим потоком воды нижней части, боковых стенок биореактора и трубками мешалки, нагреваемые топочным газом с одновременным перемешиванием сбраживаемой среды.

Методы исследования. В работе проведен литературный анализ обоснованности выбора основных узлов: трехступенчатого температурного процесса метанового сбраживания субстрата и предварительной подготовкой грубых отходов животноводства шнековым измельчением и кавитационной диспергацией. Обоснованы значимые параметры, влияющие на процесс метаногеноза на время сбраживания и выход биогаза (метана), полученные лабораторным экспериментальным путем и математическим моделированием метанового сбраживания субстрата в MatLabe.

1.2.4.1. Узел предварительной подготовки сырья при применение различных композиций состава субстрата

Огромное количество отходов растениеводства и в особенности зерновых в Казахстане остается не востребованным и утилизируется на полях хозяйств

путем сжигания или распыления. В южных районах из - за нехватки сенажа и кормов для животных и в особенности в зимний период, солому, кукурузный силос после скашивания комбайнами, прессуют и заготавливают на корма животных.

В большинстве фермерских хозяйств сено, солому и кукурузный силос подают животным рассыпая на землю или в специальные кормушки. Но все-таки при этом остается множество сухих отходов, которые смешиваясь с навозом и мочей КРС вывозятся на поля или отгружаются возле коровника. Нельзя не учитывать и то, что солома еженедельно используются для подстилки и обновляются, а старую солому из подстилкис навозом вывозятся с помещений и складируются возле ферм [30, 31].

В этих отходах имеются разные твердые частицы, как песок, глина и др., которые обуславливают образование осадка, легкие же материалы как солома и др. поднимаются на поверхность биореактора и образуют корку, что ведет к уменьшению газообразования, следовательно, к неэффективности метанового сбраживания и выхода биогаза. В этом случае повышение эффективности метанового сбраживания в биореакторе можно достичь однородностью и степенью измельчения отходов животноводства перед загрузкой в биореактор растительных остатков соломы, сено до размеров частиц 30 мм [32, 33, 34].

Например, выход биогаза из соломы и силоса составляют 0,3м^3 метана на 1кг органического сырья [34]. Если взять расчет на 1га посевной площади кукурузы, то он составит 600м^3/га [30], что доказывает его самым ценным сырьем для метанового сбраживания. Однако кукуруза в составе смеси не должна превышать 12% и к тому же должна быть измельчена до 30 мм. Достичь этого можно с использованием режущих и разрывающихся устройств.

Однако, достигнутое измельчение до 30 мм не достаточно для эффективного метанового сбраживания в биореакторе. Использование эффекта превращения массы в мкн, возможно используя диспергацию сырья. В этом случае, в сырье рвутся сложные связи волокон (лигнин, целлюлоза), что

позволяет бактериям увеличить выход биогаза так как их однородная структура разрушена и увеличивается площадь расщепления сырья [35, 36].

Результатом измельчения сырья перед подачей ее в биореактор является ее высокая дисперность, что уменьшает период сбраживания и увеличить выход биогаза до 30%. Еще при диспергации высвобождаются природные энзимы, являющимися катализаторами эффективности метанового сбраживания.

В работе [37] показано влияние степени измельчения на выход биогаза. Эффективность биогазовой установки зависит от поступаемого сырья на сбраживание, чем меньше ее размер, тем больше выход метана.

Степенью измельчения называется отношение диаметров кусков материала до и после дробления. Степень измельчения определяют по формулам:

$$i = \frac{\mathrm{D_{max}}}{d_{max}} \tag{1.19}$$

Обычно она находится в пределах 3-10:

Из работы [38] возьмем за основу степень измельчения мацератора I=3.

Кроме того, приблизительную степень измельчения можно посчитать как отношение,

$$S = \frac{B}{b} \tag{1.20}$$

где; B – ширина загрузочной щели;

b – ширина выпускной щели.

Технические характеристики героторного насоса представлены в соответствии с табл. 1.2 [39].

В соответствии с ними находим: $S = \frac{89\text{мм}}{64\text{мм}} = 1{,}39.$

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. [40].

Таблица 1.2 - Технические характеристики героторного насоса.

Наименование	**Ед.изм**	**Значение**
Производительность	л/мин	40-60
Дальность подачи по вертикали, до	М	40
Дальность подачи по горизонтали, до	М	150
Диаметр сопла	Мм	64
Диаметр загружного патрубка	Мм	89

Таким образом рассчитаем процесс измельчения в одном цикле, см. рис. 1.9.

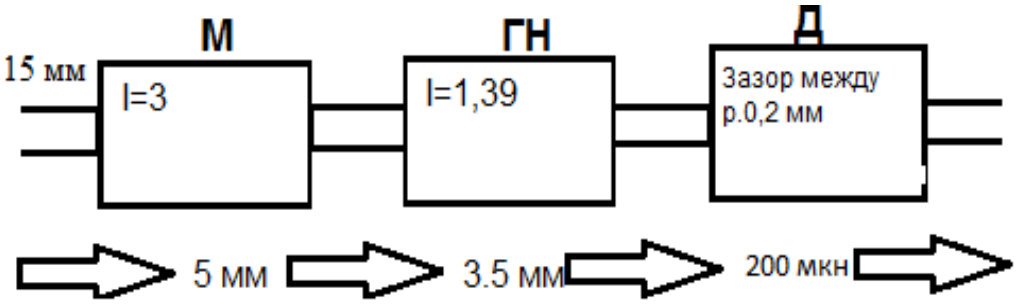


Рисунок 1.9 Степень измельчения за 1 цикл

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 средне геометрическую степень дробления.

$$S = \sqrt{S_{общ}} \qquad (1.21).$$

При этом следует учитывать, что в зависимости от размера поступающего сырья меняется производительность, следовательно, время обработки сырья.

$$Q = m * \omega^2 * t = \frac{V*\rho*a*\pi^2*n^2*t}{900}\varepsilon * kc = a * n^2 * t * \varepsilon * k_c * k_p \ , \frac{кг}{с} \qquad (1.22)$$

где; m- масса сырья;

w – угловая скорость ротора;

V – объем сырья;

p – плотность сырья;

a – количество окон внутренней обечайки статора;

n – частота вращения ротора;

t – продолжительность обработки сырья;

e – коэффициент качества измельчения;

k_c – концентрация;

k_p – коэффициент пропорциональности.

Анализ показывает, что увеличения времени обработки сырья эффективность устройства при увеличении разложения фракций снижается, растет производительность. Более высокую степень измельчения, при сокращении времени обработки позволит получить увеличение частоты вращения [41].

Таким образом, из вышеизложенного следует о необходимости смешивания типов сырья, определения их оптимального соотношенияи отсутствие твердых веществ является необходимым процессом в биогазовой технологии для повышения выхода биогаза и ускоренного их сбраживания.

1.2.4.2. Узел трехступенчатого процесса метанового сбраживания субстрата в биогазовой установке

В работах многих ученых: [42, 43] переработка субстрата в биогаз (метан) предлагаются различные разработанные технологии, основными из которых являются:

- периодическая (с по парным использованием биореактора);
- непрерывная (с последовательным использованием биореактора);
- ступенчатая (кислотное и метановое сбраживание в биореакторе).

Периодическая система метановогосбраживания проходит в двух и более биореакторах, в которых на одной проходит метановое сбраживание, а в другой

идет слив. При этом оставшаяся густая органическая часть в биореакторах используется для следующей затравки при заливке новой свежей порции субстрата. В этой системе загрузка и слив субстрата, а затем восстановление оптимального режима, занимает много времени. Все это порождает ряд недостатков и преимуществ.

Например, увеличивается объем биореактора, что увеличивает стоимость установки, однако гарантируется обезвреживание полученного шлама - биоудобрения, за счет не добавления свежей порции субстрата. Другими недостатками являются: необходимый запас биогаза в газгольдере для безопасности и эффективного процесса сбраживания; неравномерность выхода биогаза и необходимость нескольких десятков биореакторов для устранения данного недостатка [44].

К числу недостатков относится и необходимость дополнительной емкости для сбора и дображивания биошлама вывозимого на поля в виде удобрения.

В последовательном процессе метанового сбраживания (непрерывный) субстрат загружается в биореакторы порциями непрерывно в определенное время и с последующим удалением такой же порции субстрата из биореакторов.

В данной системе при выполнении условий равномерной подачи порции субстрата одновременно в каждый биореактори стабилизация температурного режима метанового сбраживания возможно получить максимальный выход биогаза. Непрерывность успешного протекания метанового сбраживания обеспечивается еще постоянным уровнем субстрата в биореакторах, подачи предварительно подогретого и однородного субстрата с влажностью (85 - 90%), а также его равномерного перемешивания в одно и то же время в сутки [44, 45].

Технологии принципа работы метанового сбраживания периодической и последовательной (проточной) систем приведены ниже, см. рис. 1.10, 1.11.

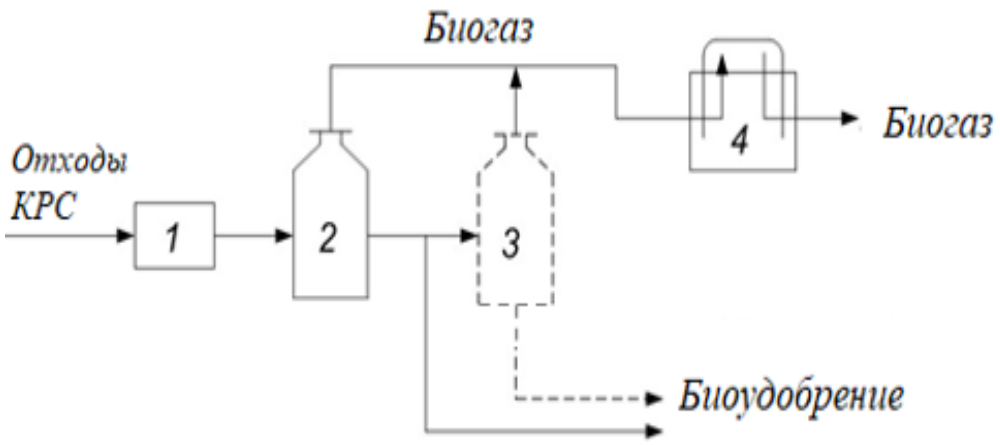


Рисунок 1.10 Технологическая схема проточной (последовательной) технологии метанового сбраживания

1 - теплообменник, 2, 3 - биореакторы, 4 - газгольдер

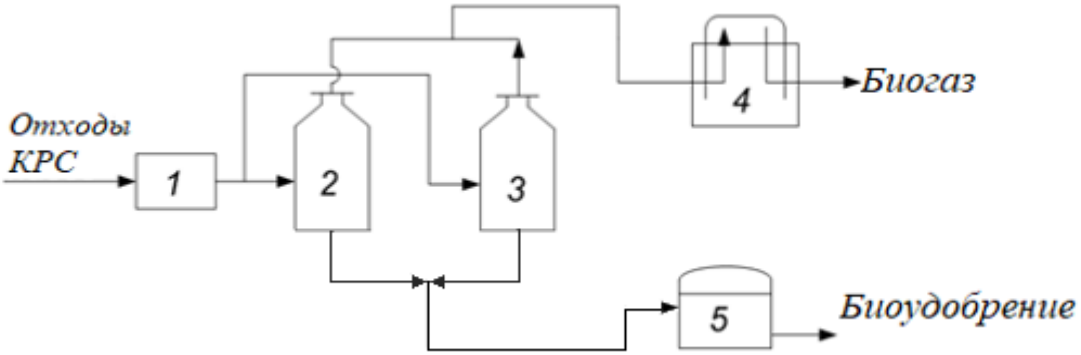


Рисунок 1.11 Технологическая схема периодического метанового сбраживания

1 - теплообменник, 2, 3 - биореакторы, 4 - газгольдер, 5 - сборник шлама.

В работе [45] рассматривается закономерности метанового сбраживания, в котором установлено, что для периодического метанового сбраживания одним из основных факторов интенсификации является температура, а для проточной (последовательной) системы – регулирование загружаемой среды.

В работе [42] было доказано, что метановое сбраживание очень чувствительна и ведет к понижению роста микроорганизмов при неравномерном поступление субстрата в биореактор, чем в других процессах. Одним из факторов интенсификации повышения количества метановых

бактерий в биореакторе является возврат густого шлама после сбраживания на подготовку свежего сырья, см. рис. 1.11. В работе [42] рекомендовано возвращать в биореактор 10% густого шлама влажностью 82 – 90%, что позволяет увеличить выход биогаза на 28%.

Однако, оно имеет место накапливаться в биореакторах, которое мешает перекачивание субстрата из одного биореактора в другой. Технологическая схема метанового сбраживания с возвратом шлама приведена на рис. 1.12.

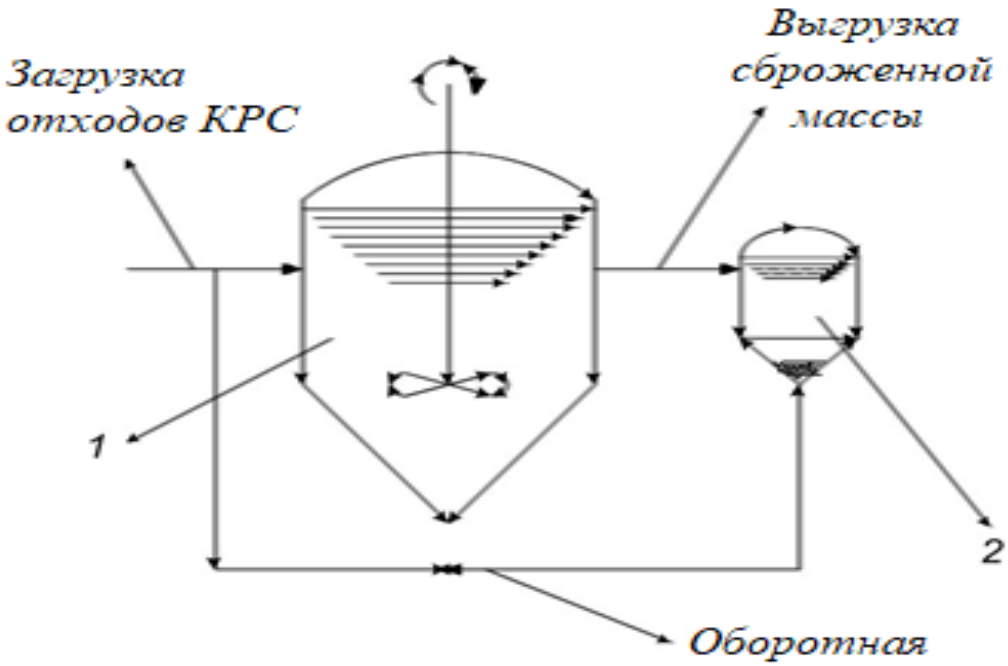


Рисунок 1.12 Технологическая схема метанового сбраживания с возвратом 10% шлама

1 – биореактор; 2 – емкость для отстоя

Впервые двухступенчатый процесс метанового сбраживания для малых биогазовых установок предложены авторами [41, 42], состоящий из двух фаз.

В виду того, что кислотообразующие бактерии склонны к быстрому росту, чем метанобразующие, то отсюда следует осуществлять раздельно метановое сбраживание.

В первой ступени биореактор осуществляет кислотное сбраживание, а во второй ступени биореактор метановое сбраживание [42]. Технологическая

схема прохождение двухступенчатого метанового сбраживания показана на рис.1.13.

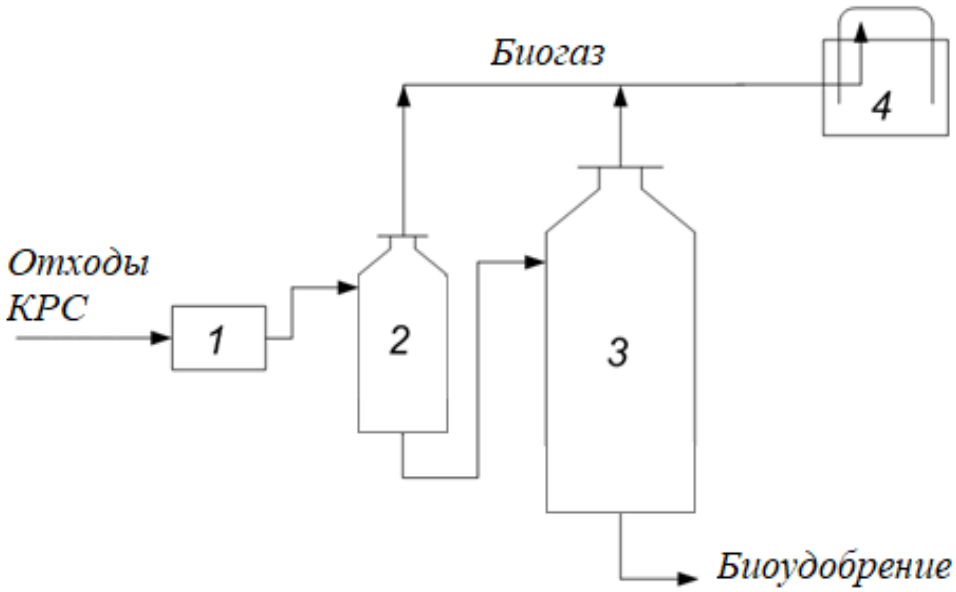


Рисунок 1.13 Технологическая схема технологии двухступенчатого метанового сбраживания

1 - теплообменник, 2 - биореактор 1 - й ступени (кислотное сбраживание), 3 - биореактор 2 - й ступени (метановое сбраживание), 4 - газгольдер.

Многие специалисты [45] склонны к тому, что ступенчатое гидролизное и метановое сбраживание выгоднее применить в биореакторах с психрофильным температурным режимом и мезофильным. Основываясь тем, что биореактор с психрофильным температурным режимом в этом случае будет работать с высокими порциями загрузки (16 – 20%), а метановое сбраживание в термофильном температурном режиме невыгодно как экономически, так и технологически.

Однако, в работе [42] доказано, что процесс двухступенчатого метанового сбраживания выгоднее вести, разделив вторую ступень на два режима: в отдельных биореакторах с мезафильным и термофильным температурным режимах.

1.2.5. Технические параметры, контролирующие оптимизацию и управления процессом метанового сбраживания

1.2.5.1. Подача и отбор субстрата

Задачей интенсификации является деление загружаемой дозы на определенное количество порций для эффективного процесса метанового сбраживания. Прежде всего, данный фактор зависит от состава и свойства сбраживаемого субстрата.

В работах ученых: [46, 47] при определении количества загружаемой дозы рекомендуется иметь в виду, что при загрузке и выгрузке субстрата из биореактора нарушается равновесие микробных культур. Весь симбиоз бактерий, при котором происходит метановое сбраживание составляет у каждого вида бактерий разный прирост микрофлоры у одних оно происходит быстрее, а у других медленнее.

Поэтому при отборе порции субстрата из биореактора, следует иметь ввиду, что количество порции определяется, прежде всего приростом микрофлоры, чтобы не ощутить недостаточность тех или иных микробов в данном симбиозе и неэффективность метанового сбраживания в трехступенчатой биогазовой установке.

Таким образом, необходимо определить оптимальную загрузочную дозу субстрата, которая зависит от многих параметров: конструкции биореактора; биогазовой технологии; состава и свойства сырья; температуры субстрата и перемешивания, а также решить задачу о необходимости подачи и отбора всей полной дозы на метановое сбраживание или делить ее на несколько порций, с целью интенсификации. В таком случае, количество загрузочной дозы также относится к одному из основных расчетных параметров трехступенчатой биогазовой установки, влияющих эффективному сбраживанию субстрата.

Другим не менее важным при выборе количества загрузочной дозы субстрата является процесс подачи и отбора дозы из биореактора, которая

должна регламентироваться приростом микрофлоры. Если скорость роста бактерий низкая и она не успевает восстановиться при отборе и вследствии, чего теряется равновесие в объеме субстрата находящемся в биореакторе бактерий упомянутые бактерии постепенно будет вымываться из нее, что приводит обратно к нарушению симбиоза, а это приводит к разрыву цепочки образования биогаза и концентрации метана в нем.

Из многочисленных источников установлено, чем больше деление дозы на порции загрузки, тем лучше происходит распад беззольного вещества и увеличивается выход биогаза [46, 48].

В работе [48] показано, что увеличение дозы от оптимальной интенсифицирует на убыль метановые бактерии, что разрушает равновесие, за счет недостаточного прироста микрофлоры. Поэтому рекомендуют величину оптимальной загрузки установить (14%), чем у других авторов (8 – 10%) для аналогичного режима.

Также следует отметить, что эффективности работы биореакторе способствовала предварительная подготовка отходов грубой и тонкой обработкой т.е. измельчением подаваемой дозы субстрата на кислотогенную ступень процесса психрофильного режима, где субстрат, прежде всего, обогащался летучими жирными кислотами - являющимся основным питанием в длинной цепочке образования метаногенеза [49, 50].

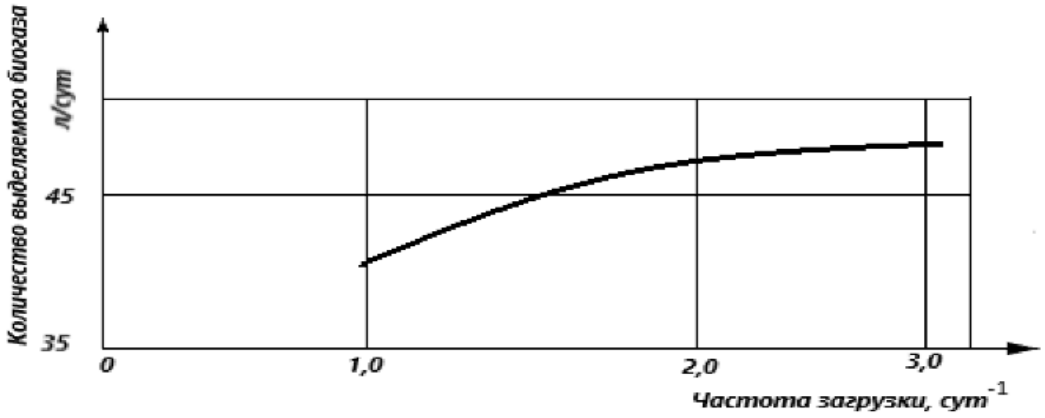


Рисунок 1.14 Зависимость выхода биогаза отделения дозы на порции

Все это естественно способствовало ускорению метанового сбраживания

в биореакторе и увеличению выхода биогаза. На выход биогаза, влияет не только загружаемая доза, но и частота внесения дозы порциями субстрата в биореактор. Проведенные расчеты показывают, что при деление дозы на две порции и внесением в биореактор выход биогаза в 1, 2 раза больше по сравнению с одной полной порции один раз в сутки, см. рис.1.14 [42].

На рис. 1.15. показана динамика выхода биогаза от количества порции субстрата в биореакторе.

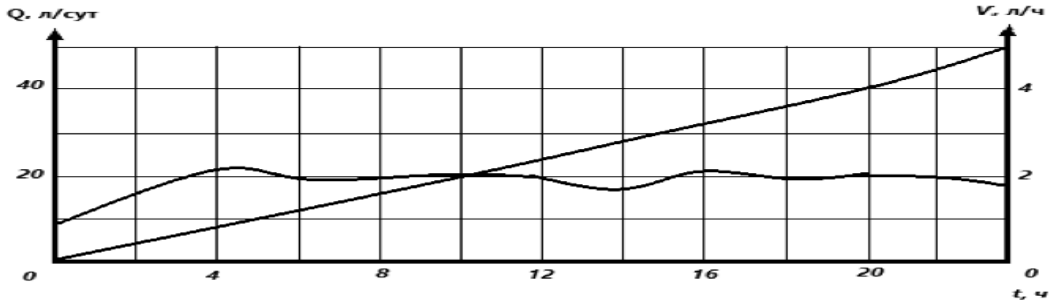


Рисунок 1.15 Динамика выхода биогаза при трехразовой загрузке порции в биореакторе

Из рис. 1.15. следует, что при дальнейшем деление дозы на порции не происходит увеличения выхода биогаза, однако происходит следующее, деление на 3 - 4 порции загружаемой дозы приводит к быстрому смешению свежей порции с имеющимся объемом субстрата в биореакторе. Это позволяет прежде всего достичь общего температурного режима сбраживания, стабилизировать процесс и получать максимальный выход биогаза [51, 52].

Проведенные исследования в работе [48] показали, что деление ежедневной дозы загрузки на две порции позволили поднять эффективность биогазовой установки, снижением металоемкости на 6, а оборудования подготовки грубого и тонкого измельчения на 25%.

В третьей главе разработана система контроля и управления подачей дозы загрузки вносимыми в биореактор трехразовыми порциями трехступенчатой биогазовой установки, для метанового сбраживания через каждые 8 часов.

1.2.5.2. Теплопередача, стабилизация температурного режима

Анализ влияния температуры на метаболическую активность микроорганизмов метанового сообщества показывает, что они в основном определяют скорость процесса сбраживания и выход биогаза в промышленных установках. Микроорганизмы из метанового сообщества делятся на три ступени метанового сбраживания, где каждая их них проявляют свою максимальную активность: психрофильный режим (15 – 25°С), мезоофильный режим (35 – 40°С) и термофильный режим (45 – 55°С).

Однако многие авторы относительно оптимальных интервалов температурного режима, считают высокой для мезафильного и низкой для термофильных режимов [46, 53]. Если проанализировать результаты авторов П.В. Богданова, О.П. Смирнова [42], то они показывают, скорость процесса сбраживания и выход биогаза постоянно возврастает в интервале от 25 до 44°С.

Исследования, проведенные авторами: [54, 55] показали, что оптимальными для мезофильногорежима является температура 39°С, а для термофильного режима 57°С, это выше, чем у других авторов.

Можно приводить довольно много результатов авторов, занимающихся исследованием метанового сбраживания, но одно становится очевидным, что процесс метаногенеза в биореакторе зависит от симбиоза микроорганизмов и адаптации к меняющимся температурным режимам.

Каждый температурный режим имеет плюсы и минусы. Так, например, преимуществом термофильного режима является высокая скорость сбраживания. По сравнению с мезофильным у термофильного режима резко возврастает скорость биохимических реакций, поэтому скорость его сбраживания в 2 – 3 раза выше, чем у мезофильного, что позволяет в несколько раз уменьшить затраты на разработку биореакторов и других оборудований.

Однако, в этом случае разрушается цепочка превращения субстрата в метан, поэтому необходимо предварительно метановое сбраживание проводить

при температуре оптимальной для мезофильного и далее подавать загружаемую долю на сбраживание в термофильный режим.

При этом основная часть сбраживаемого субстрата находится в биореакторе до полного превращения субстрата ацетогенными бактериями в ацетат (уксусную кислоту).

Однако после сбраживания субстрата в мезофильном режиме наряду с выходом биогаза образуется шлам, который по аминокислотному составу намного выше, чем в термофильном. Если взять за основу проведения кислотного сбраживание при психрофильном режиме, то метановое сбраживание целесообразно проводить в двух температурных режимах: мезофильном и термофильном режимах, что позволяет получить высокий показатель по выходу биогаза осуществляющиеся только после пятого дня.

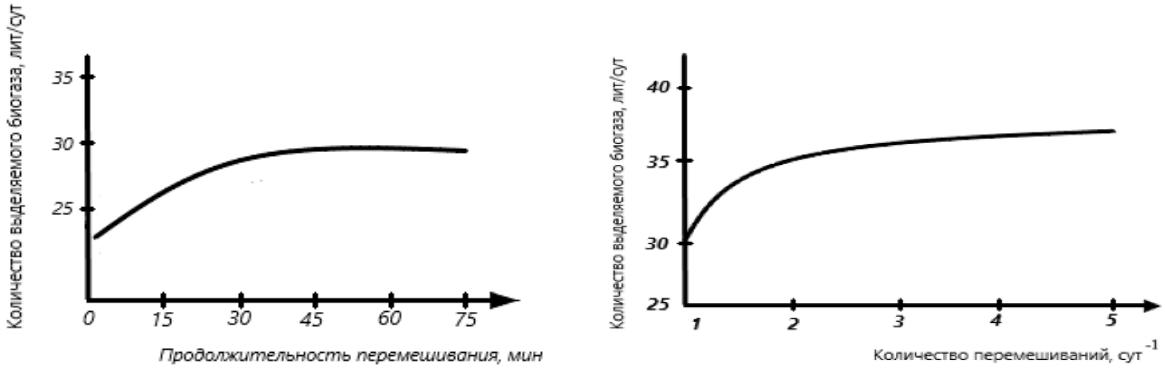
Для стабилизации метанового сбраживания в биореакторах необходимо постоянно регулировать и управлять подачей газа терморегулятором для нагрева мешалки, работающую по принципу «самовар» и нижней части биореактора, где нагревается циркулирующая горячая вода по боковым стенкам [28,46, 42, 56].

1.2.5.3. Перемешивание

Проведенные опыты автором в работе [57] показали, что перемешивание механической мешалкой приводило к разрушению корки на поверхности субстрата и как следствие высвобождало произведенный биогаз микроорганизмами. Было установлено, что скорость вращения мешалки составляет до 5 об/мин. При прекращении перемешивания взвешенные частицы осаждались на дно биореактора и выход биогаза понижался: от 17,8л/кг до 6,42л/кг.

В работе авторов [46, 58] обосновывается, что слишком частое перемешивание приводит к разрушению симбиоза штаммами бактерий к неэффективности сбраживания. Рекомендуется проводить перемешивание

через каждые 4 - 6 часов. Проведенные эксперименты в работе автора [57, 59] при перемешивании от 1 до 5 в сутки и длительности до 20 мин. представлены на рис. 1.16, откуда следует, что выход биогаза возврастает при перемешивании до 3 - х и далее он стабилизируется и при средней длительности работы мешалки до 15 мин.



1 2

Рисунок 1.16 Графики выхода биогаза от перемешивания субстрата

1 - зависимость количества выделившегося газа от продолжительности, 2- зависимость количества выделившегося газа от количества перемешиваний

Таким образом, при вводе загружаемой дозы, деленной на три порции и подаваемой через каждые 8 часов в биореакторы необходимо проводить перемешивание для быстрого смешение свежей порции с имеющимся объемом до 15 минут мешалкой - нагревателем. Перемешивание одновременно устраняет скопление осадков на дне и боковых стенках биореакторов и формирование корки на поверхности сбраживаемого субстрата.

Помимо этого, перемешивание устраняет пустоты, обеспечивает равномерную температуру и количество популяции бактерий внутри биореактора, а также высвобождение произведенного биогаза.

1.2.5.4. Измельчение

В трудах отечественных и зарубежных ученых, а также специалистов в

области интенсификации анаэробного сбраживания экскрементов КРС в биогазовых установках, их степени автоматизации и управления: Друзьяновой В.П., Вачагина Е.К., Иванова В.А., Сидыганова Ю.Н., Тлебаева М.Б., Бийбосунова Б.И. отмечено, что в процессе анаэробного сбраживания чередование жидких и твердых веществ в составе субстрата заставляют бактерии приспособливаться к меняющимся условиям, что значительно сокращает выход биогаза, снижают концентрацию метана в нем и увеличивает срок пребывания субстрата в биореакторе [60, 64]. Решение данной проблемы при применении кавитационной деструкции позволяет не только свести к минимуму температурную неоднородность, но и решить вопрос одинаковой нагрузки на биоценоз и максимальную поверхность контакта бактерий вовремя. При анализе литературных источников [65 - 67] было выявлено, что после 6 цикла значения изменения размера исходных частиц минимальны <10мкн, выполнение 6 цикла считаем нецелесообразным.

1.3. Выбор математических моделей для описания и моделирования метанового сбраживания трехступенчатой биогазовой установки

Математические (компьютерные) модели в силу своей логики и строгой формальности удобнее в использовании, чем естественные (физические). Они позволяют проводить вычислительные эксперименты, фактическая формулировка которых затруднена или невозможна.

Для оценки количества биогаза, образующегося при переработке отходов различного состава, в зависимости от основных факторов процесса используется математическое моделирование, которое включает в себя три взаимосвязанных этапа: составление математического описания исследуемого объекта, выбор метода для решения системы уравнений и реализация ее в виде программы компьютерного моделирования, а также определения адекватности модели [68].

Определение параметров, как измельчение, гомогонизация и деструкция субстрата, температура сбраживания, содержание влаги в субстрате, доза суточной нагрузки, скорость и интенсивность смешивания, влияющие на метановое сбраживание, рассчитываются в трех направлениях.

К первому относятся труды ученых Chen, Colleran, Comerfold и других. Colleran, Comerfold, которые берут за основу взаимосвязь субстрата, а именно от его химического состава [69, 70, 71]:

В моделе Монто и других авторов [72, 73, 74] в исследованиях биогазовых технологий математически описана работа устройств для интенсификации процесса, а не процесс производства биогаза при анаэробном сбраживании субстрата.

В работах Чена и Хошимото [69, 75] с использованием модели Конто основные параметры, влияющие на метановый процесс в биореакторе определяются как отдельные функции

$$V= B0 \cdot S\tau \cdot 1 - k\mu m \cdot \tau -1+K \qquad (1.23)$$

где; B0 - выход биогаза за сутки на 1 кг. субстрата; Sτ – концентрация метана; τ – время сбраживания; К – параметр кинетики; μm = 0,013x T – 0,129.

В работах Ковалева А., Гриднева П., Левчиковой М [76, 77] метановый процесс описывают, связав зависимость выхода биогаза от разложения твердых веществ в субстрате в биореакторе.

В работе Васильева А.А. [78] математическое описание в основном отражает зависимость выхода биогаза от роста скорости микроорганизмов, не учитывая новых метанообразованных микроорганизмов.

В работах Сатьянова, Друзьяновой [79, 80] математическое описание получение биогаза основано на учете теплового баланса биореактора и выход метана зависит в основном от состава и типа сырья конкретного фермерского хозяйства.

В работе Наумовой О.В. [81] приведено математическое описание процесса активации теплообмена методом вибрационного перемешивания,

основанное на известных зависимостях тепловых и материальных балансов уравнений теплопередачи и гидродинамики,

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} + \omega_x \frac{\partial t}{\partial x} + \omega_y \frac{\partial t}{\partial y} + \omega_z \frac{\partial t}{\partial z} = a\left(\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2}\right);$$

$$\frac{D\vec{\omega}}{dt} = \vec{g} * \beta * \vartheta - \frac{1}{\rho} * \nabla\rho + v * \Delta^2 * \vec{\omega} \qquad (1.24)$$

$$\alpha = -\frac{\lambda}{\vartheta_c} * \left(\frac{\partial \vartheta}{\partial n}\right)_{n-\vartheta};$$

$$div\vec{\omega} = 0;$$

где; t - температура, С; ω - частота вращения, рад/с; а - коэффициент температуропроводности, м^2/с; g - ускорение свободного падения, м/с^2; β – коэффициент объемного расширения, К$^{-1}$; υ - скорость движения рабочего органа биореактора с пластиной активатором, м/с;р - плотность, кг/м^3; ∇- пульсационные составляющие; р - давление, Па; v - коэффициент кинетической вязкости, м^2/с; а - коэффициент теплоотдачи, Вт/(м^2 °С); λ - коэффициент теплопроводности, Вт/(м°С); n- номер резонансной гармоники.

В работе Вохмина В.С. [82] проводится исследование внешней системы отопления - теплообменника с использованием труб на наружной поверхности биореактора. Уравнения теплопередачи с рядом изменений используются для опиисания системы. Получены уравнения для определения среднего коэффициента теплопередачи и толщины изоляции биореактора

$$K_{сред} = \frac{\int_{-S/2}^{+S/2} k(d_H,S)dS}{S} \qquad (1.25)$$

$$\delta_{изол} = \lambda_{изол}\left(\frac{1}{0{,}2R_p - 0.12}\right) \qquad (1.26)$$

где; К- 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); Rp - радиус реактора, м.

В работе Андрюхина Т.Я. [83] процесс движения частицы (пузыря) описан математически с использованием уравнений гидродинамики Навье -

Стокса в цилиндрической системе координат. С учетом принятых допущений была получена система уравнений:

$$\frac{\partial P}{\partial r} = 0;$$
$$-\frac{1}{r} \cdot \frac{\partial P}{\partial \phi} = 0\ ; \qquad (1.27)$$
$$\frac{\partial P}{\partial z} = \frac{\mu}{r} \cdot \frac{\partial V_z}{\partial r} + \mu \cdot \frac{\partial^2 V_z}{\partial r^2} - p \cdot g = 0$$

где; P- давление в направлении движения пузырька, Па; r - радиус пузырька, мм; μ - динамическая вязкость жидкого материала, сСт; V - скорость подъема пузырька, м/час; p - плотность жидкого материала, кг/м^3; g - ускорение свободного падения, м/с^2.

Однако, вышеперечисленные математические модели трехступенчатого процесса анаэробного сбраживания навоза КРС и методы расчета параметров биогазовых установок не учитывают важные характеристики процесса, в частности, химические свойства исходного субстрата и влияние ряда факторов, способствующие интенсификации получения метана [84].

Для математического описания технологического процесса метанового сбраживания субстрата в биореакторах автором выбрана модель Конто, которая учитывает гидродинамику и теплообмен сбраживаемого субстрата и использует коэффициент $К_б$, описывающий влияние барботажного перемешивания на эффективность процесса.

$$\begin{cases} \frac{dB}{d\tau} = V \cdot v; \\ V = \frac{B_0 \cdot S \cdot K_б}{\tau_{бр}} \cdot \left(1 - \frac{K}{\mu_T \cdot \tau_{бр} - 1 + K}\right); \\ \frac{dQ}{q\tau} = -u\frac{dQ}{d\tau} - k \cdot \Delta F_{зм} \cdot (T_T - T); \\ \frac{dQ}{d\tau} = k \cdot \Delta F_{зм} \cdot (T_1 - T); \end{cases} \qquad (1.28)$$

где; B – объем выхода биогаза, м^3; V – скорость; $К_б$ - коэффициент барботажного перемешивания; $Т_{бр}$ - время брожения; K - кинетический параметр; Q - количество теплоты, необходимого для обогрева биореактора, Дж; u -скорость движения горячего потока по трубе, м/с; k - коэффициент

теплопередачи, Вт/(м^2*К); $\Delta F_{зм}$ - площадь теплопередачи биореактора, м^2; $T_т$ - температура горячего потока, К; Т - температура сбраживаемого субстрата в биореакторе, К;

μ_m зависит от температуры процесса сбраживания :

$$\mu_m = 0.013 \cdot T - 0.129 , \quad (1.29)$$

где; Т - температура, ^{0}С.

Кинетический параметр для навоза КРС:

$$K = 0.8 + 0.016 \cdot e^{0.06 \cdot S_0}, \quad (1.30)$$

где; S_0 - концентрация органического вещества.

Концентрация органического вещества определяется по формуле:

$$S_0 = \frac{G_{сух} \cdot S_1}{W_б} \quad (1.31)$$

$$G_{сух} = G_б * C_{сух} \quad (1.33)$$

определяется по формуле:

$$W_б = G_б / \rho_б \quad (1.34)$$

где; $\rho_б$ - плотность субстрата; кг/м^3.

Плотность биомассы:

$$p_б = 1000 + 2.4 \cdot (100 - b) \quad (1.35)$$

где; b -влажность сбраживаемого субстрата, %.

Суточный выход биогаза из реактора зависит от суточного выхода метана:

$$L_{БГ} = \frac{L_{CH4}}{C_{CH4}^{\%}} * 100 \quad (1.36)$$

где; L_{CH4} – суточный выход метана в биогаза, м^3/сут.

$$L_{CH4} = \frac{L_{0CH4} * V_{реакт}^{min}}{k_з} * 100 \quad (1.37)$$

где; $L_{0\,CH4}$ – удельный суточный выход метана, м^3/сут·м^3, V_{min} – 90 %.

Минимальный объем реактора определяется по формуле:

$$V_{min} = W_б \cdot T_{бр} \quad (1.38)$$

Удельный суточный выход метана определяется по формуле:

$$L_{0CH4} = \frac{B_0 \cdot S_0}{T_{бр}} \cdot \frac{1-K}{T_{бр} \cdot \mu_M - 1 + K} \quad (1.39)$$

Выбор данной модели наиболее подходит для методологии расчета основных параметров биогазовой установки, чем другие:

1. Конструктивно – геометрических размеров биореактора; перемешивающего устройства; системы обогрева;

2. Технологических: температуры; влажности; время процесса; объем производимого биогаза; частоты перемешивания.

ВЫВОДЫ К ГЛАВЕ 1

1. Проведен литературный обзор первоначальной подготовки подстилочного и безподстилочного навоза КРС на основе, которого было установлено, что для эффективного проведения метанового сбраживания в биореакторе, целесообразно сырье предварительно измельчить до 30мм в шнековом измельчителе и далее в кавитационном диспергаторе до 50 мкн.

2. Литературный обзор показал, что оптимальное значение pH колеблется в зависимости от вида сырья от 6,5 до 8,5. При снижении значение pH ниже 6,5 теряется активность метановых бактерий, тогда рекомендуется биогазовые технологии, в которых отделяют CO^2 уже на первой ступени и отправляют на барботаж в третью.

3. В свою очередь метановое сбраживание решено проводить отдельно на двух ступенях: мезофильный режим с оптимальной температурой 37 C^O и термофильный режим 52 C^O, так как на второй ступени сбраживаемый субстрат при выходе имеет в составе микроэлементы присущие удобрению.

4. На основе исследований многих ученых было рекомендовано подачу суточной загрузки субстрата делить на три части и вводить порциями в биореакторы одновременно на всех трех ступенях и отводить, что позволяет снизить метало емкость на 6%, а оборудования подготовки грубого и тонкого измельчения на 25%.

5. Осуществлять перемешивание сразу же после подачи дозы загружаемого субстрата мешалкой - нагревателем, что позволяет быстрее восстановить температурный режим и быстрого смешение свежей порции с имеюшимся объемом субстрата.

6. Для стабилизации температуры на всех трех режимах применить мешалки - нагреватель, теплообменники для отдачи тепла субстратам, подаваемым загружаемые дозы в мезофильный и термофильный режимы и горячую воду, циркулирующую в нижней части и боковых стенках

биореакторов, что позволит снизить капитальные затраты на изготовление и эксплуатацию трехступенчатой биогазовой установки.

7. На основе исследований кинетических закономерностей и параметров, влияющих на интенсификацию метанового сбраживания предложена математическая модель Конто, основанная на уравнениях гидродинамики и теплообмена, в которой впервые предложен коэффициент K_6, учитывающий влияние барботажного перемешивания на эффективность метанового сбраживания.

ГЛАВА 2. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И КОМПЬЮТЕРНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ТРЕХСТУПЕНЧАТОГО ПРОЦЕССА МЕТАНОВОГО СБРАЖИВАНИЯ СУБСТРАТА В БИОРЕАКТОРЕ

2.1. Разработка технологического процесса: узлов подготовки сырья и метанового сбраживания субстрата в трехступенчатой биогазовой установке.

В работах многих ученых: [60, 2, 85, 86, 27, 54, 61], а также специалистов в области интенсификации анаэробного сбраживания экскрементов КРС в малогабаритных трехступенчатых биогазовых установках, их степени автоматизации и управления, отмечено, 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.

Решение данной проблемы при предварительной подготовки подстилочного и бесподстилочного навоза КРС шнековой и кавитационной деструкции позволяет не только свести к минимуму температурную неоднородность, но и решить вопрос одинаковой нагрузки на биоценоз и максимальную поверхность контакта бактерий во время анаэробного сбраживания субстрата на трех ступенях, позволяющая наиболее полно использовать емкости биореакторов биогазовой установки [62, 63, 87].

Учитывая все преимущества и недостатки, в представленные в 1 главе, а также в работах ученых и специалистов впервые разработана инновационная технологическая схема непрерывного метанового сбраживания в трехступенчатой биогазовой установке, отличающаяся [19, 67]:

1. Предварительным измельчением подстилочного сырья до требуемых размеров частиц 30 мм в шнековом измельчителе;

2. Созданием однородной среды, в котором размеры частиц составляют 50 мкр. при измельчении в кавитационном деструкторе;

3. Подачей загружаемого субстрата частотой в три раза, позволяющая быстрее стабилизировать температурный режим, смешение свежей порции с имеющимся субстратом в биореакторе;

4. Сократить время работы мешалки и мощности для нагрева сбраживаемого субстрата;

5. Подогревом сбраживаемого субстрата топочным газом от боковых стеноки мешалки - нагревателя расположенным внутри биореактора.

Вышеприведенный анализ показывает, что предложенная технология метанового сбраживания позволит оптимизировать на всех трех ступенях основные параметры технологического режима (водородный показатель, измельчение, температура, давление, перемешивание, подача и отбор сырья), что позволит максимально увеличить выход биогаза и сократить время сбраживания субстрата в биореакторе. Вследствие, чего значительно сокращаются затраты на капитальное строительство, оборудование и электроэнергию биогазовой установки.

Функциональная схема узлов подготовки сырья и метанового сбраживания в трехступенчатой биогазовой установке приведена на рис. 2.1.

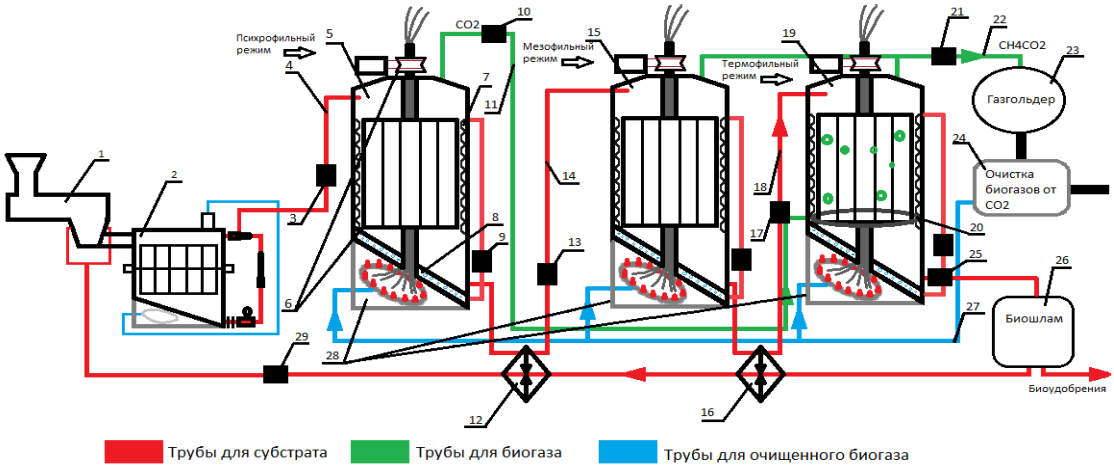


Рисунок 2.1 Функциональная схема узлов подготовки сырья и метанового сбраживания в трехступенчатой биогазовой установке

Здесь обозначены: 1 - шнек грубого измельчения навоза с водой, 2 - емкость для тонкого измельчения сырья, 3 - насос для подачи субстрата впервую ступень 5, 4, 8, 11, 14, 18, 27 - труба 57 мм, 6 - автоматическая мешалка, 7 - нагревательные трубы спиральной формы, 8 - подогрев воды в нижней части биореакторов, 9 - насосы для перекачки горячей циркулирующей горячей воды в биореакторах, 10 - насос для подачи биогаза обогащенного CO_2 из первой ступени на третью, 12, 16 - теплообменники, 13 - насос для подачи субстрата из 1 ступени во 2 - ю ступень,17 - насос для подачи субстрата из второй ступени в 3 - ю, 20 - труба сферической формы для подачи CO_2, 21 - компрессор для перекачки биогазов в газгольдер, 23 - газгольдер, 24 - емкость для очистки биогаза, 25 - насос для откачки отбора порции из третьей ступени, 26 - емкость для хранения биошлама, 28 - горелки для подогрева нижней части биореакторов, 29 - насос для перекачки жидкого шлама для перемешивания с навозом в шнековом измельчителе.

Описание узла метанового сбраживания субстрата в трехступенчатой биогазовой установке. Процесс метанового сбраживания субстрата в узле происходит в следующем порядке. В биореактор 5 психрофильного режима субстрат заливают ежедневно дозу субстрата 11 дней, в процессе анаэробного сбраживания в 5 биогаз обогащенный $C0_2$ насосом 10 подается на барботаж в биореактор - термофильный режим 19. При поступлении 12 дозы, из нижней части отбирается одна доза и проходит теплообменник 12 и с помощью насоса 13 подаётся в биореактор - мезофильного режима 15 на сбраживание.

Процесс подачи доз ежедневно продлится до 9 раз, при этом получаемый биогаз отбирается через компрессор 21 в газгольдер 23. После 20 суток перекачивающий насос 17 отбирает одну дозу, которая проходит теплообменник 16 и подается в биореактор 19. Процесс подачи доз ежедневно продлится до 8 раз. Выделяемый биогаз с помощью компрессора 21 откачивается в газгольдер 23 и после очистки 24 отправляется к потребителю биогаза 27 и на отопление биореакторов 5, 15, 19.

Циркулирующая вода для нагрева сбраживаемого субстрата в

биореакторах 5, 15, 19, подогревается газом в нижней части и подается насосом 9 в трубки нагрева спиральной формы боковых стенок, затем обратно возвращается в нижнюю часть насосами [3, 25, 30].

По истечению 28 суток и выхода на непрерывный процесс трехступенчатой биогазовой установки ежедневно в 5 будет подаваться одна порция и из 5 будет отбираться и далее подаваться на 15 и далее с 15 на 19 и далее насосом 25 отбирается биошламиз 19. В сепараторе 26 биошлам делится на твердое и жидкое удобрение.

Потом проходит теплообменники 12, 16, которые нагревают субстрат из 5 и 15 и подают в шнек 1. Нагрев субстрата в трех БР до оптимальных температур производится с помощью получаемого биогаза через горелки 28. Перемешивание способствует нагреву субстрата и равномерному распределению температуры и кислотности, а также разбивает корку на поверхности сбраживаемой смеси.

В усовершенствованной трехступенчатой биогазовой установке имеются инновационные решения как: отбор биогаза (обогащенного углекислым газом) осуществляется с психрофильного режима (гидролиза), сразу на термофильный режим, минуя мезофильный режим. Биогаз, обогащенный диоксидом углерода, подается в нижнею часть биореактора термофильного температурного режима на барботаж, обогащая сбраживаемый субстрат CO_2 и тем самым способствуя развитию ацетатразлагающих метаногенов, которые повышают выход биогаза и концентрацию метана в нем [48].

2.2. Разработка совмещенного узла грубого и тонкого измельчения подстилочного и безподстилочного навоза КРС

Первоначальная подготовка субстрата необходима для эффективной работы используемого технологического оборудования, а также для обеспечения последующего процесса анаэробного сбраживания в нем.

На первом этапе подготовки субстрата проводится отделение посторонних предметов и сортировка субстрата. Необходимость проведения этой операции зависит от происхождения и 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 [67].

Основным сырьем для метанового сбраживания являются: навоз животных, органические отходы пищевой переработки, энергетические культуры (рапс, силос, солома и др.). В желудках КРС живут симбиоз бактерий для осуществления процесса сбраживания.

Практически бактерии есть повсюду и при благоприятных условиях они начинают размножаться и разрушать органические вещества. В биореакторах трехступенчатой биогазовой установке путем нагрева основных узлов создаются благоприятные условиядля размножения бактерий. Для эффективной работы трехступенчатой биогазовой установки необходимо тщательно подходить к подбору сырья.

Например, использование только лишь безподстилочного навоза КРС невозможно получить большого количества биогаза, тогда как, имея в своем составе остатки соломы, сена и других органических отходов намного повышает производительность трехступенчатой биогазовой установки. Поэтому имея в составе сырья сухую массу в соотношение с навозом крупного рогатого скота возможно добиться значительного увеличения биогаза [9].

В работе [10] приводится расчет газа от различных энергетических культур, например, от силоса он составляет 6000 $м^3$/га, однако с подстилочным навозом КРС в смесь попадают остатки соломы и сена. В этом случае для измельчения сухого вещества необходимо предварительная подготовка сырья для метанового сбраживания. В составе сырья процент сухих веществ должен не превышать 12 % и твердые вещества измельчаются до размеров 30 мм с применением шнекового оборудования, режущих и других устройств [9, 10].

Использования шнекового и режущего оборудования позволяет измельчить отходы растение водства до мелких частиц способных разлагаться в короткие сроки сбраживания.

Однако конструкция данной установки не совсем измельчает сырье и для этого используют мацератор для измельчения длинных волокнистых веществ и разрыва волокон гетероторным насосом и доведения до однородной гомогенной смеси размером 50 мкм кавитационным диспергатором [19, 10].

Измельчители субстрата устанавливают перед блоком его подачи на первую ступень сбраживания биогазовой установки. 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 гомогенизациии 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 [19].

Однородность субстрата, загружаемого в биореактор биогазовой установки, один из основных факторов 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 также максимальная поверхность контакта бактерий и разлагаемого субстрата обеспечивается процессом кавитации в приемной емкости, а также в биореакторе анаэробного сбраживания.

Таким образом, предварительная обработка субстрата, перед его отправкой в биореактор на сбраживание, позволяют значительно увеличить процентное содержание метана в биогазе.

На основании проведенного анализа предложена технология для грубого и тонкого измельчения подстилочного и другого органического отхода предложена конструкция шнекового измельчителя грубого измельчения до 30 мм и далее тонкого измельчения длинных волокон в мацераторе, разрыва в гетероторном насосе и доведения до однородной и доведения до однородной смеси размером 50 мкм кавитационным диспергатором.

Технологическая схема узла предварительной подготовки отходов животноводства, загружаемой порции субстрата приведена на рис. 2.2.

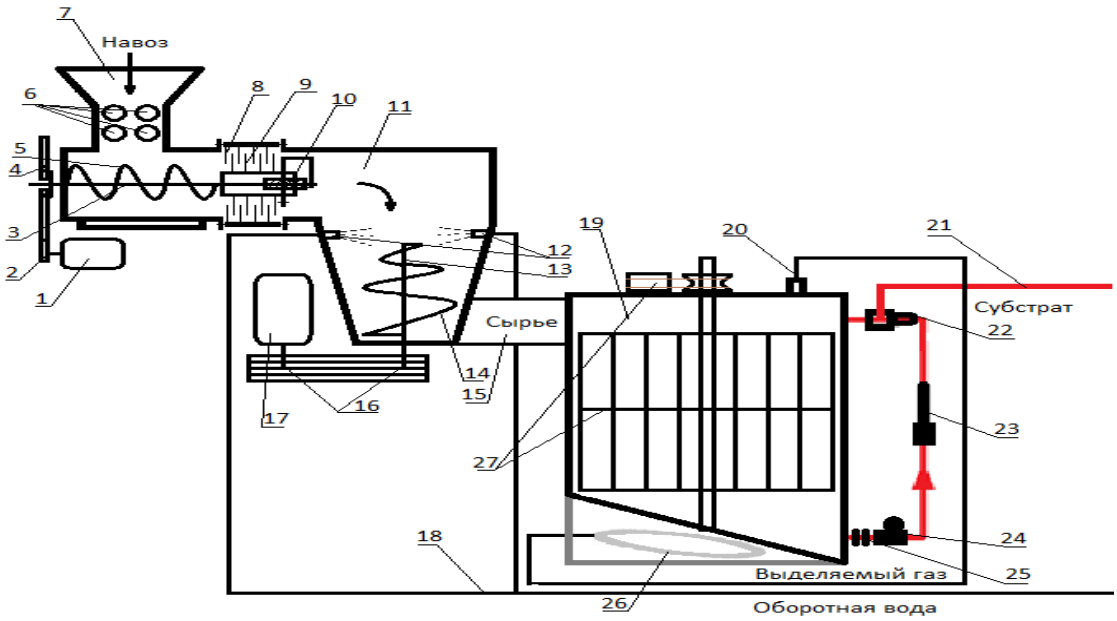


Рисунок 2.2. Технологическая схема узла предварительной подготовки отходов животноводства, загружаемой порции субстрата

Здесь обозначены: 1, 17 - моторы; 2, 4, 16 - шкивы; 3, 13 - валы; 5 – шнеки; 6 - вальцы; 7 - приемные емкости; 8,9 -режущие ножи;; 10 -блок отключения автомата; 11- устройство для смешения; 12 - форсунки; 14 - конический шнек-смеситель; 15 - разгружаемое отверстие, 18 - трубы с оборотной водой, 19 – емкость для перемешивания, 20 - факел для отправки выделяемого газа в горелку, 21 - труба для отправки субстрата на сбраживание прошедшего цикл измельчения, 22 - диспергатор, 23 - генераторный насос, 24 - мацератор, 25 - муфта, 26 – горелка, 27 - автоматическая мешалка.

Описание технологического процесса работы узла предварительной подготовки отходов животноводства. Основными оборудования узла являются [9, 67]:

- шнековый сепаратор - предназначен для грубого измельчения перед загрузкой в БР растительных остатков – соломы, сено до размеров частиц 30 мм;

- мацератор-предназначен для измельчения длинных волокнистых включений и одновременного отделения тяжелых примесей и соломы, для защиты насосов, сепараторов и другого оборудования от засорения длинными включениями и повреждения твердыми частицами, снижает вязкость перекачиваемого продукта;

- диспергаторно - пульсационные аппараты, применяются для тонкого измельчения и создания однородной смеси из различных по структуре жидких продуктов;

- гетероторный насос – это агрегат, состоящий из шнека и винта, при вращении происходит разрыв волокон.

Процесс грубого и тонкого измельчения в узле происходит в следующем порядке. Смешанный навоз с соломой поступает на грубое дробление в приемный бункер шнекового сепаратора, где проходит дробление через вальцы и затем поступает на шнековое измельчение 5 и ножевое 8,9, далее подается в смесительную камеру 11, куда поступает и оборотная вода. Навозная жижа и

вода смешивается каноническим шнек-смесителем 14 и затем через выгрузное окно 15 сырье самотеком поступает в емкость для перешивания 19, где подогревается и перемешивается с помощью мешалки и происходит кавитационная деструкция сырья с помощью мацератора 24, гетероторного насоса 23 и диспергатора 23.

Цикл не подаст дозу сбраживаемого субстрата в биореактор психрофильного режима пока субстрат не достигнет однородной консистенции. Потом с помощью насоса 21 измельченная однородная смесь - субстрат подается через теплообменник в биореактор психрофильного режима на метановое сбраживание при температуре 23^0С.

На основе вышеизложенного определено:

1. Объектом исследования является технологический процесс непрерывного метанового сбраживания предварительно-измельченного субстрата шнековым и кавитационным деструктор в биореакторах трехступенчатой биогазовой установки.

2. Предмет исследования. Закономерности влияния основных параметров: измельчение; однородность состава; загрузка; температурный режим и перемешивание на активность и размножение бактерий в сбраживаемых субстратах биореакторов, контроля и автоматизации управления.

2.3. Разработка математической модели узлов степени измельчения и метанового сбраживания в биореакторах трехступенчатой биогазовой установки.

Для определения математической модели совмещенного измельчения подстилочного навоза КРС и метанового сбраживания при известных теоретических или экспериментальных параметрах использовали следующую **методику исследований:** численные методы, которые являются одним из мощных математических средств компьютерного моделирования решения

задачи; математическое моделирование; математическая статистика; оптимизация основных параметров системы контроля, автоматизации управления трехступенчатой биогазовой установкой. Результаты компьютерного моделирования тестировались на аппаратно-программном комплексе в ТарРУ им. М.Х.Дулати, где разница в погрешности составила 5-10%. Для обработки результатов использовались пакеты программ Matlab, Matcad, VisualStudio и интегрированная среда TRACE MODE.

2.3.1. Разработка математической модели степени измельчения подстилочного навоза КРС для метанового сбраживания субстрата в биореакторах.

Математическое описание метанового сбраживания и расчет состоит из описания и расчета двух узлов: в первом узле нахождение уравнений описывающих параметры крупного и «тонкого» измельчении; во втором узле нахождение кинетических уравнений, описывающих процесс метанового сбраживания на всех трех ступенях биогазовой установки.

Таблица 2.1 – Вспомогательные величины.

I	x_i	y_i	$\frac{1}{x_i}$	$\frac{1}{x_{2i}}$	$\frac{y_i}{x_i}$
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

Итак, зная значения теоретических параметров искомой функции (в 1 гл. (8.)) (табл. 7) (гл. 1 стр. 54), используя инструменты аппроксимации [88, 89] проведем анализ. Для нахождения функции в работе использовали метод аппроксимации. На начальном этапе составляем таблицу вспомогательных величин, табл. 2.1:

Вычислим коэффициенты a и b для уравнения гиперболической регрессии $y = a + \frac{b}{x}$ по известным формулам[67,90]:

$$b = \frac{n\sum\frac{y_i}{x_i} - \sum\frac{1}{x_i}\sum y_i}{n\sum\frac{1}{x_i^2} - \left(\sum\frac{1}{x_i}\right)^2} = \frac{6\cdot 234.721 - 2.45\cdot 295.71}{6\cdot 1.49138889 - 2.45^2} \approx 232.1369\ ; \qquad (2.1)$$

$$a = \frac{1}{n}\sum y_i - \frac{b}{n}\sum\frac{1}{x_i} = \frac{1}{6}\cdot 295.71 - \frac{232.1369}{6}\cdot 2.45 \approx -45.5042 \qquad (2.2)$$

Итак, искомое уравнение регрессии имеет вид:

$$y = -45.5042 + \frac{232.1369}{x}, \qquad (2.3)$$

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

Проведем анализ графика уравнения регрессии с помощью программы Mathcad, см. рис.2.3.

Средняя ошибка аппроксимации:

$$\overline{A} = \frac{1}{n}\sum\left|\frac{y_i - y_i}{y_i}\right|\cdot 100\% = \frac{4.033}{6}\cdot 100\% \approx 67.2172\%. \qquad (2.4)$$

$$x := \begin{pmatrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \\ 5 \\ 6 \end{pmatrix} \qquad f(x) := -45.5042 + \frac{232.1369}{x}$$

$$[(x > 0)\text{and}(y > 0)$$

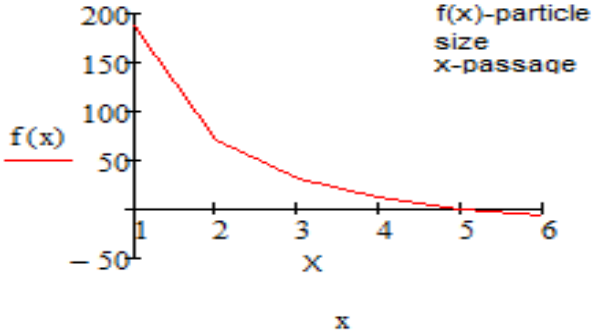


Рисунок 2.3 График уравнения регрессии

Анализируя график, можно сделать вывод, что функция:

$$y = -45.5042 + \frac{2321369}{x} \qquad (2.5)$$

Описывает процесс измельчения лишь до x <= 4 или до измельчения в 14мкн. При большом измельчении ошибка аппроксимации возрастает, и данные становятся некорректными.

Для описания и нахождения функции измельчения более 14 мкн., воспользуемся функцией «Линия тренда» в Excel , см. рис. 2.4.

Непрерывная линия показывает график, построенный в соответствии с данными из таблицы 1, пунктирная линия - график полученной функции апроксимации:

$$y=161.11x-1.705 \qquad (2.6)$$

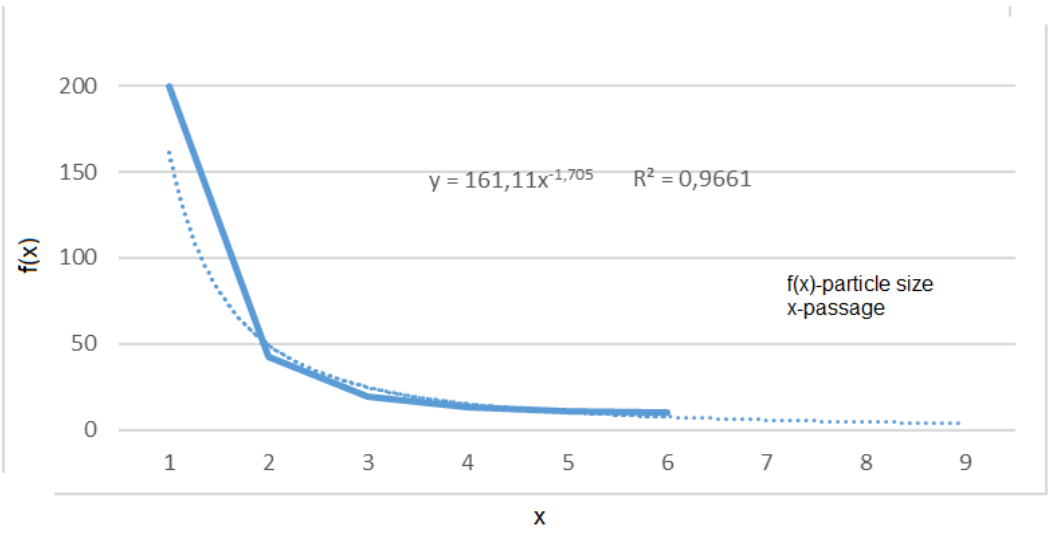


Рисунок 2.4 Функция «Линия тренда»

Средняя ошибка аппроксимации равна 17.89 %, что говорит о хорошей «подгонке» полученной функции к исследуемым параметрам. Смоделируем данную функцию в Mathcad, см. рис. 2.5.

$$f(x) := 161.11 \cdot x^{-1.705}$$

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

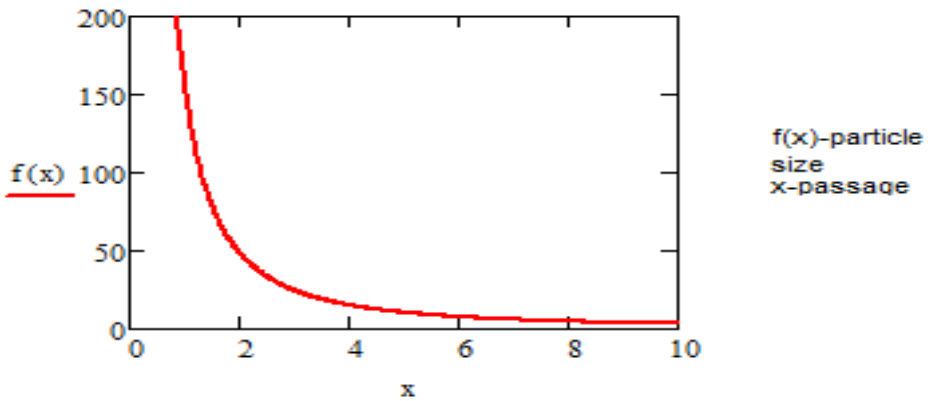


Рисунок 2.5 Реализация степенной функции в Mathcad

Тогда процесс обработки органического сырья (измельчения) можно описать следующей системой уравнений: [67, 90].

$$\begin{cases} f(x) = -45.5042 + \dfrac{232.1369}{x} \\ f(x) = 161.11x^{-1.705} \end{cases} \qquad (2.7)$$

С помощью надстройки X-Y-Trace в системе Mathcad найдем точку пересечения графиков, для определения граничных условий системы, см. рис. 2.6.

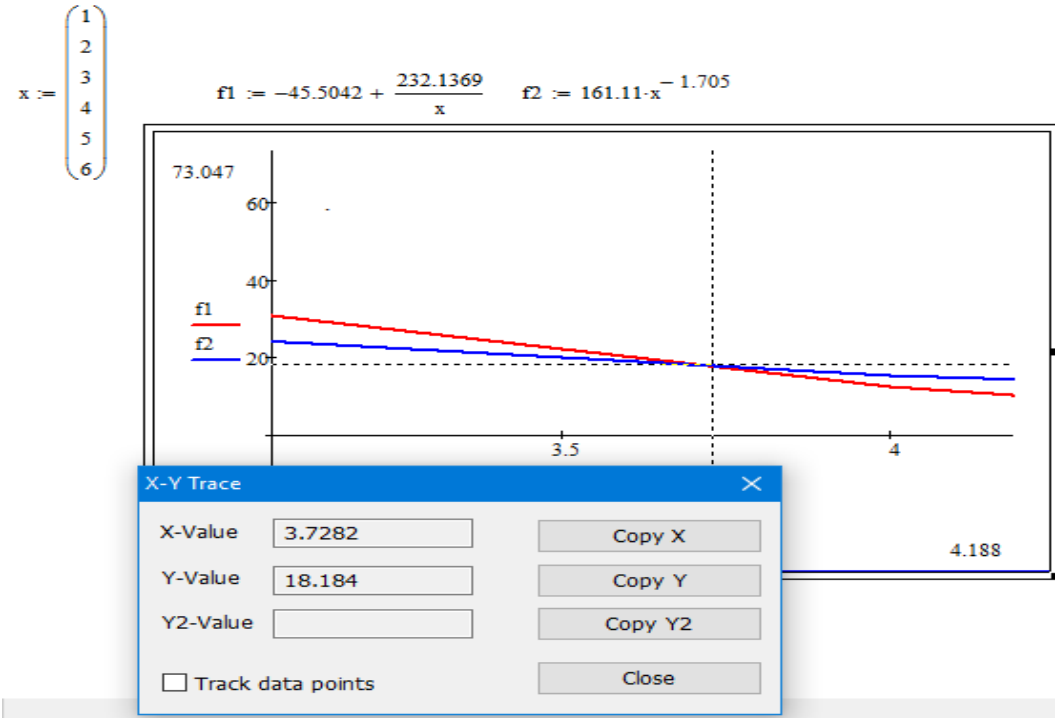


Рисунок 2.6 Определения ограничений системы

Из рис. 2.6 видно, что графики пересекаются при значениях x=3.7282, y=18.184. Округлив значения до целых, получим систему уравнений с ограничениями:

$$\begin{cases} f(x) = -45.5042 + \dfrac{232.1369}{x}, x < 4(f(x) \geq 18) \\ f(x) = 161.11x^{-1.705}, x > 3(f(x) < 18) \end{cases} \qquad (2.8)$$

Построим полученную систему уравнений в Mathcad, см. рис. 2.7.

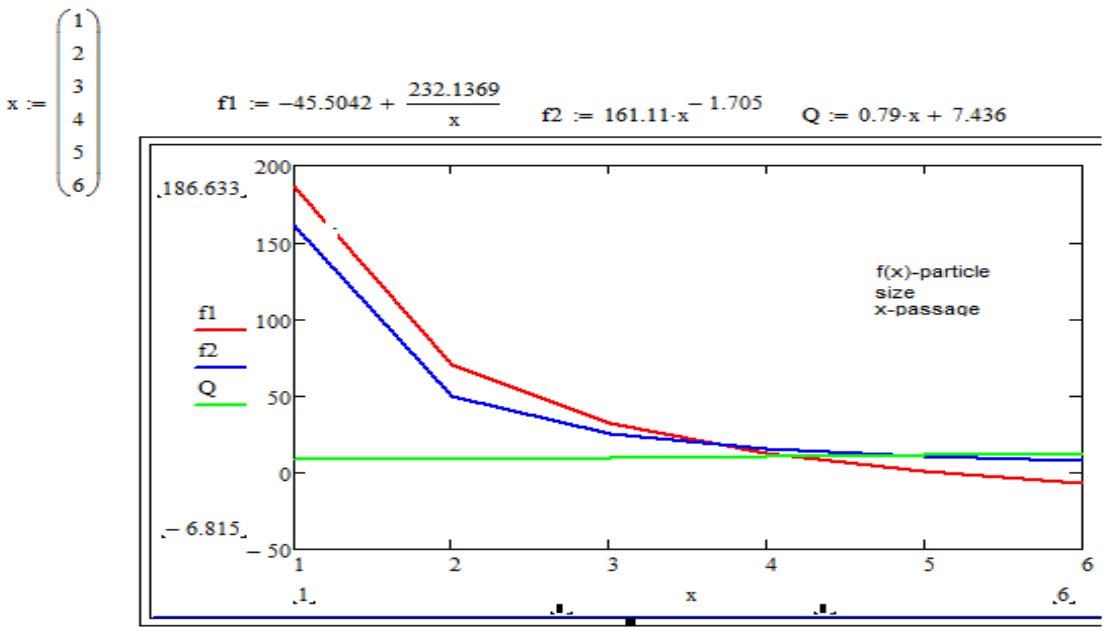


Рисунок 2.7 Система уравнений.

На основе вышеизложенного разработана математическая модель, позволяющая решать задачи модернизации процесса подготовки органического сырья в биогазовых установок [67,91].

$$\begin{cases} f(x) = -45{,}5042 + \dfrac{232{,}1369 * Vоб * Tц}{Vтр * T_{об}}, x \le 4 (x \ge 18 мкн) \\ f(x) = 161.11 \left(\dfrac{Vтр * T_{об}}{Vоб * Tц} \right)^{-1.705}, x > 4 (x < 18 мкн) \end{cases} \quad (2.10)$$

где -Vоб – объем загружаемого сырья (л);

Тц- общее время выполнения одного цикла (Тц=9,61);

L-желаемый размер на выходе (мкн);

Vтр-объем трубы системы;

$T_{об}$- необходимое время выполенния процесса (сек).

Система состоит из двух уравнений, при этом первое уравнение – применимо для нахождения параметров при крупном измельчении, а второе уравнение - при «тонком» измельчении.

Таким образом, использование данной модели позволяет определять эффективные конструктивные и режимные параметры загрузки сырья. Исследуемые процессы были смоделированы в среде Mathcad.

2.3.2. Влияние параметра степени измельчения подстилочного навоза КРС на выход биогаза

Как было доказано выше биогазовые технологии эффективно работают при измельченном субстрате [67, 89, 91, 92]. Используя ранее приведенные вычисления, рассмотрим влияние степени измельчения подстилочного экскремента на выход биогаза и время сбраживания. Для определения числа стадий дробления в каждой стадии принимаем среднегеометрическую степень дробления.

$$S\sqrt{S_{\text{общ}}} \tag{2.11}$$

В зависимости от размера поступающего сырья меняется производительность и, следовательно, время обработки сырья.

$$\mathrm{Q} = \mathrm{m} * \omega^2 * t = \frac{V*\rho*a*\pi^2*n^2*t}{900}\varepsilon * kc = a * n^2 * t * \varepsilon * k_c * k_p \ , \frac{\text{кг}}{\text{с}} \tag{2.12}$$

где m- масса сырья; w- угловая скорость ротора; V- объем сырья; p– плотность сырья; a- количество окон внутренней обечайки статора; n- частота вращения ротора; t- продолжительность обработки сырья; e- коэффициент качества измельчения; k_c-концентрация; k_p-коэффициент пропорциональности. Следовательно, на основании этих данных построим табл. 2.2.

Из таблицы. 2.2. следует, что чем выше степень измельчения, тем выше эффективность работы диспергатора. Это позволяет определить время обработки смеси навоза КРС, соломы и воды до однородного состояния, а, следовательно, время нахождения сбраживаемого субстрата в биореакторе. По мере увеличения обработки субстрата, увеличиваются и затраты на

электроэнергию. В связи с этим находим оптимальное время обработки органической смеси в кавитационном диспергаторе и в случае отсутствия уменьшения твердых веществ, прекращаем дальнейшую обработку [67, 93, 94].

Таблица 2.2 – Взаимосвязь между степенью измельчения и эффективностью работы диспергатора.

№ цикла	**I (степень измельчения)**	**D (размер частиц) мкм**	**Q (эффективность работы 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

Из таблицы следует вывод, что после 6 циклов смысл дальнейшего измельчения нецелесообразен, в виду отсутствия изменения размера выходной частицы. В связи с этим измельчение твердых частиц <10 мкм. после 6 цикла, считаем нецелесообразным. Наблюдаемый результат экспериментальных данных приведен на рис. 2.8.

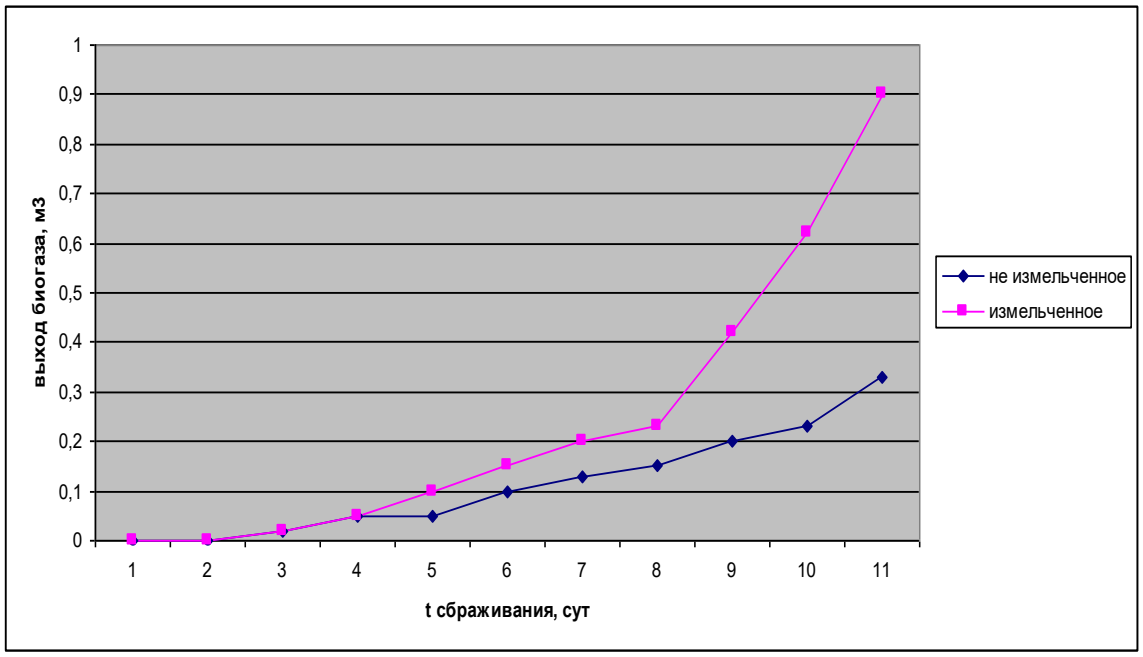


Рисунок 2.8 Выход биогаза из субстрата от органического сырья.

2.3.3. Влияние параметра скорости выхода метана от времени пребывания субстрата в биореакторе.

В мировой литературе исследованию метанового сбраживания посвящено много научно-исследовательских работ, которые проходили эволюцию от простого к сложному [95, 100]. Из сложных моделей наиболее полной моделью анаэробного сбраживания, является ADM1, которая включает в себя несколько этапов описания биохимических и физико-химических процессов (8 групп бактерий и 11 реакций, смертность микроорганизмов, их распад, а также влияние pH, ионного и межфазного равновесия). В практике при проектировании установок анаэробного сбраживания в настоящее время пользуются эмпирическими моделями процессов, основанными на уравнениях микробной кинетики и теории [97, 100]. Наибольший интерес для инженерных расчетов представляет модель Чена-Хашимото [97], являющаяся модифицированной моделью Конто [97]. В Странах СНГ математическому моделированию процессов гидродинамики и теплообмена в метантенке посвящено небольшое количество работ [101, 104]. Численное моделирование

процесса теплообмена при гидравлическом перемешивании осадков сточных вод в метантенках с внутренней циркуляционной трубой представлено в работе [105].

Анализ рассмотренных математических моделей процесса анаэробного сбраживания показывает, что учет гидродинамических характеристик процесса является необходимым условием для полного описания процессов метанового сбражения в биореакторе

Для математического описания модели, принимаем следующие допущения:

1. В каждом биореакторе количество потока прибывает и смешивается со всей массой и столько же убывает, т.е. в переделах первой, второй и третьей ступенях количество потока остается равным 0,600 тн.;

2. Время пребывания частиц в 1 биореакторе составляет $\tau = 11$ суток, в 2 биореакторе составляет $\tau = 9$ суток,в 3 биореакторе составляет $\tau = 8$ суток,то во всей биогазовой установке 28 суток.

3. Поскольку в каждом биореакторе принимаем, что поток находится в состоянии идеального смешения, то математическое описание имеет следующий вид [94].

$$\frac{dC_i}{dt} = \frac{1}{\tau_1}(C_{i-1} - C_i) \tag{2.13}$$

где $i = 1,2,3$

4. Находим время пребывания в отдельном аппарате, разделив это время на число последовательно расположенных биореакторов, полагая, что общее время пребывания τ равномерно распределяется по трем биореакторам:

$$\tau_1 = \frac{\tau}{3} \tag{2.14}$$

При этом равенство (2.13) имеет вид:

$$\frac{1}{3} \cdot \frac{dC_i}{dt} = \frac{1}{\tau}(C_{i-1} - C_i) \quad (2.15)$$

где $i = 1,2,3$.

С учетом химического превращения динамическая модель реактора идеального смешения непрерывного действия имеет следующий вид:

$$\frac{dC_i}{dt} = \frac{1}{\tau}(C_{\text{вх}} - C_{\text{вых}}) \pm W_i \quad (2.16)$$

где, C_i – концентрация i-го вещества, кмоль/м^3;

W_i – скорость реакций по i-му веществу, кмоль/м^3.

Для инженерных расчетов значительный интерес представляет модель Конто, применяемая для математического описания процесса анаэробного сбраживания ряда органических отходов. А для определения скорости выхода биогаза принимаем уравнение Чена и Хашимото, модифицированная модель Конто [97]:

$$v = \frac{B_0 \cdot S}{\tau} \cdot \left(1 - \frac{K}{\mu_m \cdot \tau - 1 + K}\right) \quad (2.17)$$

здесь, v - скорость выхода биогаза; B_0 - предельный выход биогаза; S– концентрация субстрата; τ - продолжительность сбраживания субстрата; K– кинетический параметр; μ_m - максимальная удельная скорость роста биомассы.

Максимальная удельная скорость биомассы μ_m зависит от температуры сбраживания субстрата и рассчитывается по следующей формуле [102]:

$$\mu_m = 0.013 \cdot t - 0.129 \text{ сут}^{-1} \quad (2.18)$$

где, t -температура сбраживания, ^{0}C. Для нашей биогазовой установки приняты три режима сбраживания: психрофильный в пределах 18-25^{0}C; мезафильный в пределах 25-40^{0}C; термофильный в пределах 40-55^{0}C.

Рассчитанные значения максимальной удельной скорости биомассы для разных температурных режимов приведены в табл. 2.3:

Таблица 2.3 – Значения максимальной удельной скорости биомассы

Температура, t	**Максимальная удельная скорость биомассы, μ_m**
18-25^{0}C	0,586
25-40^{0}C	0,391
40-55^{0}C	0,196

Кинетический параметр (К) определим из эмпирического уравнения предложенного Хашимото и соавторов [97]:

$$K = 0.6 + 0.0206e^{(0.051 \cdot S)} \quad (2.19)$$

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

$$S = \rho(100 - W)(100A)10^{-4} \quad (2.20)$$

где, А - зольность сухого веществанавоза, %; W - влажность биомассы в биореакторе, %; ρ - плотность биомассы.

Плотность биомассы определяется соотношением:

$$\rho = W\rho_{\text{в}} + (1 - W)\rho_{\text{тв}} \quad (2.21)$$

где,$\rho_в$=1000 кг/м^3 - плотность воды, $\rho_{тв}$=1400 кг/м^3 - плотность сухого (твердого) вещества навоза, W=88% - влажность биомассы.

Оптимальные параметры массы для анаэробного сбраживания берутся из методической рекомендациипо технологическому проектированию систем удаления и подготовки к использованию навоза и помета [106]. Плотность биомассы равна $\rho = 1048 \text{кг/м}^3$. Концентрация субстрата: S =106,896. С

помощью концентрации субстрата определим кинетический параметр К=5,402957129.

В табл. 2.4 приведены значения скорости выхода биогаза при трех температурных режимах, который зависит от продолжительности сбраживания:

Таблица 2.4 – Значения скорости выхода биогаза при трех температурных режимах

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

Результаты расчета скорости выхода биогаза, по табл. 2.4, приведены на рис. 2.9:

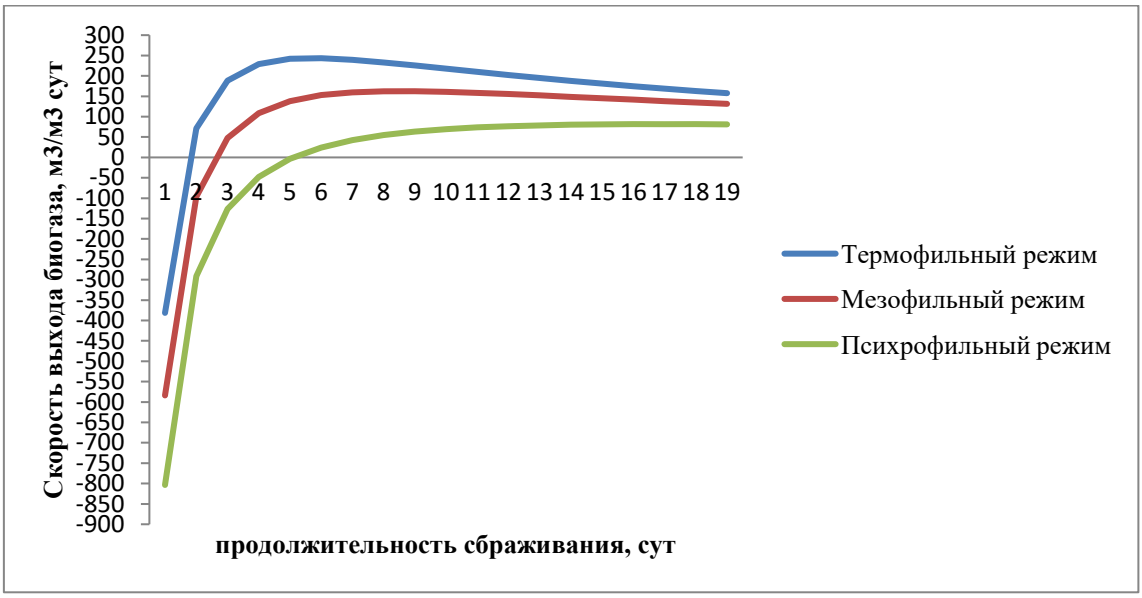


Рисунок 2.9 График скорости выхода биогаза.

При термофильном режиме график выхода биогаза ускоряется уже на второй день, при мезофильном режиме на третий день, а при психрофильном режиме выход биогаза осуществляется только после пятого дня.

Трехступенчатый процесс метанового сбраживания в биореакторе, отличается сложностью математического описания, в том, что каждая фаза живой биомассы описывается множеством химических уравнений. Вней одновременно происходит несколько различных реакций на каждой фазе. Поэтому результаты экспериментальных данных имеют отклонение до 50% [19, 67, 93, 94].

Математическое описание изменения концентрации в системе ячеечной модели представлена следующими передаточными функциями.

$$W_k(s) = W_1(s) \cdot W_2(s) \cdot \ldots \cdot W_3(s) = \frac{1}{[W(s)]^3} \qquad (2.22)$$

Решение системы уравнений рассматриваем биореакторы расположенные последовательно друг за другом. Передаточные функции ячеечных моделей приведены на схеме, см. рис. 2.10.

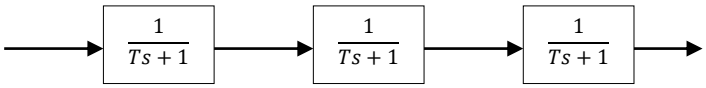


Рисунок 2.10 Схема передаточной функции психрофильного, мезофильного и термофильного температурных режимов в биореакторах.

Заменив время Т первого порядка на реальное время нахождения $\tau_1 = 11$ x 24ч, имеем следующую передаточную функцию психрофильного режима биореактора, также :

$$W_1(s) = \frac{1}{(\tau_1 s+1)} \tag{2.23}$$

мезофильного при $\tau_2 = 9$ x 24ч$W_2(s) = \frac{1}{(\tau_2 s+1)}$;

термофильного при $\tau_3 = 8$ x 24ч$W_3(s) = \frac{1}{(\tau_3 s+1)}$;

Если предположить , что объемы биореакторов в каждой ступени разные, то и время пребывания у них будет разным:

$$W_k(s) = \frac{1}{(\tau_1 s+1)(\tau_2 s+1)(\tau_3 s+1)} \tag{2.24}$$

где, τ_1, τ_2, τ_3 - среднее время пребывания в биореакторе каждой ступени сбраживания.

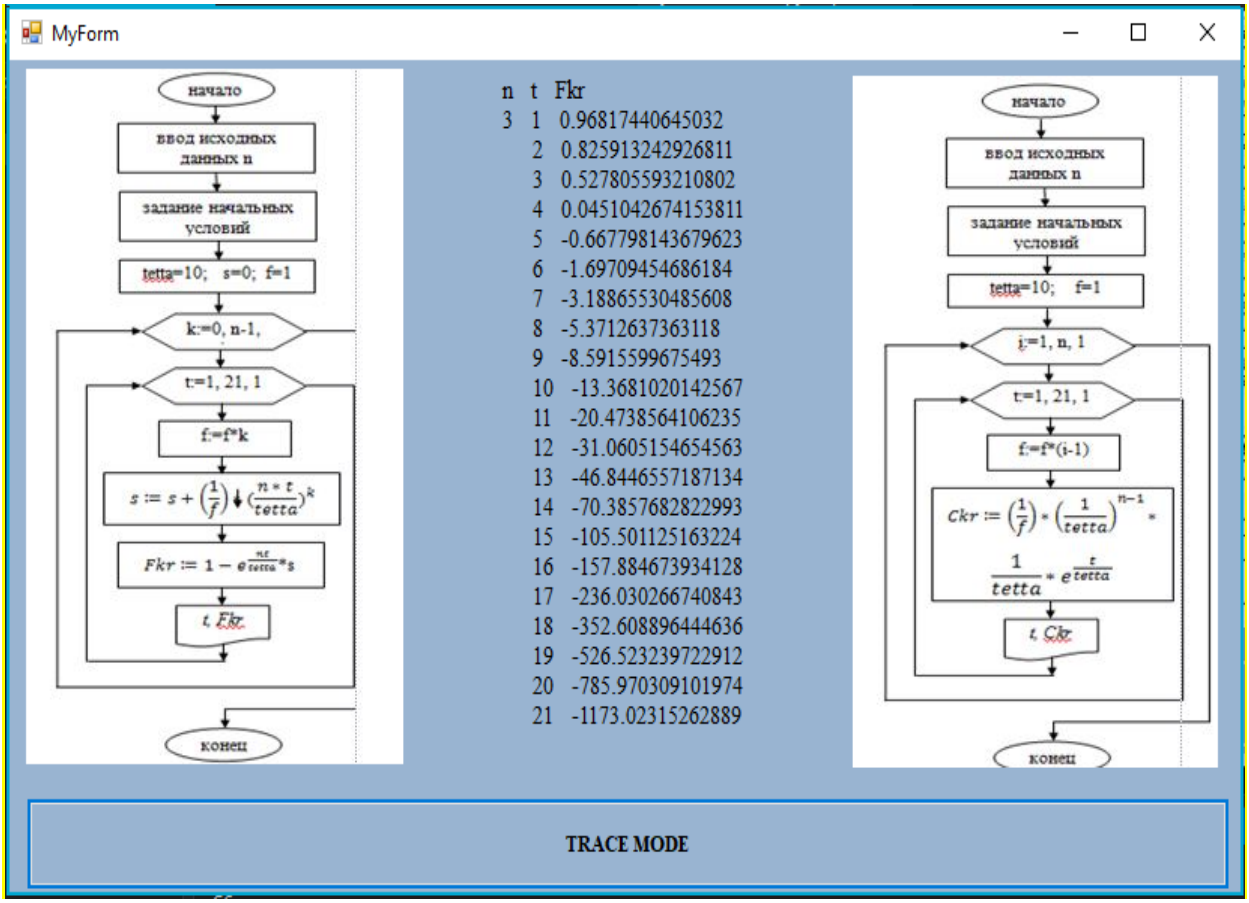
Отклики на единичный импульс и единичный скачок записываются в следующем виде, согласно [101]:

$$F_{кр}(t) = 1 - e^{\frac{nt}{\tau}} \cdot \sum_{k=1}^{n} \frac{1}{k!} (\frac{nt}{\tau})^k \tag{2.25}$$

$$C_{вых}(t) = C_{kp}(t) = \frac{1}{(n-1)!} (\frac{1}{\tau_1})^{n-1} \frac{1}{\tau_1} e^{\frac{1}{\tau_1}} \tag{2.26}$$

Алгоритм расчета $F_{кр}(t)$, $C_{вых}(t)$ для трехступенчатого каскада биореакторов приведены в табл. 2.5.

Таблица 2.5 - Результаты расчета: отклики на единичный импульс и единичный скачок.



2.3.4. Влияние параметров зависимости скорости выхода метана от состава сырья и температуры субстрата в биореакторе

Скорость выхода метана сбраживаемого сырья зависит от многих параметров: влажности, зольности на сухую массу, объемной плотности осадка, время оборота и температура субстрата в биореакторе.Для расчетов применим модель Конто, описанная выше в подглаве 2.3.3.

Алгоритм и программное обеспечение расчета скорости выхода метана и ее анализ программируем модель средствами VBA. Поскольку VBA непонимает греческие буквы, μ_{max} обозначим латинскими буквами Mmax, ε

обозначим латинской буквойе.В таком случае система уравненийй будет выглядеть так [107, 108]:

$$dX/dt=(Mmax*S/(Ks+S))*X–e*X \quad dS/dt=–a*(Mmax*S/(Ks+S))*X \quad (2.27)$$

Для дальнейшего программирования перенесём dt в правую часть уравнения.

$$dX = ((Mmax*S/(Ks + S))*X – e*X)*dt$$
$$dS = (– a*(Mmax*S/(Ks + S))*X)*dt \quad (2.28)$$

Переходим в редактор VBA (Alt+F11). Записываем уравнения, как показано ниже, см. рис.2.11.

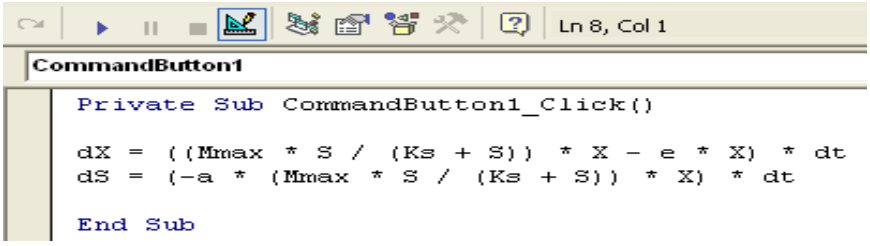


Рисунок 2.11 Уравнение в программе

Теперь программа умеет считать изменения численности (биомассы) микроорганизмов и концентрации субстрата (соответственно dX и dS) за время dt.

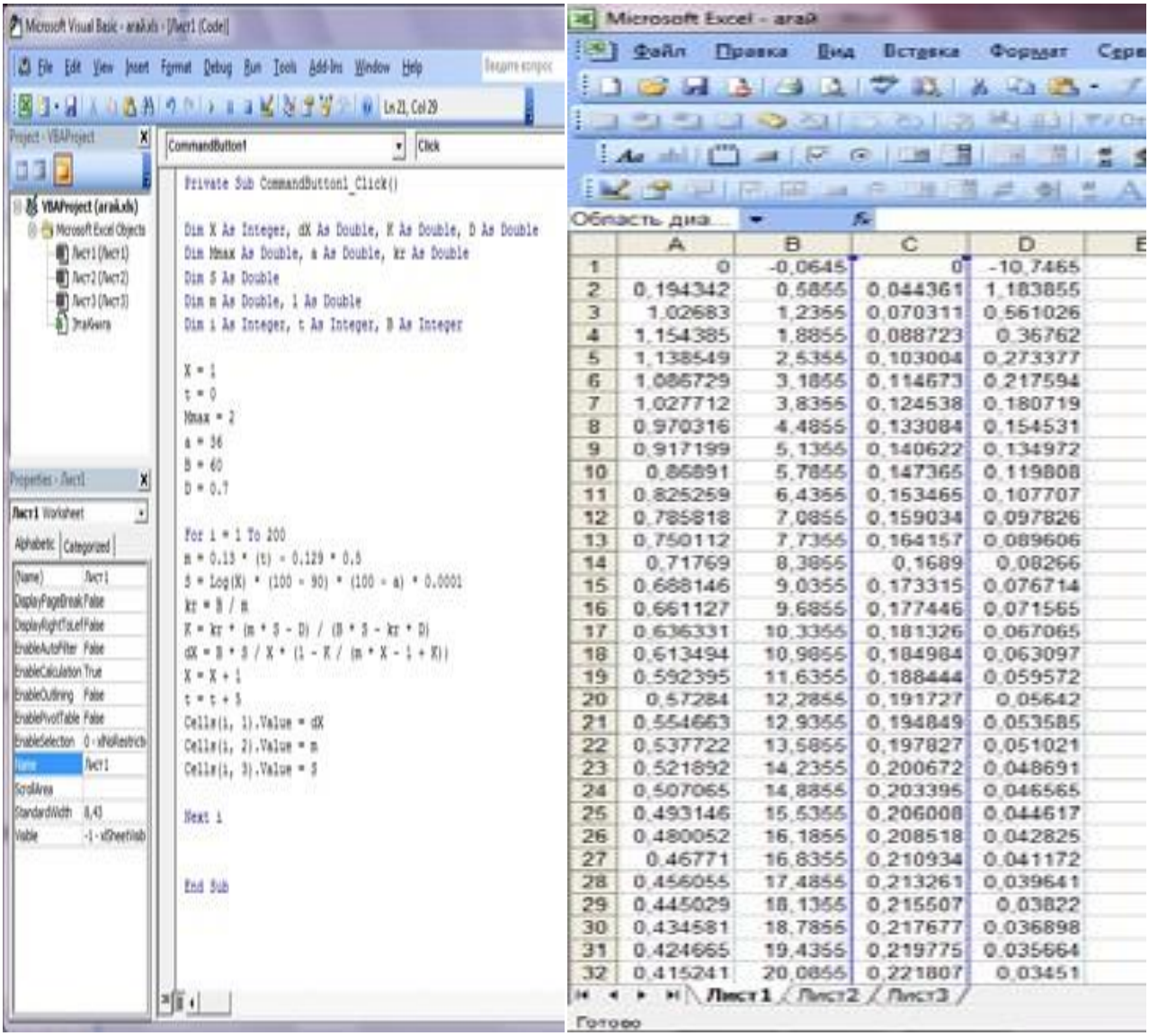
Но нас интересует не изменение биомассы и субстрата, а их реальные значения. Следовательно, изменения надо прибавить. У текущим значениям X и S. Вот так, табл. 2.6. Значения численности микроорганизмов за время dt.

Таблица 2.6 - Значения численности микроорганизмов за время dt.

X=X+dX S=S+dS

K	L
dt	0,01
X	1
S	100
Mmax	2
Ks	50
e	0,1
a	2,5

Исходные данные и листинг программы приведены в интерфейсном окне, см. рис. 2.12.



	A	B	C	D
1	0	-0,0645	0	-10,7465
2	0,194342	0,5855	0,044361	1,183855
3	1,02683	1,2355	0,070311	0,561026
4	1,154385	1,8855	0,088723	0,36762
5	1,138549	2,5355	0,103004	0,273377
6	1,086729	3,1855	0,114673	0,217594
7	1,027712	3,8355	0,124538	0,180719
8	0,970316	4,4855	0,133084	0,154531
9	0,917199	5,1355	0,140622	0,134972
10	0,86891	5,7855	0,147365	0,119808
11	0,825259	6,4355	0,153465	0,107707
12	0,785818	7,0855	0,159034	0,097826
13	0,750112	7,7355	0,164157	0,089606
14	0,71769	8,3855	0,1689	0,08266
15	0,688146	9,0355	0,173315	0,076714
16	0,661127	9,6855	0,177446	0,071565
17	0,636331	10,3355	0,181326	0,067065
18	0,613494	10,9855	0,184984	0,063097
19	0,592395	11,6355	0,188444	0,059572
20	0,57284	12,2855	0,191727	0,05642
21	0,554663	12,9355	0,194849	0,053585
22	0,537722	13,5855	0,197827	0,051021
23	0,521892	14,2355	0,200672	0,048691
24	0,507065	14,8855	0,203395	0,046565
25	0,493146	15,5355	0,206008	0,044617
26	0,480052	16,1855	0,208518	0,042825
27	0,46771	16,8355	0,210934	0,041172
28	0,456055	17,4855	0,213261	0,039641
29	0,445029	18,1355	0,215507	0,03822
30	0,434581	18,7855	0,217677	0,036898
31	0,424665	19,4355	0,219775	0,035664
32	0,415241	20,0855	0,221807	0,03451

Рисунок 2.12 – Листинг и исходные данные.

Таким образом, скорость выхода метана зависит от концентрации органического вещества Sв исходном субстрате.

$$S = \rho_{об}(100 - W) * (100 - A) * 10^{-4} \qquad (2.29)$$

Концентрация органического (сухого беззольного) вещества в осадке, кг/м3, зависит от влажности W, зольности на сухую массу A и объемной плотности осадка

Алгоритм, листинг программы и график зависимость скорости выхода биогаза от температуры сбраживания, а также листинг программы и график

выхода биогаза от температуры сбраживания приведены на рис. 2.13., рис. 2.14.

Максимальная удельная скорость роста биомассы зависит от температуры сбраживания и рассчитывается по формуле:

$$\mu_m = 0.013 * t - 0.129 \text{сут}^{-1} \mu_m., \quad (2.30)$$

где t- температура сбраживания,^{0}С.

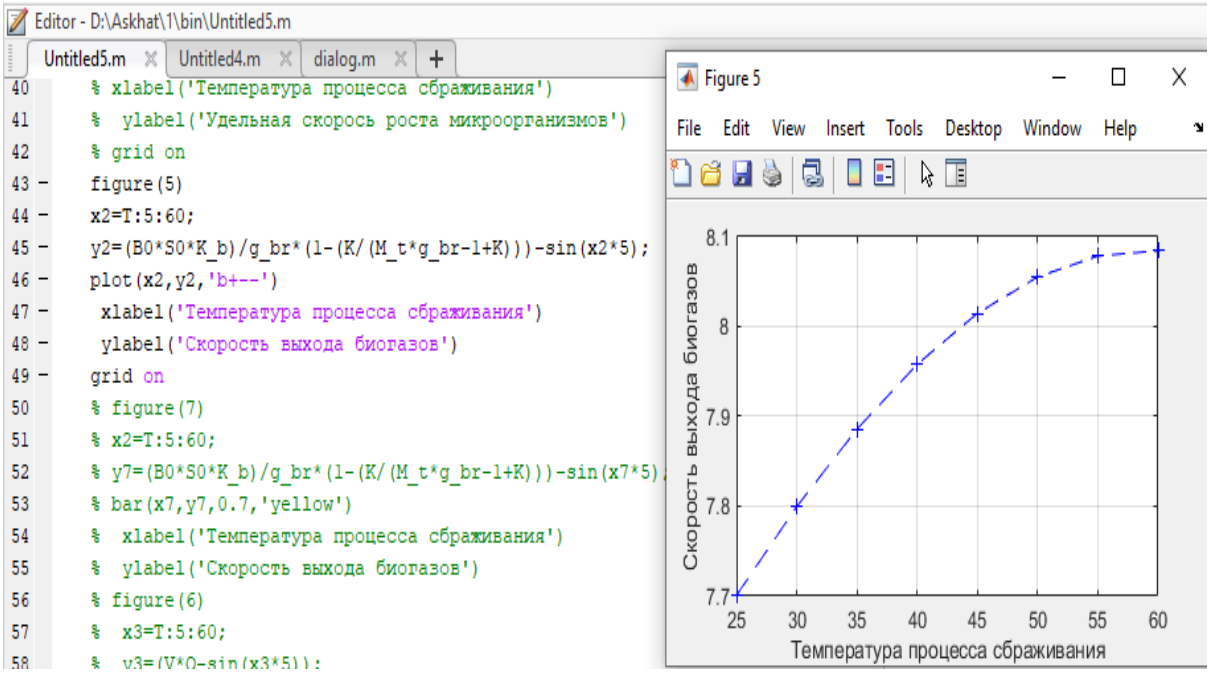


Рисунок 2.13 Зависимость скорости выхода биогаза от температуры сбраживания

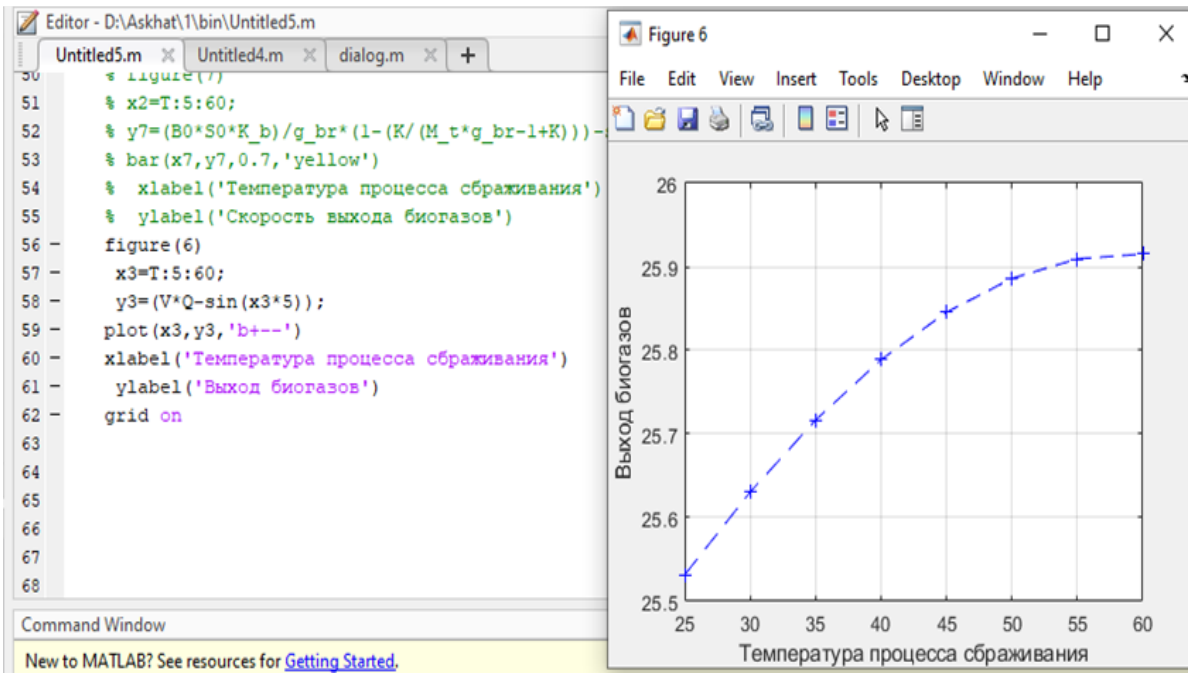


Рисунок 2.14 Зависимость выхода биогаза от температуры сбраживания

Таким образом, нами получены зависимости скорости выхода метана от единицы массы загруженного в биореактор органического вещества, механико и физико-химические характеристики сырья (концентрации органического вещества Sв в исходном субстрате).

Концентрация органического (сухого беззольного) вещества в осадке, кг/м^3, зависит от влажности W, зольности на сухую массу A и объемной плотности осадка $\rho_{об}$, время удерживания сбраживания субстрата в реакторе и температуры в биореакторе.

2.4. Алгоритм расчета и моделирование метанового сбраживания измельченного субстрата на всех ступенях биогазовой установки

Математическое моделирование включает в себя три взаимосвязанных этапа: составление математического описания исследуемого объекта, выбор метода для решения системы уравнений и реализация ее в виде программы моделирования, а также определения адекватности модели [109].

На основании математической модели трехступенчатого процесса анаэробного сбраживания навоза КРС, рассмотренные выше, составляем блок-схему математической модели процесса производства биогаза.

Предложенная математическая модель сбраживания навоза КРС основана на модели Конто и уравнениях гидродинамики и теплообмена. В этой модели учитыватся влияние барботажного перемешивания на эффективность процесса производства биогаза [110].

В качестве исходных данных для решения алгоритма процесса анаэробного сбраживания были взяты следующие входные параметры:

v – рабочий объем биореактора, м^3;

B_0– предельный выход, м^3/кг;

S – концентрация субстрата, кг/м^3;

$K_б$ – коэффициент барботажного перемешивания;

K – кинетический параметр;

k – коэффициент теплопередачи, Вт/(м^2*К);

$\tau_{бр}$ – время брожения, сут;

μ_m- СРМ, сут$^{-1}$;

u – скорость движения теплоносителя по трубе, м/с;

Q – количество теплоты, Дж;

$\Delta F_{зм}$ – площадь соприкосновения, м^2;

$T_т$ - температура теплоносителя,

К;Т – температура среды в биореакторе, К;

S_1 – содержание органического вещества, доли от 1;

$C_{сух}$ - содержание биомассы в сухом веществе, доли от 1.

Для расчета алгоритма процесса анаэробного сбраживания в основу взяты следующие начальные исходные данные:

v – 3,5168 м^3;B_0– 3,968 м^3/кг;k – 0,60 Вт/(м^2*К);$\tau_{бр}$ – 10 сут;u – 5..15 м/с;Q– 9,16 Дж;$\Delta F_{зм}$ – 0,8 м^2;Т – 25 ^{0}С;S_1 – 0,2;$C_{сух}$ – 0,140.

МСР вычисляется по следующей формуле:

$$\mu_m = 0.013 \cdot 25 - 0.129 = 0{,}1960 \text{ сут}^{-1} \quad (2.31)$$

Плотность биомассы вычисляется по следующейформуле:

$$p_б = 1000 + 2.4 \cdot (100 - 92) = 1019{,}2 \quad (2.32)$$

Концентрация органического вещества определяется по следующей формуле:

$$S_0 = \frac{1575 \cdot 0{,}02}{1{,}1040} = 28{,}5320 \frac{кг}{м^3} (2.33)$$

Кинетический параметр для навоза КРС вычисляется последующей формуле:

$$K = 0.8 + 0.016 \cdot e^{0.06 \cdot 28{,}5320} = 0{,}8089 \quad (2.34)$$

Скорость выхода биогаза [110,111,112,113,114].

$$V = \frac{3{,}968 \cdot 28{,}5320 \cdot 1{,}1}{10} \cdot \left(1 - \frac{0{,}8089}{0{,}1960 \cdot 10 - 1 + 0{,}8089}\right) = 6{,}7589 \quad (2.35)$$

Объем выхода биогаза:

$$\frac{dB}{d\tau} = 6{,}7589 \cdot 3{,}5168 = 23{,}7696 \text{ м}^3 \quad (2.36)$$

Объем выхода метана из реактора:

$$L_{CH4} = \frac{23{,}7696 \cdot 70}{100} = 16.6387 \frac{\text{м}^3}{\text{сут}} \quad (2.37)$$

Расчет объемной скорости смеси в сутки:

Vc=(0,014+0,001)/0,6=0,0250 (2.38)

Число кавитации, рассчитываемой по формуле (2.36):

$$\sigma = \frac{0{,}7-0{,}2}{996 \cdot \frac{0{,}0250^2}{2}} = 1{,}61 \quad (2.39)$$

Относительный перепад давления на смесителе:

$$\frac{P_{\text{н}}-P_{\text{к}}}{P_{\text{н}}-P_{\text{н.п.}}} = \frac{0{,}10+(0{,}15+0{,}25+0{,}08)\cdot 0{,}6^2+(1-0{,}6)^2}{1+1{,}61+0{,}10+0{,}15+0{,}6^2} = 0{,}135 \quad (2.40)$$

Таким образом алгоритм расчета производства метана и биоудобрения в трехступенчатом режиме анаэробного сбраживания биогазового комплекса состоит из следующих этапов:

1. Определение числа кавитации и изменение относительного перепада давления в функции от относительной площади сопла;

2. Расчет скорости выхода биогаза, суточного выхода биогаза и метана в зависимости от важнейших параметров процесса анаэробного сбраживания.

В диссертационной работе с помощью объектно-ориентированной среды Delphi разработано приложение (приложение 2) для расчета МСР, СВБ, количества выхода биогаза из биореактора согласно математической модели процесса анаэробного сбраживания биомассы в биореакторе,см. рис. 2.15 1,2.

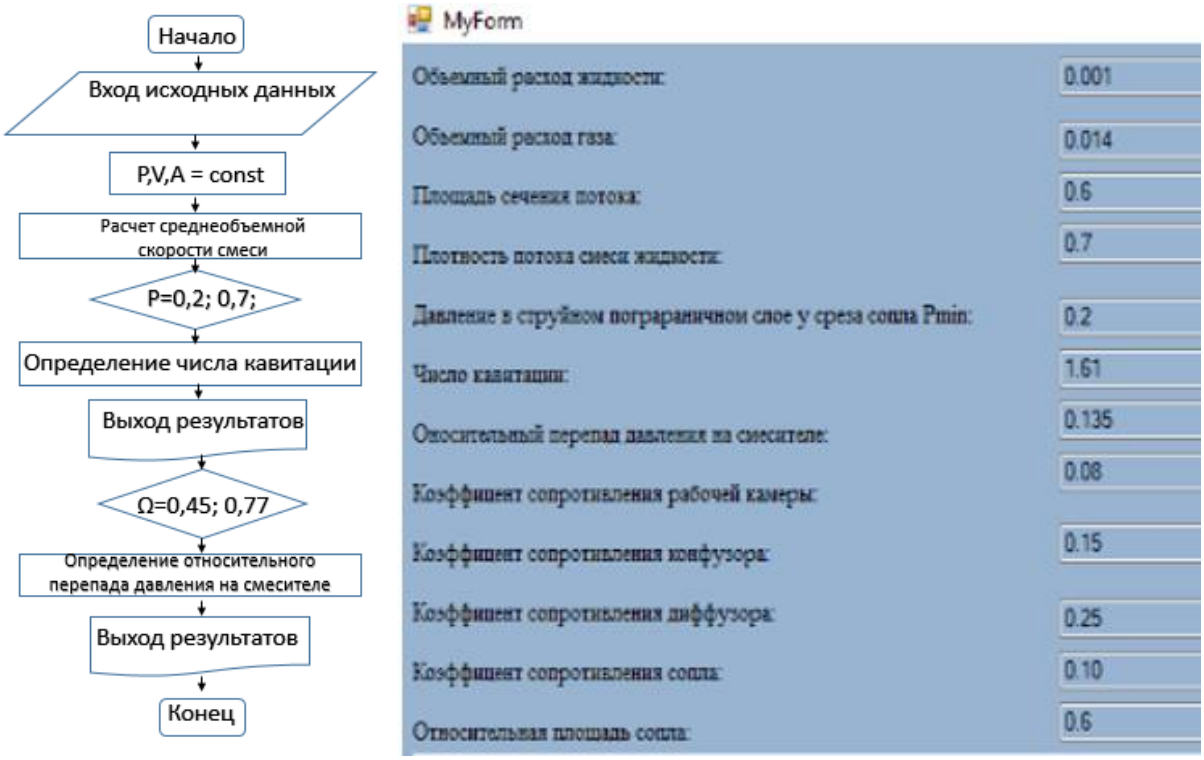


Рисунок 2.15.1 Значения степени измельчения твердых частиц в сбраживаемом субстрате от числа кавитации

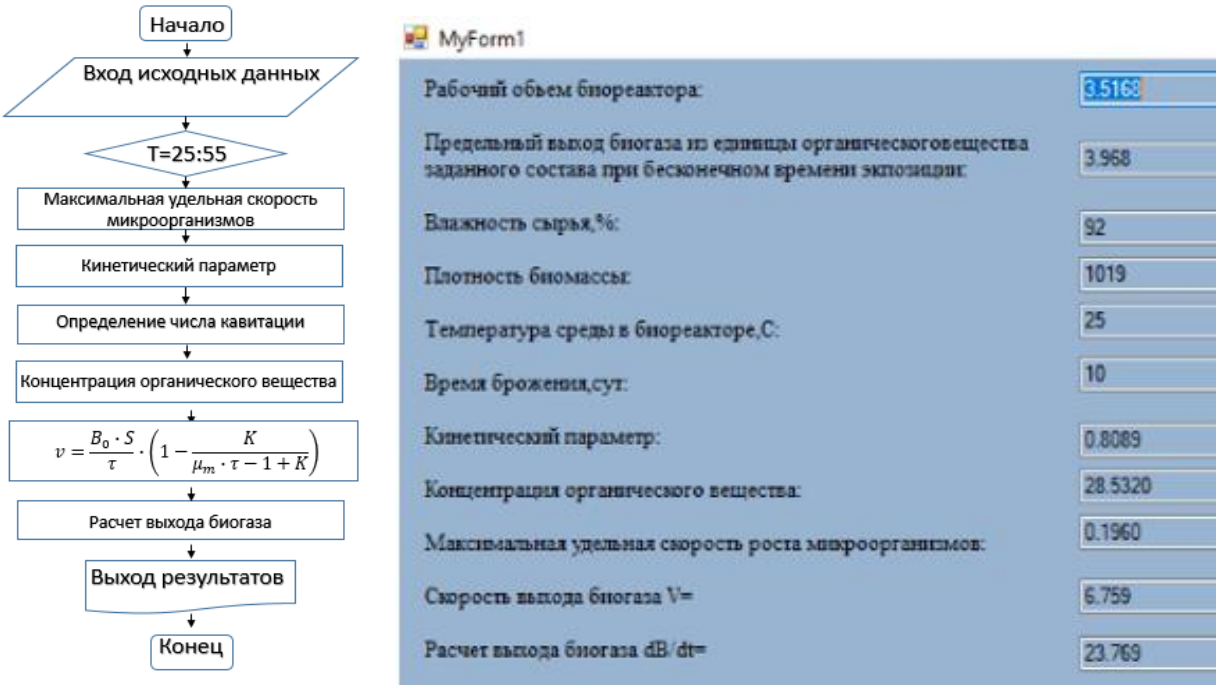


Рисунок 2.15.2 Значения МСР от СВБ и количества выхода биогаза

Схема процесса анаэробного сбраживания навоза КРС в Simulink MatLab приведена на рис. 2.16.

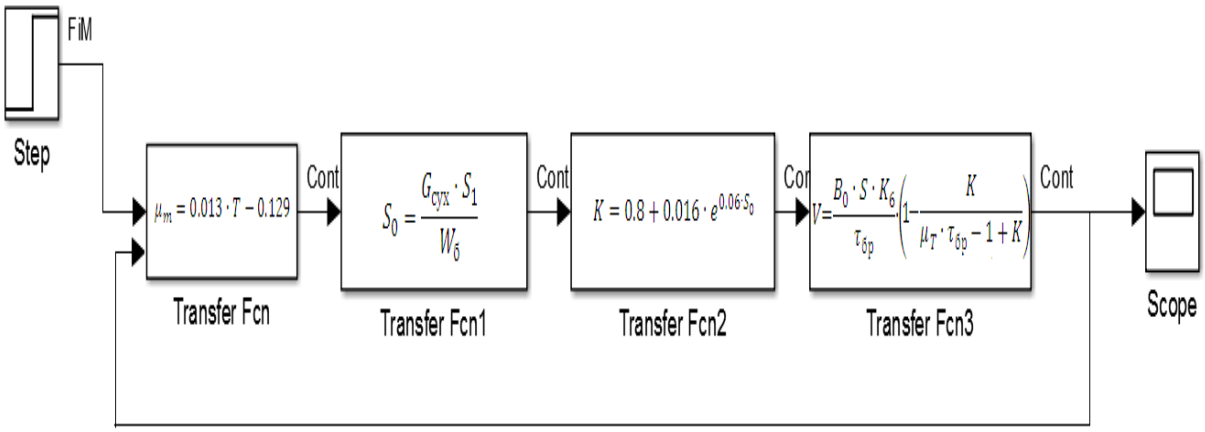


Рисунок 2.16 Схема процесса сбраживания ибиомассы в интерфейсе Simulink MatLab

Разработано приложение в объектно - ориентированной среде Delphi «Расчет основных параметров кавитационной деструкции», получены значения числа кавитации, см. рис. 2.17 и «Расчет СРМ, СВБ, количество выхода биогаза» из биореактора согласно математической модели процесса анаэробного сбраживания биомассы в биореакторе, получены значения удельного роста микроорганизмов см. рис. 2.18.

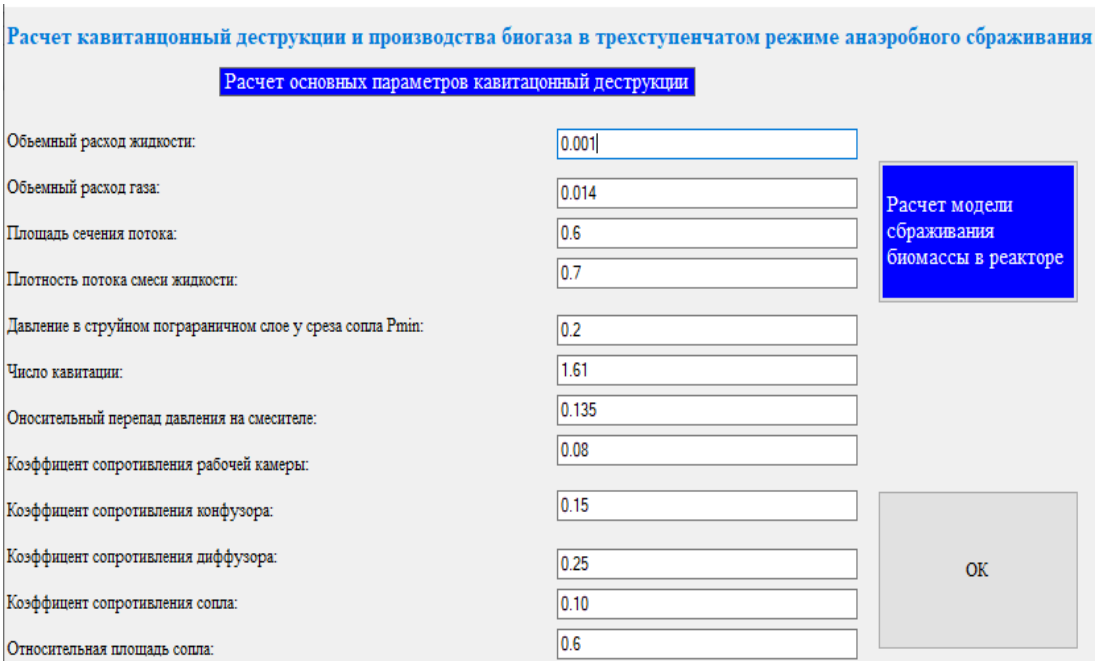


Рисунок 2.17 Значения основных параметров кавитационной деструкции

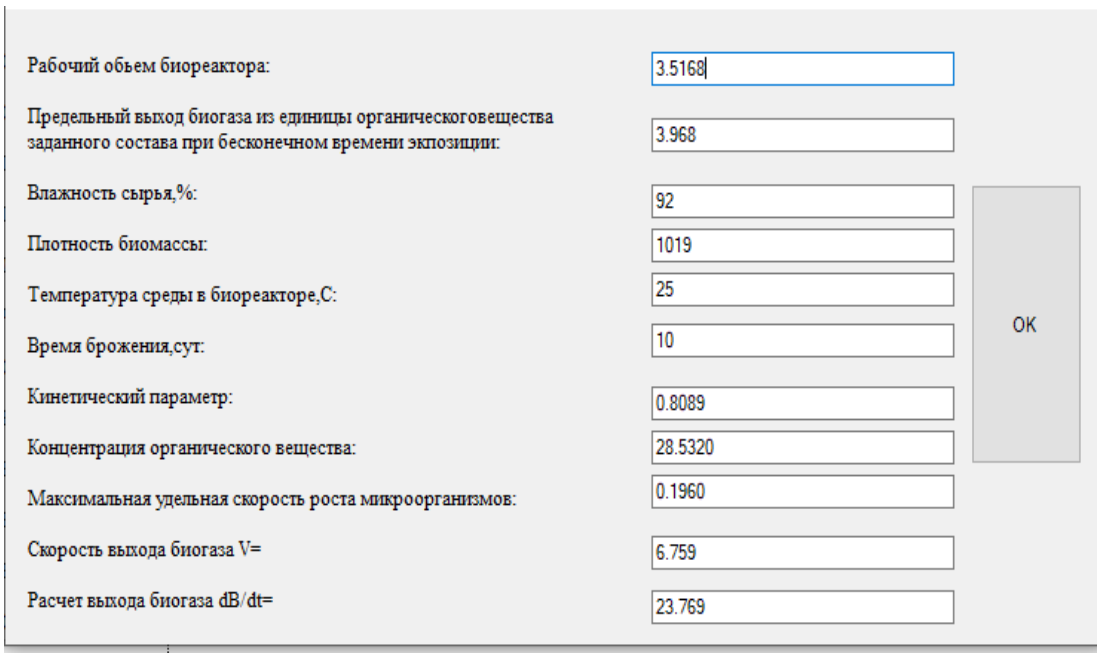


Рисунок 2.18 Значения удельного роста микроорганизмов

Результаты моделирования.

Согласно расчетам математической модели процесса сбраживания биомассы, полученный из навоза КРС, получены результаты скорости выхода биогаза от продолжительности сбраживания в трех температурных режимах. Зависимость суточного выхода биогаза и метана из реактора от температуры процесса сбраживания (при влажности 92%) приведенная в табл. 2.12.

На рис. 2.19 Значения суточного выхода биогаза из биореактора в трех температурных режимах (при влажности 92%).

В следующей рис. 2.20 представлены расчеты СРМ и СВБ, суточный объем выхода биогаза в психрофильном, мезофильном и термофильном температурных режимах сбраживания (при влажности 92%, время брожения 11 сут.).

Скорость выхода биогаза при 25°С	Скорость выхода биогаза при 40°С	Скорость выхода биогаза при 55°С
-16582,8	-103,916	-35,176
-51,606	-6,155	2,913
-11,609	1,951	5,344
-3,039	3,405	5,166
-0,169	3,587	4,662
0,989	3,446	4,17
1,493	3,225	3,746
1,71	2,996	3,388
1,788	2,781	3,087
1,798	2,587	2,832
1,771	2,413	2,615
1,726	2,259	2,427
1,672	2,122	2,264
1,614	1,999	2,121
1,556	1,889	1,995
1,499	1,789	1,882
1,444	1,7	1,782
1,392	1,618	1,691

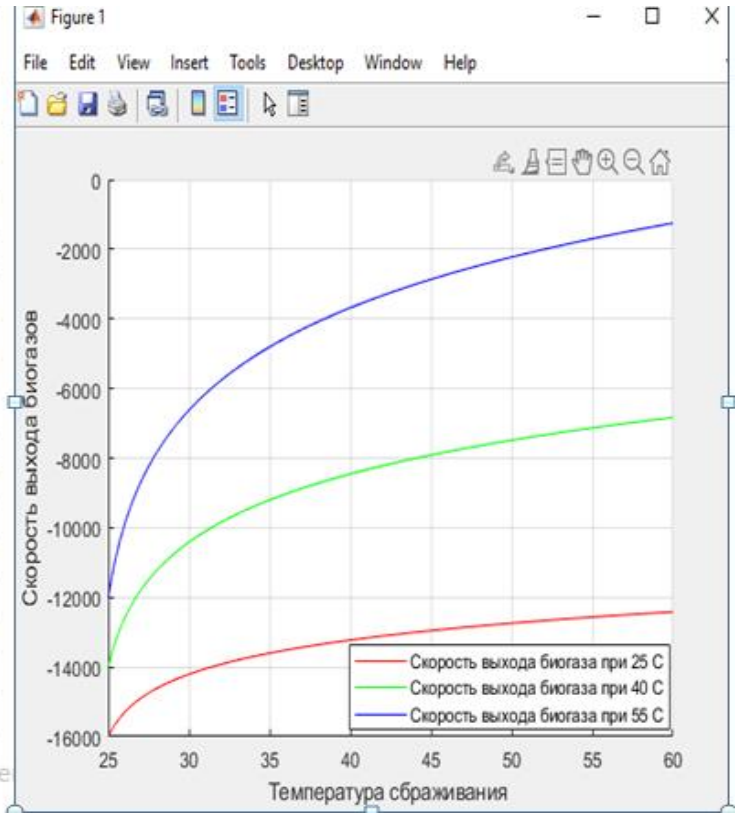


Рисунок 2.19 Значения суточного выхода биогаза из биореактора в трех температурных режимах (при влажности 92%).

Таблица 2.7 – результаты при трех температурных режимах работы в биореакторах

Температурный режим сбраживания	Психрофильный температурный режим, 25°С	Мезофильный температурный режим, 40°С	Термофильный температурный режим, 55°С
Время брожения	10 сут.	9 сут.	8 сут.
Максимальная удельная скорость роста микроорганизмов	0,1960	0,3910	0,5860
Скорость выхода биогаза	1,798	2,781	3,388
Суточный объем выхода биогаза	6,228	9,780	11,915
Суточный объем выхода метана	4,359	6,846	8,340

В следующей рис. 2.20 1, 2, 3, 4, 5 представлены расчеты СРМ и СВБ, суточный объем выхода биогаза в психрофильном, мезофильном и термофильном температурных режимах сбраживания (при влажности 92%, время брожения 11 сут.).

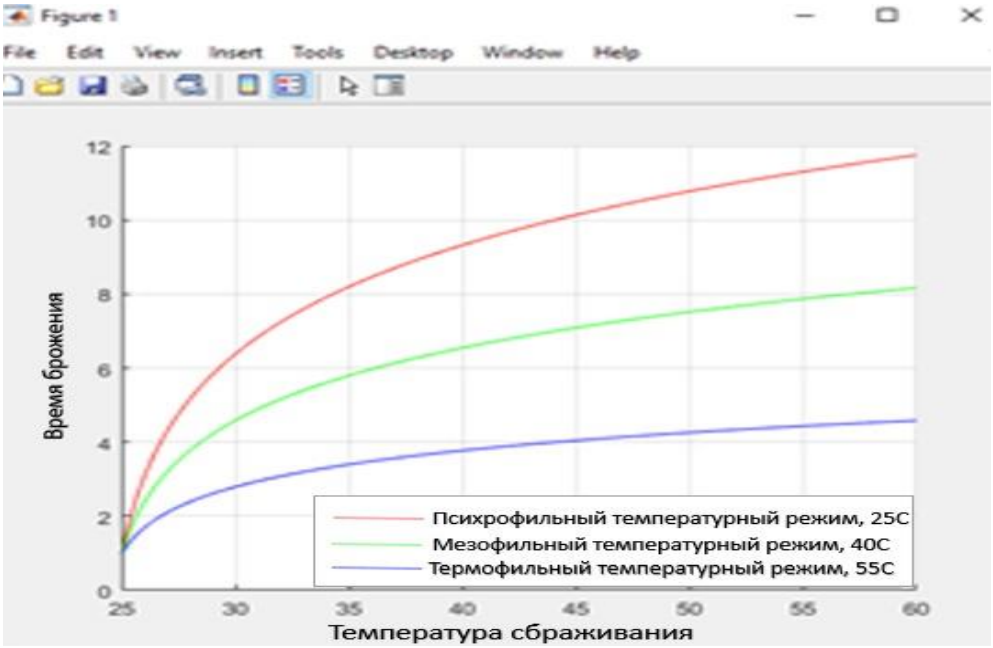


Рисунок 2.20 1 График время брожения в зависимости от трех температурных режимов работы

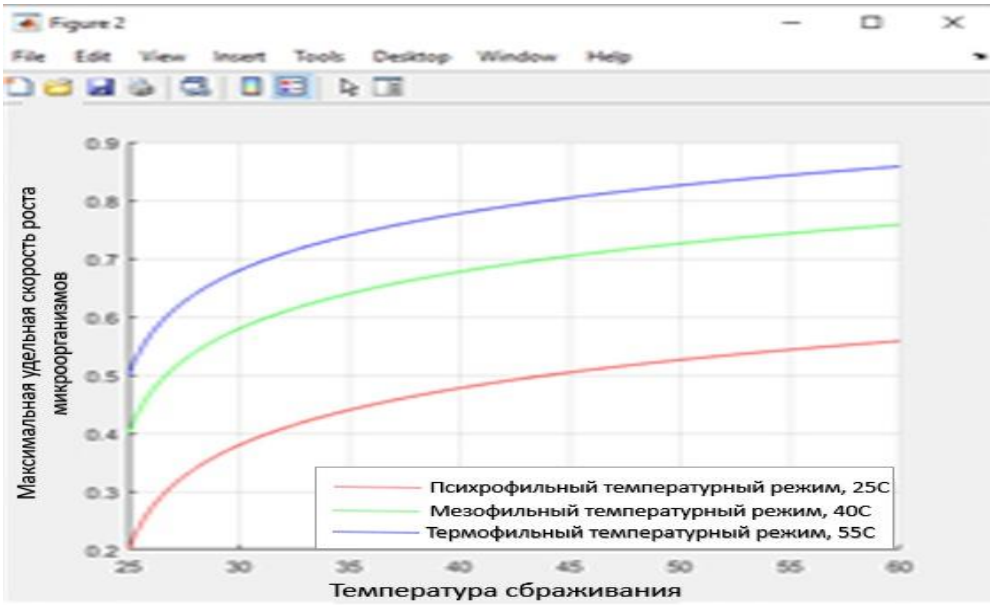


Рисунок 2.20 2 График максимальная удельная скорость роста микроорганизмов в зависимости от трех температурных режимов работы

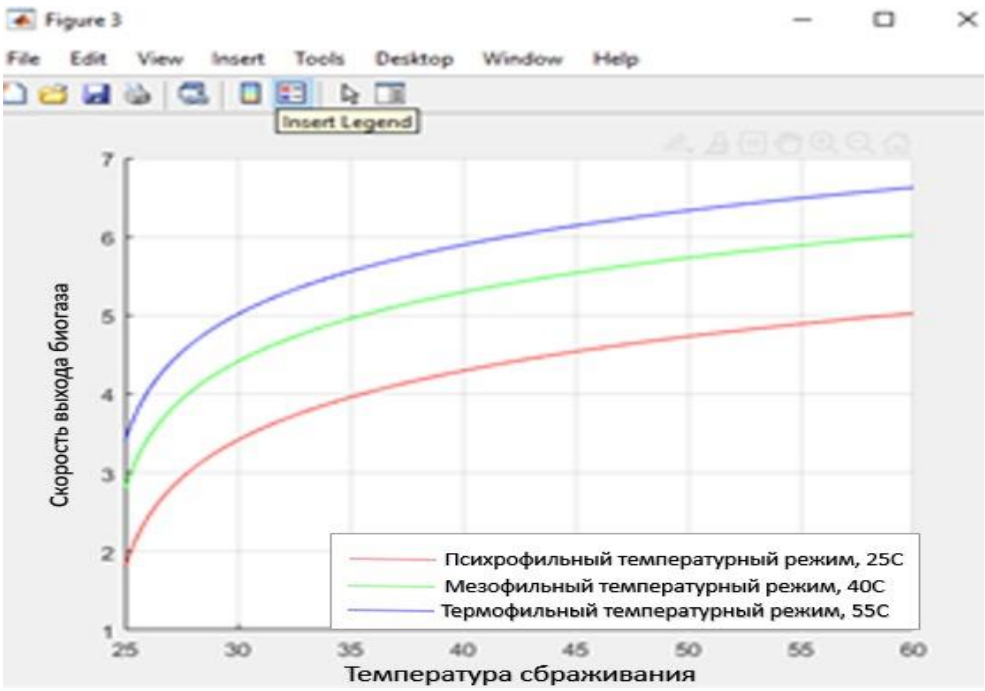


Рисунок 2.20 3 График результат скорости выхода биогаза в зависимости от трех температурных режимов работы

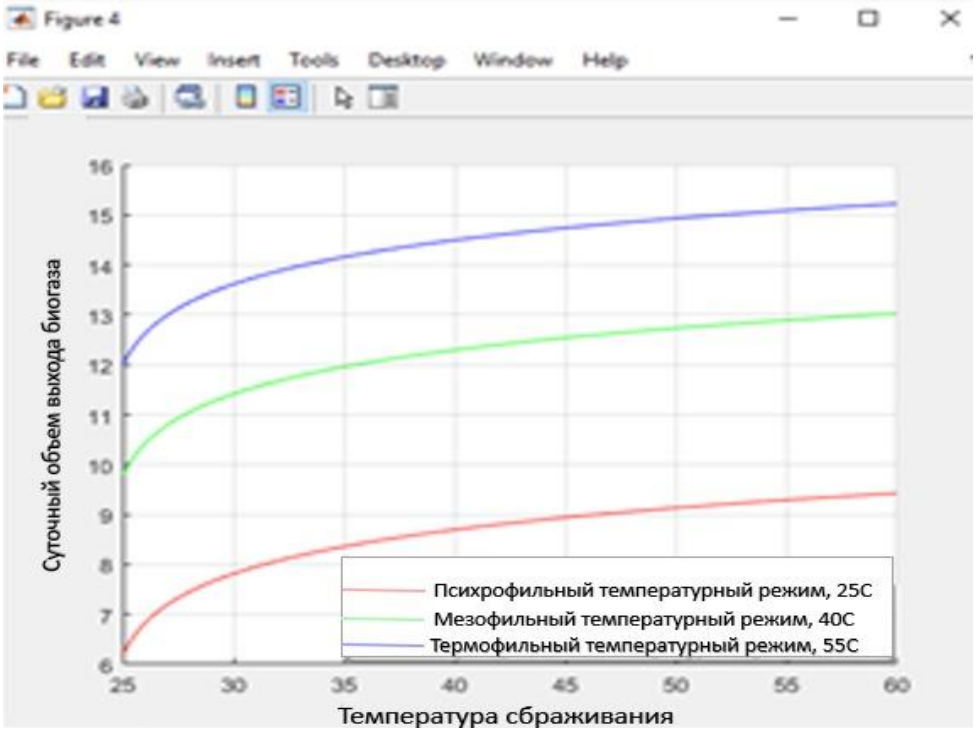


Рисунок 2.20 4 График результат суточного объема выхода биогаза в зависимости от трех температурных режимов работы

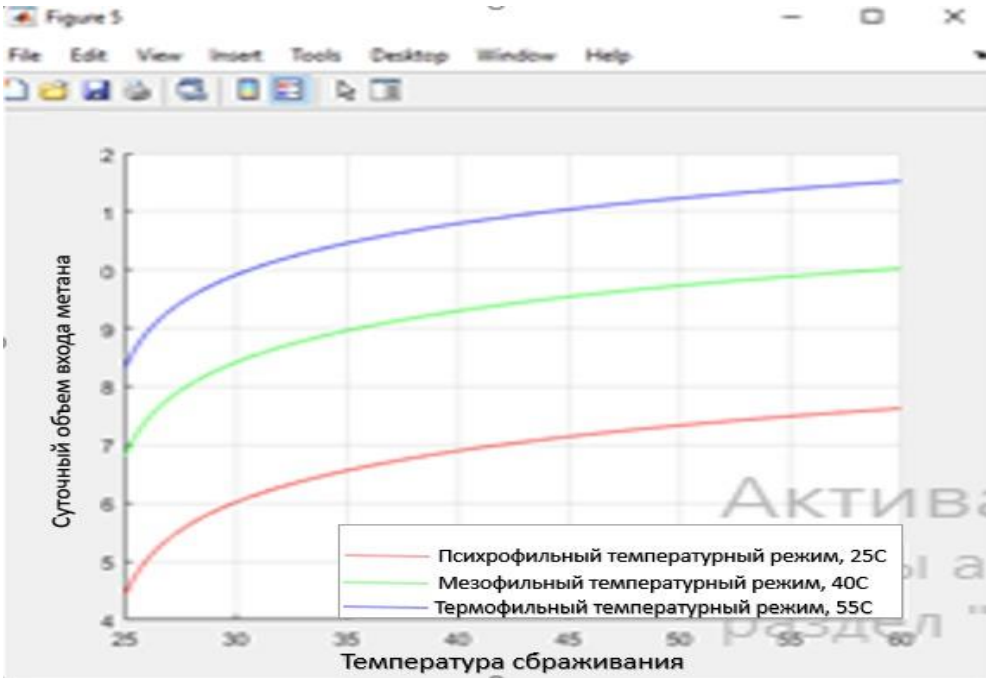


Рисунок 2.20 5 График суточного объема выхода метана в зависимости от трех температурных режимов работы

На рис. 2.21 представлена схема модели метанового сбраживания биомассы в MatLabe.

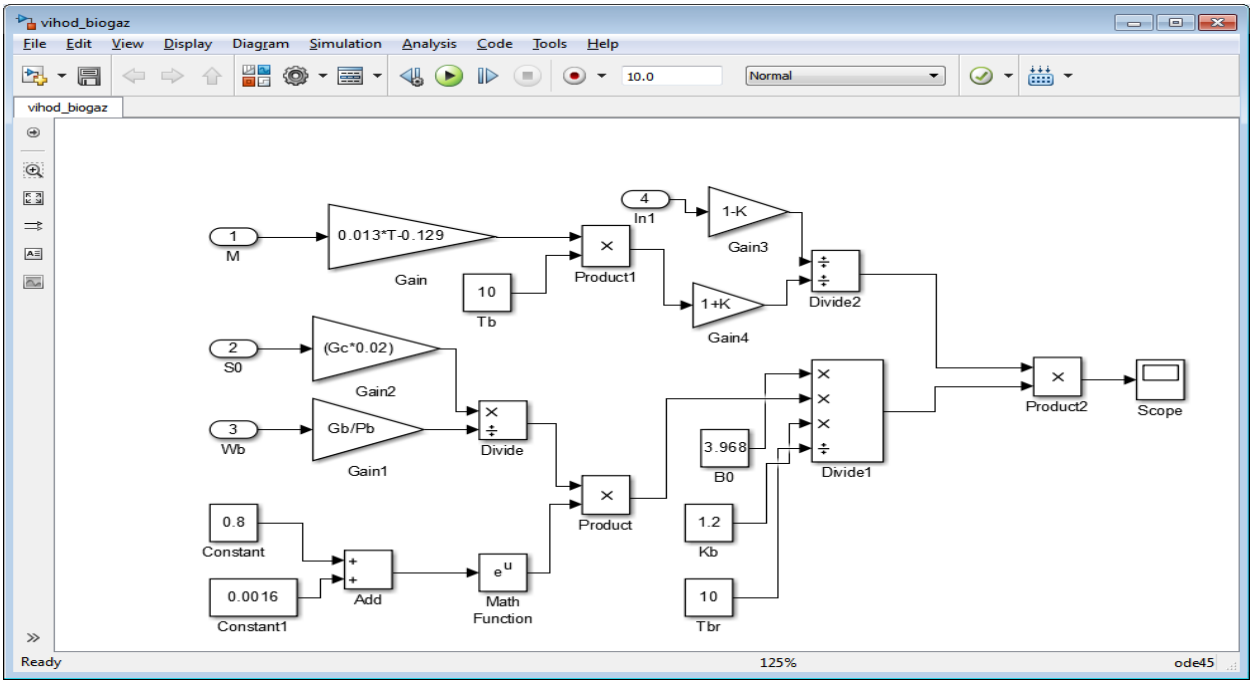


Рисунок 2.21 Схема модели процесса сбраживания биомассы в среде MatLab

Также в соответствии с проведенными расчетами алгоритма процесса

производства биогаза были составлены графики зависимости плотности сбраживаемого субстрата от влажности сырья, табл. 2.8 и скорость роста микроорганизмов от температурного режима сбраживаемого субстрата в биореакторе, табл. 2.9.

Таблица 2.8 - Значения плотности сбраживаемого субстрата от влажности сырья

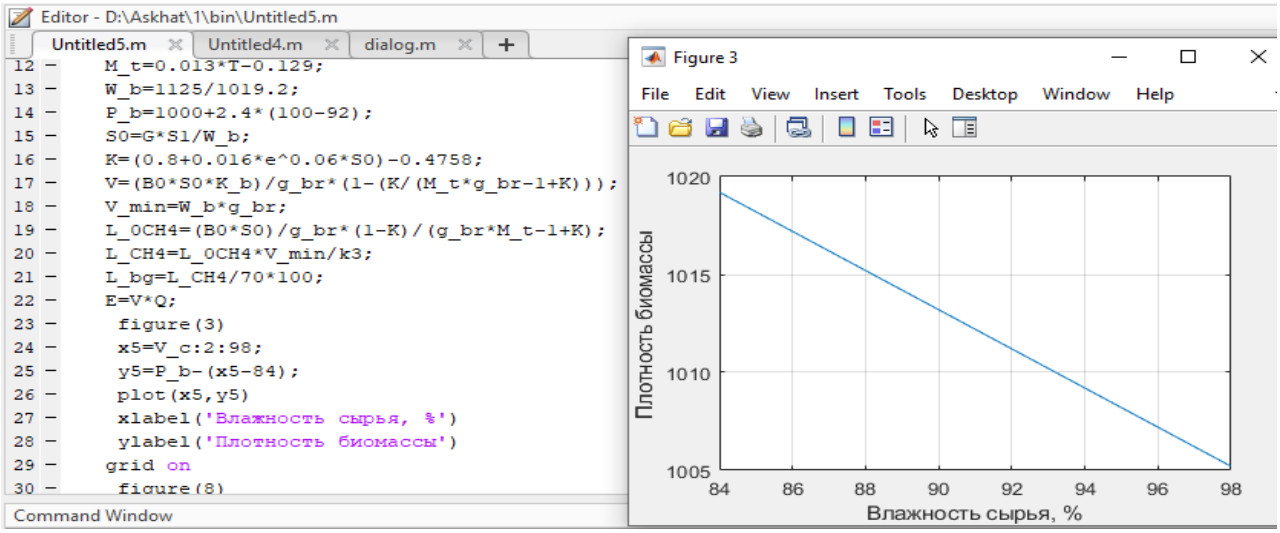
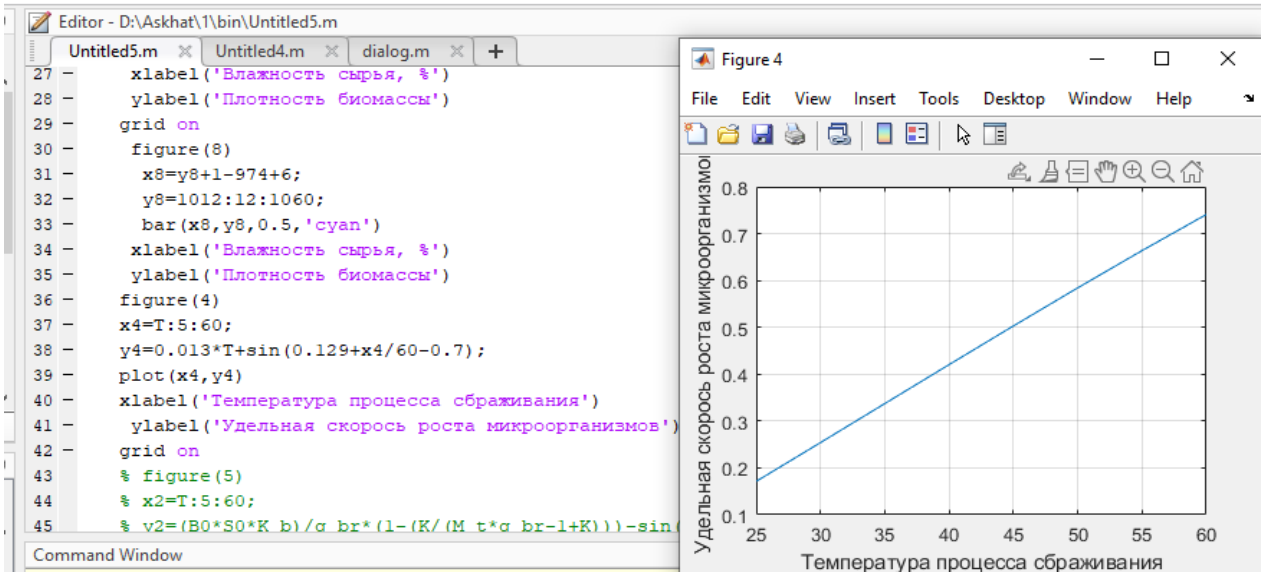


Таблица 2.9 - Значения удельного роста микроорганизмов от температуры



Далее в соответсвии с приведенными расчетами математической модели процесса сбраживания биомассы, полученный из навоза КРС, получены графики зависимости скорости выхода биогазаи выхода биогаза от температуры процесса сбраживания в программе MatLab, см. рис. 2.22.

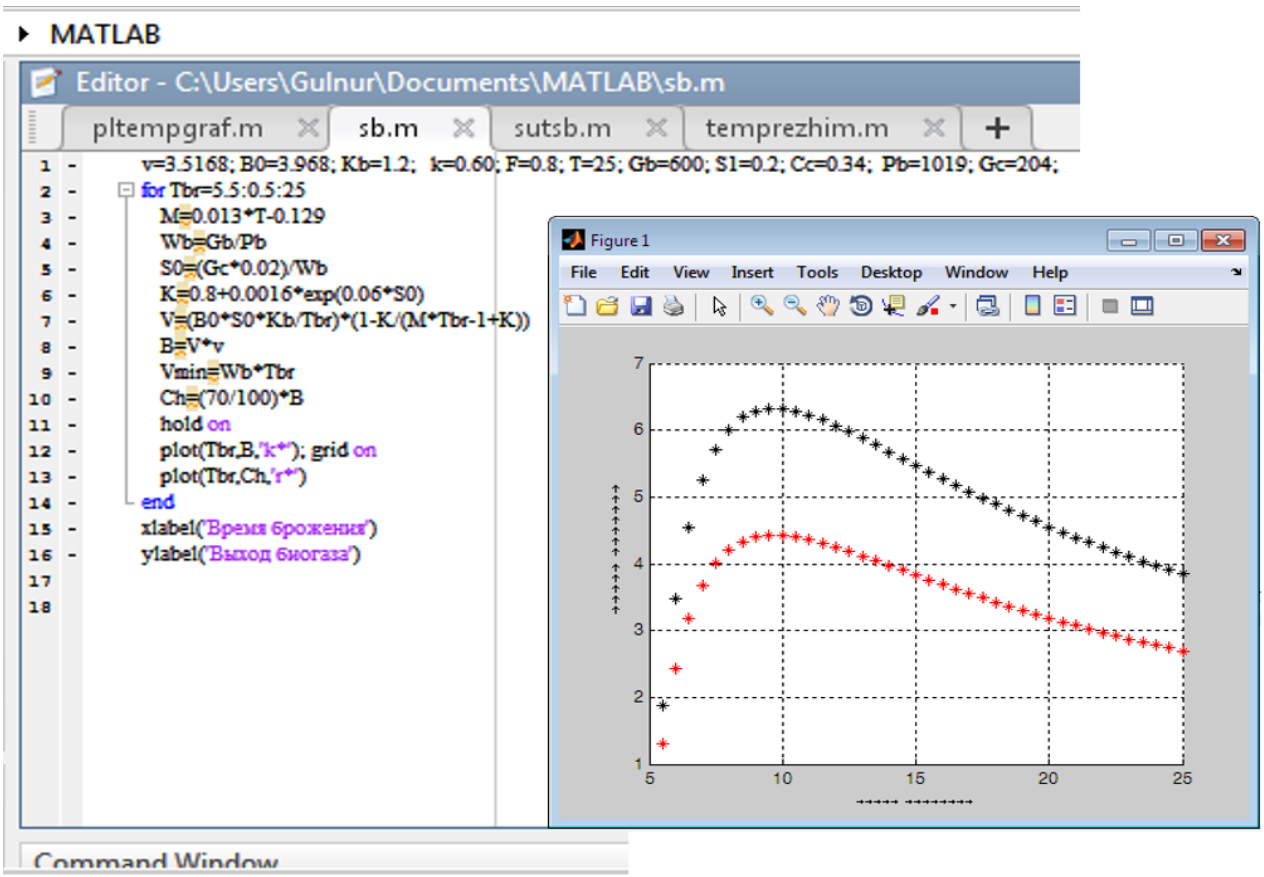


Рисунок 2.22 - Зависимость суточного выхода биогаза и метана из реактора от температуры процесса сбраживания (при влажности 92%)

Из рис. 2.22 следует, что оптимальное время брожения в психрофильном режиме сбраживания – 10 суток, в мезофильном температурном режиме – 5 суток, в термофильном температурном режиме – 7 суток.

Таблица 2.10 – результаты при трех температурных режимах работы в биореакторах

Температурный режим сбраживания	Психрофильный температурный режим, 25°С	Мезофильный температурный режим, 38°С	Термофильный температурный режим, 55°С
Время брожения	10 сут.	5 сут.	7 сут.
Максимальная удельная скорость роста микроорганизмов	0,1960	0,3650	0,5860
Скорость выхода биогаза	1,798	3,346	3,746
Суточный объем выхода биогаза	6,322	11,176	13,172
Суточный объем выхода метана	4,425	8,237	9,221

На следующей рис. 2.23 представлены значения расчетов СРМ, СБВ, суточный объем выхода биогаза в сутки и метана в трех режимах трехступенчатой биогазовой установки (при допущения влажности 92%, время 10 сут.).

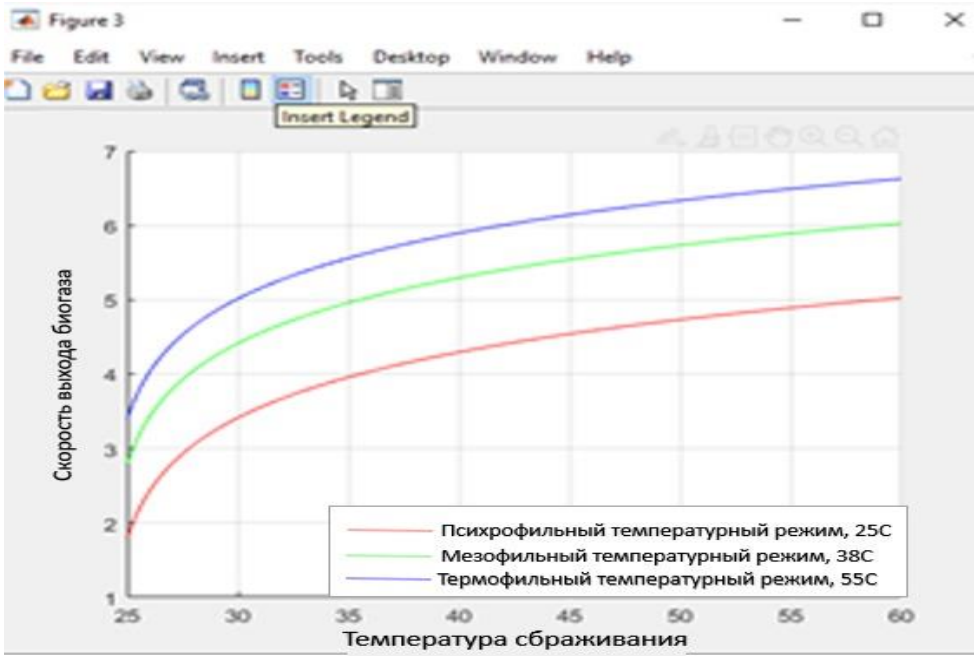


Рисунок 2.23 1 График результат скорости выхода биогаза в зависимости от трех температурных режимов работы

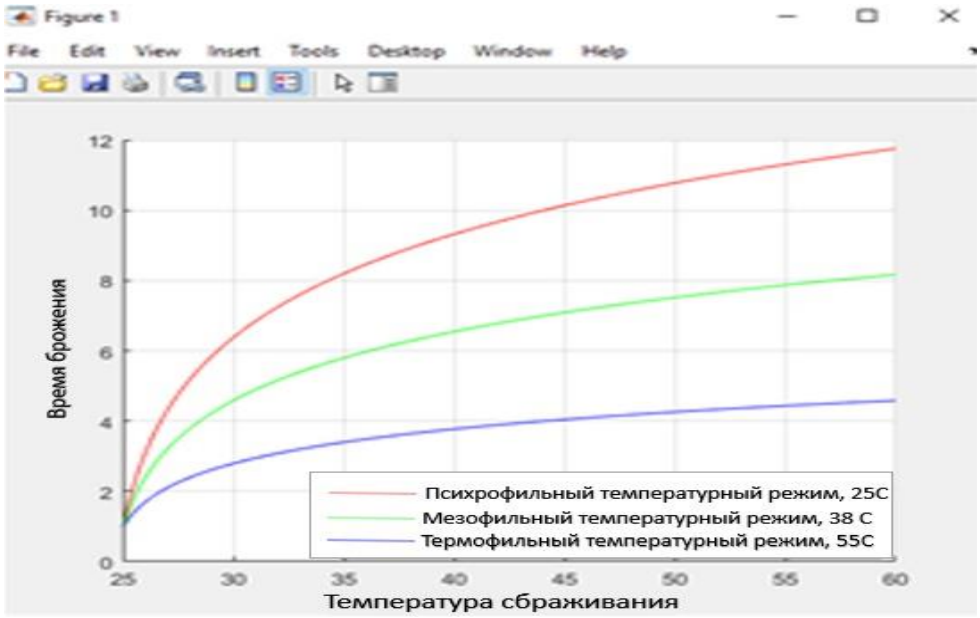


Рисунок 2.23 2 График время брожения в зависимости от трех температурных режимов работы

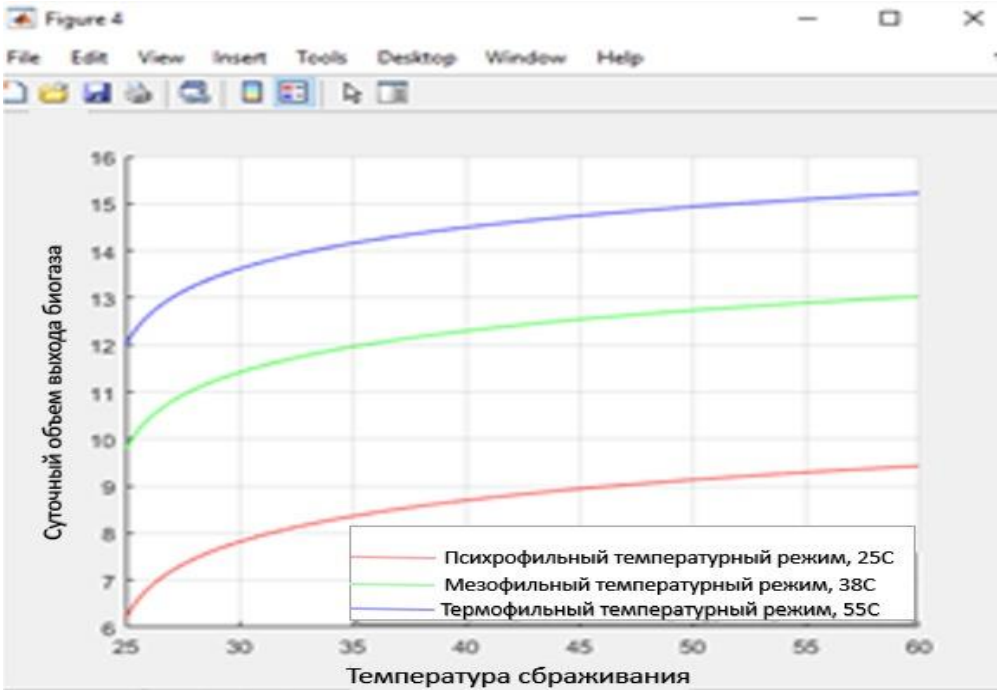


Рисунок 2.23 3 График результат суточного объема выхода биогаза в зависимости от трех температурных режимов работы

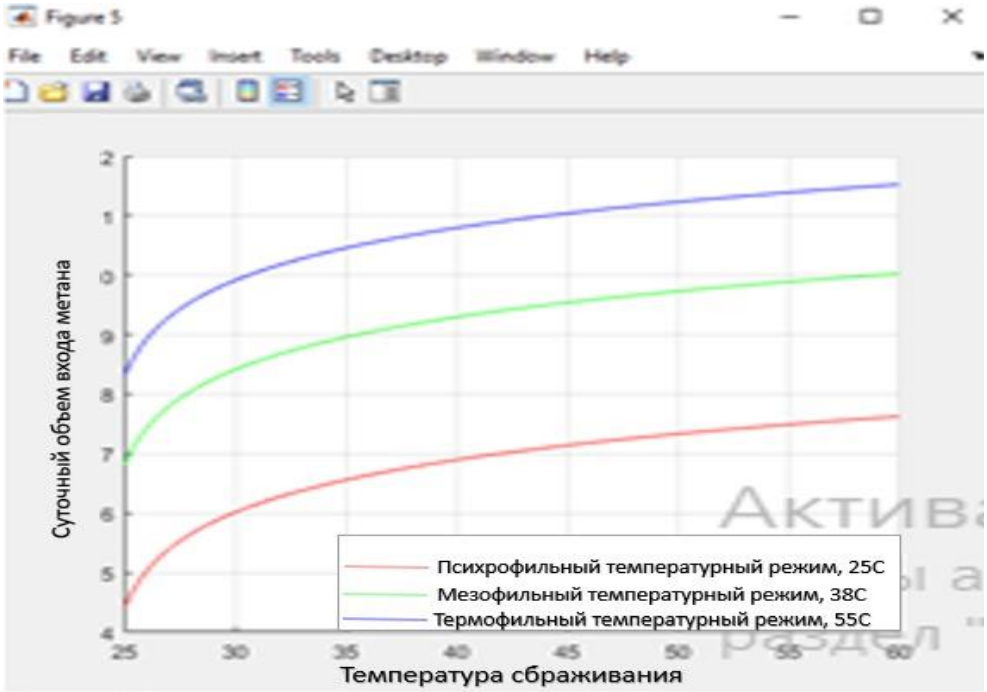


Рисунок 2.23 4 График суточный объем выхода метана в зависимости от трех температурных режимов работы

Рисунок 2.23 1, 2, 3, 4 -Значения результатов СВБ, объем выхода биогаза в сутки и метана в зависимости от температурного режима сбраживания

График зависимостей: скорости выхода биогаза; суточного выхода биогаза и метана из биореактора от температуры процесса сбраживания приведены на рис. 2.24.

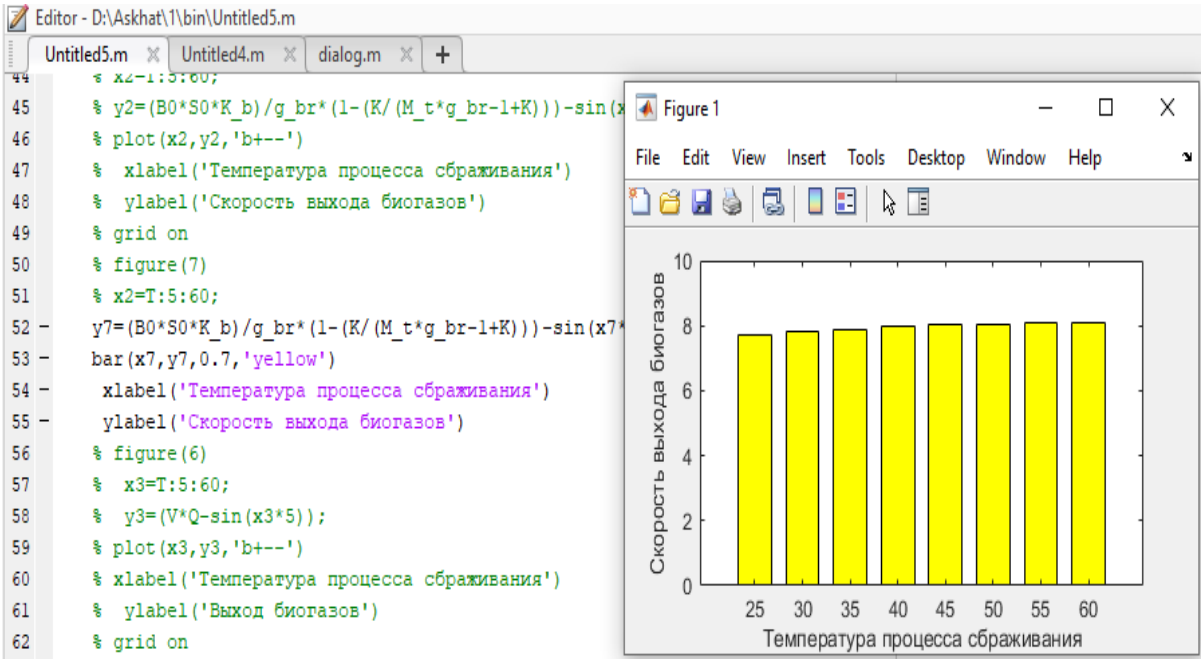


Рисунок 2.24 Зависимость скорости выхода биогаза (суточного выхода биогаза) от температуры процесса сбраживания (при влажности 92%)

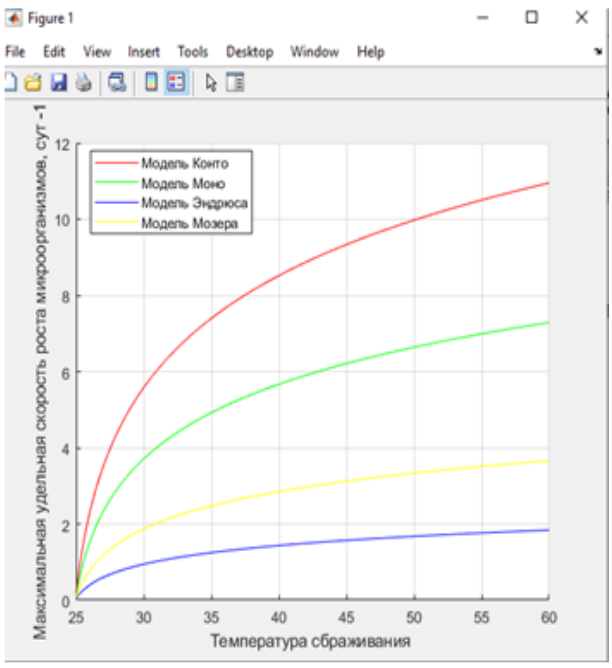
По результатам анализа и расчетов показано, что при увеличении влажности субстрата плотность биомассы уменьшается. Показано, что биомасса общей влажности 92% является оптимальной влажностью для обработки сырья в биореакторе.

В табл. 2.11 представлены значения точного расчета удельной скорости роста микроорганизмов по формулам Конто, Моно, Эндрюс и Мозера.

По результатам расчета видно, что при расчете удельной скорости роста микроорганизмов для сбраживания биомассы из навоза КРС наиболее эффективным является модель Конто. Чем выше температура сбраживания, тем больше скорость роста микроорганизмов [112, 113, 114].

Таблица 2.11 - Значения удельной скорости роста микроорганизмов

Температура сбраживания, °С	Максимальная удельная скорость роста микроорганизмов, сут $^{-1}$			
	Модель Конто	Модель Моно	Модель Эндрюса	Модель Мозера
25 °С	0,196	0,122	0,047	0,076
30°С	0,261	0,163	0,062	0,101
35°С	0,326	0,203	0,078	0,127
40°С	0,391	0,244	0,094	0,152
45°С	0,456	0,283	0,109	0,177
50°С	0,521	0,324	0,125	0,202
55°С	0,586	0,365	0,140	0,228



По результатам расчетов алгоритма процесса сбраживания навоза КРС при влажности сырья 92%, температуре 25^{0}С, время брожения 10 сут. Были получены следующие результаты:

– оптимальная величина скорости роста микроорганизмов- 0,1960 сут.,

– плотность биомассы - 1019,

– концентрация органического вещества - 28,5320 кг/м^3,

– кинетический параметр для навоза КРС – 0,8089,

– скорость выхода биогаза - 6,7589;

– объем выхода биогаза из биореактора - 37,8498 м^3,

– объем выхода метана из биореактора -26,4948 м^3.

На следующих табл. 2.12, 2.13 представлены значения результатов расчета по математическим моделям процесса сбраживания Конто, Эндрюса и И.Р.Чен, А.Г.Хашимото.

Таблица 2.12 - Значения скорости выхода биогаза и выхода биогаза в психрофильном температурном режиме

Температура сбраживания, °С	Максимальная удельная скорость роста микроорганизмов, сут $^{-1}$			
	Модель Конто	Модель Моно	Модель Эндрюса	Модель Мозера
25 °С	0,196	0,122	0,047	0,076
30°С	0,261	0,163	0,062	0,101
35°С	0,326	0,203	0,078	0,127
40°С	0,391	0,244	0,094	0,152
45°С	0,456	0,283	0,109	0,177
50°С	0,521	0,324	0,125	0,202
55°С	0,586	0,365	0,140	0,228

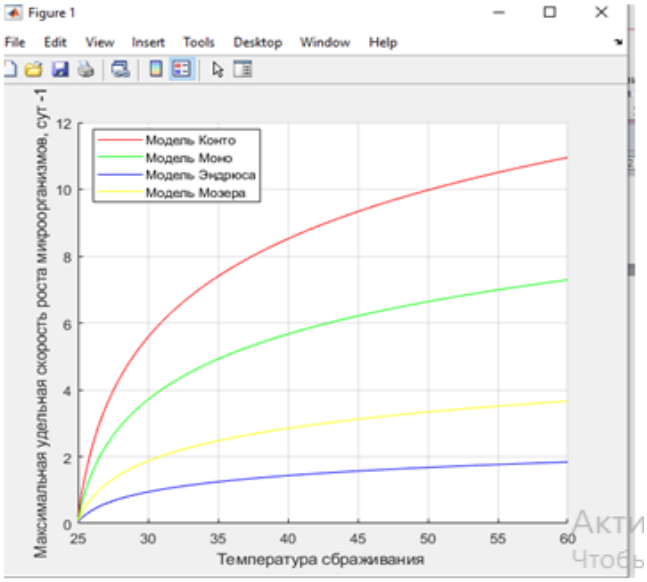
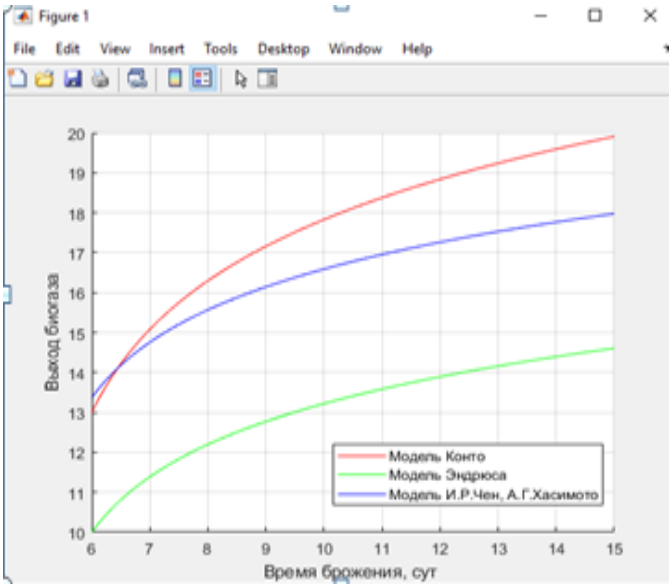


Таблица 2.13 - Значения скорости выхода биогаза и выхода биогаза в мезофильном, термофильный температурных режимах

Время брожения, сут	Скорость выхода биогаза	Выход биогаза		
		Модель Конто	Модель Эндрюса	Модель И.Р.Чен, А.Г.Хасимото
6	3,709	13,045	10,201	13,372
7	5,605	19,710	10,229	15,095
8	6,422	22,585	10,256	15,838
9	6,721	23,638	10,284	16,110
10	6,759	23,769	10,311	16,144
11	6,661	23,425	10,339	16,055
12	6,493	22,836	10,366	15,903
13	6,292	22,128	10,394	15,720
14	6,077	21,372	10,421	15,525
15	5,859	20,606	10,449	15,327



Из полученных результатов расчета следует, что сбраживания биомассы из навоза КРС наиболее подходящим и эффективным является модель Конто. По результатам расчетов оптимальное время брожения в психрофильном температурном режиме, где выход биогаза самый высокий - 10 сут. Анализ расчетов показывает, что при увеличении влажности субстрата плотность биомассы уменьшается и общая влажность 92% является оптимальной влажностью для обработки сырья в биореакторе.

С использованием программы MatLab получены графики основных параметров: -измельчения органического сырья, удельной скорости роста микроорганизмов; -скорость выхода биогаза и другие.

Использование шнековых измельчителей и кавитационных деструкторов позволило значительно сократить время предварительной обработки сырья.

Производство биогаза и концентрации метана в нем увеличивается на 10-30% при метановом сбраживании подстилочного навоза КРС.

Подача загружаемой дозы измельченного субстрата тремя частями в сутки позволило быстрее адаптироваться свежей порции к сбраживаемому субстрату в биореакторе и стабилизировать оптимальную температуру.

Все эти факторы способствуют повышению выхода биогаза, концентрации метана, скорости сбраживания в биореакторе и экономии затрат на изготовления оборудования для предварительной подготовки подстилочного навоза КРС, что позволяет уменьшить износ оборудования и энергоэффективность, а также значительно сократить затраты на строительство биогазовых установок.

ВЫВОДЫ К ГЛАВЕ 2

1. Разработанна трех ступенчатая биогазовая установка метанового сбраживания измельченным навозом КРС в шнековом и кавитационном диспергаторе, доступная по цене и по количеству ежедневно вырабатываемого сырья на ферме, которая позволяет фермеру утилизировать отходы животноводства, получить биогаз (метан) и биоудобрение, влияющие на экономическую устойчивость крестьянского хозяйства (патент РК № 5340, 2020).

2. Компьютерное математическое моделирование измельчения подстилочного органического сырья шнековой и кавитационной диспергацией определяют по полученной аппроксимирующей функции $y = -45.5042 + \frac{2321369}{x}$, которая показала, что она описывает процесс измельчения лишь до x <= 4 или до измельчения в 14 мкн., далее установлено, что данные становятся некорректными. Для более тонкого измельчения твердых веществ в субстрате используют аппроксимирующую функцию в следующей системе уравнений:

$$\begin{cases} f(x) = -45.5042 + \dfrac{232.1369}{x} \\ f(x) = 161.11x^{-1.705} \end{cases} \tag{2.38}$$

3. Получены зависимости определения времени сбраживания, роста микроорганизмов, скорости выхода биогаза, суточного объема биогаза, и суточного объема метана в психрофильном температурном режиме, мезофильном и термофильном в MatLabe».

4. Было установлено, что при увеличении температуры сбраживания удельная скорость роста микроорганизмов и скорость выхода биогаза увеличивается при этом:

- максимальный рост микроорганизмов составляет 0,1960 сут- 1 при температуре 25°С;

- плотность субстрата составляет 1019 при влажности 92%;

- концентрация органического вещества - 28,5320 кг/м^3;

- кинетический параметр для навоза КРС – 0,8089; -скорость выхода биогаза – 6,7589;

- объем выхода биогаза из реактора –37,8498 м^3;

- объем выхода метана из реактора – 26,4948 м^3.

5. Проведенные выше исследования позволили найти оптимальные параметры, позволяющие увеличить выход биогаза, за счет однородности субстрата и за счет 12% содержания сухих веществ в составе сырья, до 30 %; одновременным нагревом нижней части и оборотной воды, циркулирующей внутри БР, что позволяет сократить количество выработанного биогаза на нагрев основных узлов биогазовой установки.

ГЛАВА 3. РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ЛОКАЛЬНЫХ КОНТУРОВ И АВТОМАТИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ ТРЕХСТУПЕНЧАТОЙ БИОГАЗОВОЙ УСТАНОВКИ В ИС TRACEMODE

3.1. Нагрев сбраживаемого субстрата в биореакторах и терморегуляция температурного режима

В диссертационной работе рассматривается инновационное решение о совмещении мешалки дополнительно в качестве нагревательного элемента, нижней части и боковых стенок биореактора, которая позволит быстрее адаптироваться подаваемой части загружаемой доли субстрата в биореактор и стабилизировать температуру, см. рис. 3.1 1, 2.

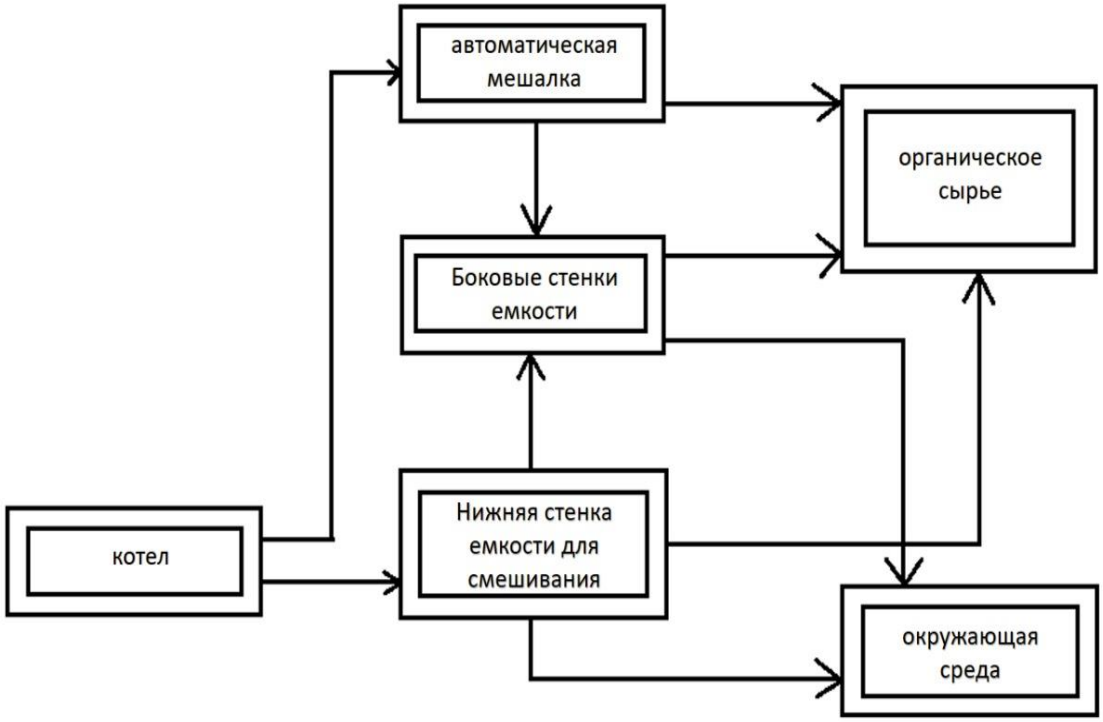


Рисунок 3.1 1 Схема передачи тепла в биореакторе для метанового сбраживания субстрата

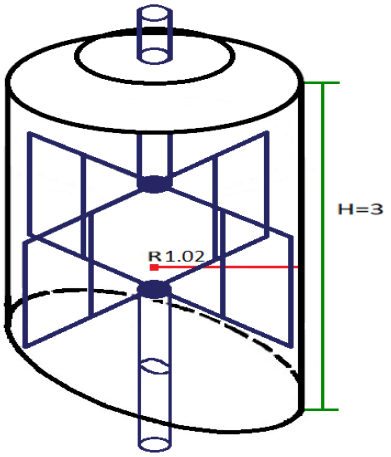


Рисунок 3.1 2 Конструкция биореактора для метанового сбраживания субстрата

Для нагревания биомассы до температуры 25°С, 37°С, 52°С что соответствует психофильному, мезофильному и термофильному температурным режимам будет использован трубчатый обогреватель, работающий первоначально на природном газе, с последующем переключением на биогаз, мешалка-нагреватель, обогревающий топочным газом (эффект самовара). Материалом трубок является коррозионно-устойчивый материал стеклопластик. Его низкая теплопроводность не позволяет допустить перегрев зон биореактора, устраняет накипь сбражживаемого субстрата и гибель микроорганизмов. Мешалка - нагреватель периодически в сутки три раза перемешивает субстрат, что исключает также накипание и гибель бактерий.

Принцип работы терморегулятора. Температуру субстрата в биореакторах измеряют на трубопроводе, по которому отбирают субстрат для следующей ступени сбраживания и на трубопроводе, по которому поступает субстрат из предыдущей ступени. Устройства оборудованы двумя датчиками: в расположенные в контуре и в комнате. Работа терморегулятора состоит из сравнения температур, поступающий из термодатчика с заданной оптимальной в интервале варьирования и в случае отклонения принимает решения о

отключения или подачи газа для нагрева нижней части БР, боковой стенок и трубок мешалки–нагревателя отопительной системы.

Нагревательные элементы из стеклопластика расположены внутри биореактора. При этом перекачивается лишь горячая вода, но не субстрат. Трубки – стеклопластик подстраивают под диаметр биореактора, поставляются в согнутом виде и привариваются к боковым стенкам биореактора. Циркуляция горячей воды осуществляется насосом и в нижней части поддона биореактора подогревается вначале природным газом, а затем биогазом. Необходимо учитывать, что трубы – стеклопластик были погружены в сбраживаемый субстрат и омывались. В этом случае удается избежать «мертвых зон», где не происходит теплообмена. Численное решение метанового сбраживания в психрофильном, мезофильном и термофильном режиме нагрева основных узлов биореактора проводим с использованием метода конечных элементов в интегрированной среде Comsol Multiphysics 4.3 на базе Model Builder - являющейся администратором модели и раскрывающий все свои возможности для построения модели. На рис.3.2. приведены нагрев нижней части биореактора и подогрев трубок, расположенных внутри биореактор в ИС моделирования COMSOL MULTIPHYSICS.

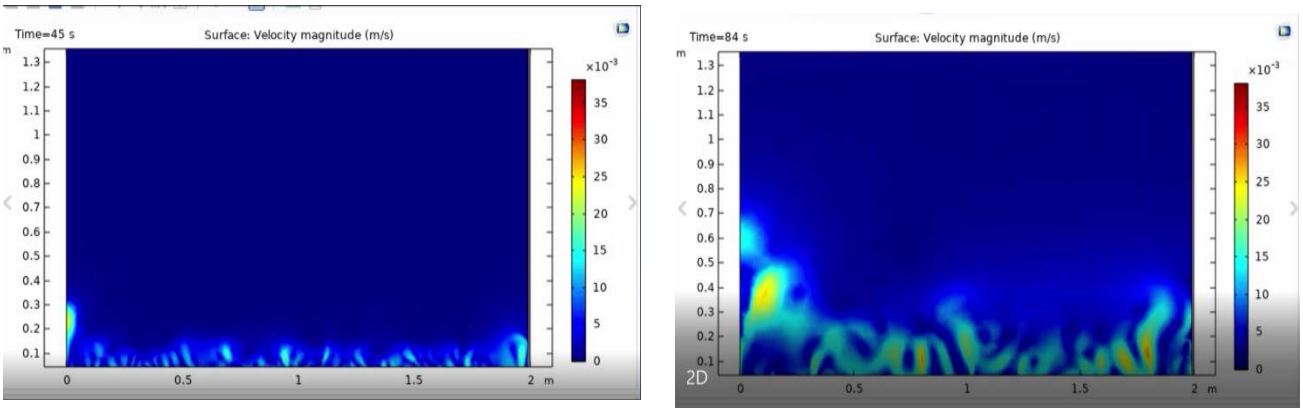


Рисунок 3.2 Нагрев нижней части биореактора и подогрев трубок, расположенных внутри биореактор в COMSOL MULTIPHYSICS

Таким образом, в биореакторе установлены: внутренняя водяная система, укрепленная на стенках и подогреваемая газом через горелки в нижней части;

мешалка – нагреватель, через трубки которой проходит топочный газ, укрепленный в верху и снизу. На рис. 3.3 приведены расположения мешалки нагревателя, водяного отопления в биореакторе.

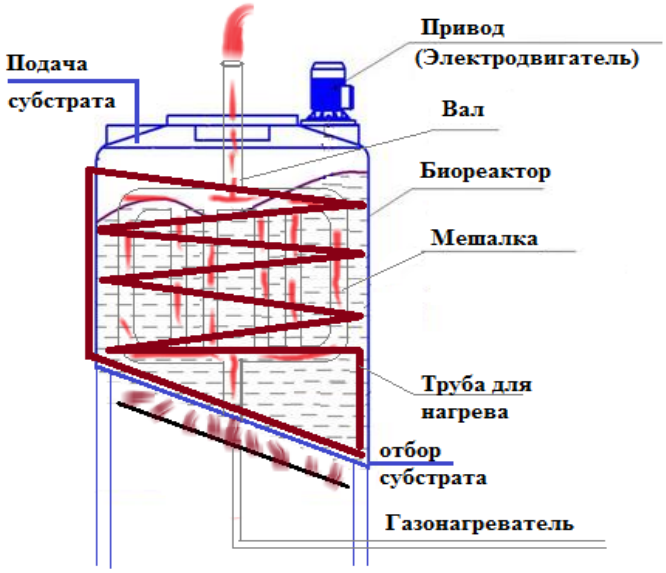


Рисунок 3.3 Технологическая схема биореактора с мешалкой – нагревателем и водяным отоплением

Контроль температуры в биореакторе осуществляется системой управления температурой, контроля и управления перемешиванием СС с применением ПИД - регулятора температуры [115].

При поступлении от датчика сигнала ПИД - регулятор температуры ТРМ 210 обрабатывает ее и подает задание управления оборудованию «Газонагреватель». В данном контуре регулирования температурным режимом, термопары ТСМ 100 определяют температуру подает ее по схеме дальше, а газонагреватель нагревает сбраживаемый субстрат через водяное отопление и трубками мешалки - нагревателя необходимой температуры. Для устранения мертвых зон и перемешивания равномерно сбраживаемого субстрата внутри биореактора используется спроектированная автором мешалка - нагреватель.

Циркуляции горячей воды в водяном отопление осуществляеться насосом, а для включения двигателя мешалки в схеме контура регулирования температурой применяется программируемое реле ПР114 [116].

ПИД - регулятор температуры ТРМ 210 основные устройства в системе, позволяют применить энергоэффективное решение по снижению энергопотребления, размеры и стоимость устройств.

Поступление сигнала с камеры биореактора осуществляется с помощью герметичного датчика температуры, спроектированной на микросхеме ТСМ 100, который позволяет определять температуру в широком диапазоне. Информация от датчика поступает в виде цифрового сигнала с 12-битным разрешением по протоколу 1-Wire, использующий лишь один порт контроллера.

Разработанное программное обеспечение микроконтроллера получив сигнал сверяет полученное значение с данными расположенными в коде ПО.

В случае если значение полученных данных ниже достаточного, то подается сигнал на открытии затвора MOSFET - транзистора, открываясь который питает реле, для управления нагревательным элементом, см. рис. 3.3.

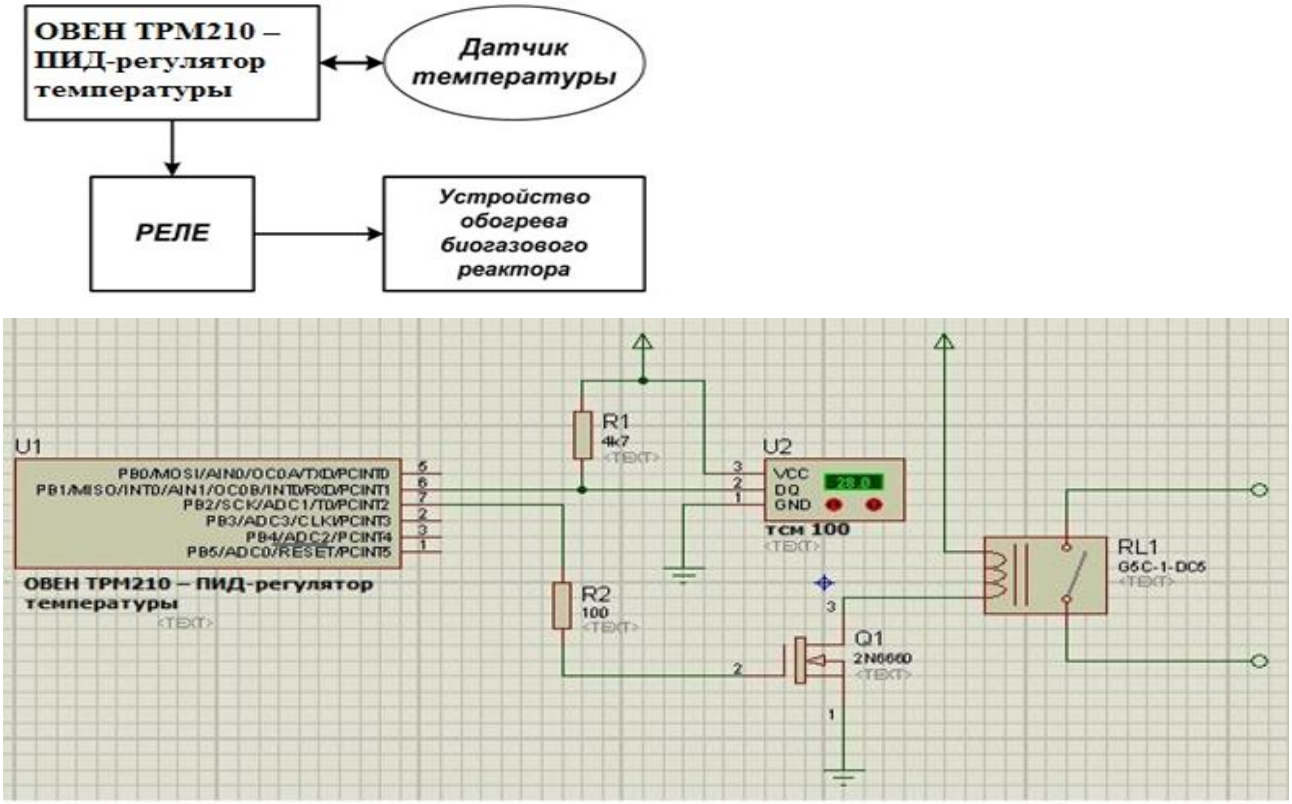


Рисунок 3.3 Схема устройства терморегуляции (электрическая) в биореакторе

Из рис. 3.3 следует, что в схеме используется ОВЕН модели ТРМ 210 совместно с ПИД регулятором температуры для терморегуляции в биореакторе. В электрической схеме устройства терморегуляции в биореакторе показано, что в схеме используется U1- ПИД-регулятор температуры откомпании ОВЕН модели ТРМ 210, U2 -герметичный датчик температуры ТСМ 100,Q1 – MOSFET-транзистор 2N6660 [117, 118, 119, 120].

3.2. Мешалка–нагреватель и устройство управления системой перемешивания его в биореакторе

В биореакторе перемешивающее устройство состоит из трубок и устройство для крепления мешалки-нагревателя в нижней и в верхней части биореактора. Схема такая же аналогичная, как и в системе терморегуляции, кроме термодатчика. Схема системы перемешивания и схема устройства перемешивания (электрическая) в биореакторе, см. рис. 3.4 [121].

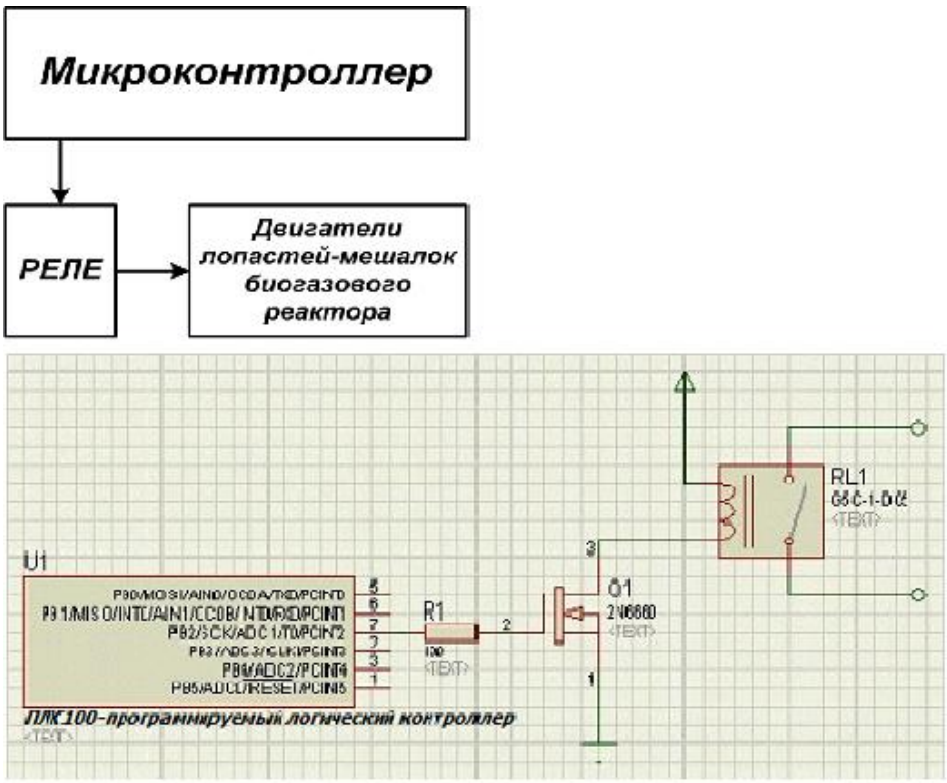


Рисунок 3.4 Схема системы устройства перемешивания (электрическая) в биореакторе

3.3. Подача и отбор загружаемой дозы измельченного субстрата до необходимого уровня в биореакторе

Схема контура регулирования и системы управления подачи и отбора сбраживаемого субстрата, отличается от остальных тем, что имеет в своем составе дополнительное оборудование насос и электрическая схема данного контура, см. рис. 3.5 [121, 122].

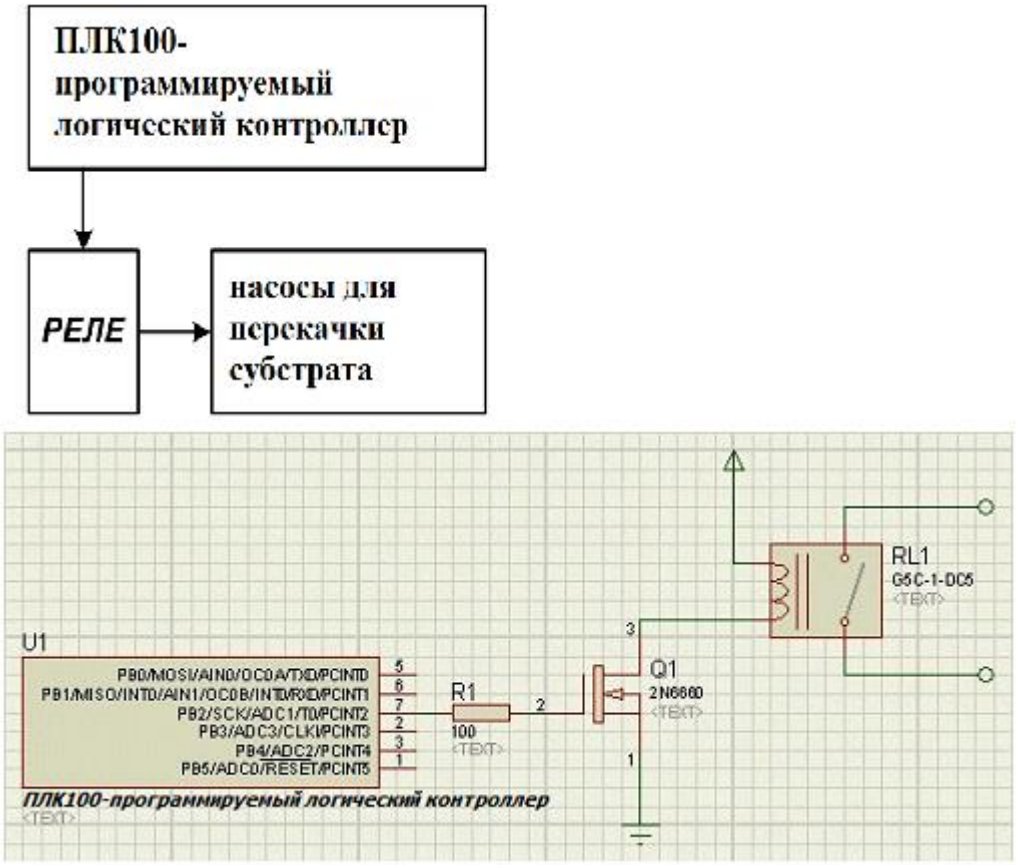


Рисунок 3.5 Электрическая схема контура регулирования и автоматизации управления подачи и отбора сбраживаемого субстрата в биореакторе

Обобщенная схема контура регулирования и системы автоматизации управления технологическим процессом метанового сбраживания: предварительно измельченного субстрата в биореакторе; с учетом нагрева и терморегуляции; с мешалкой – нагревателем для перемешивания и одновременно нагревом; насосами для подачи и отбора сбраживаемого субстрата в биореакторы приводится на рис. 3.6 [123].

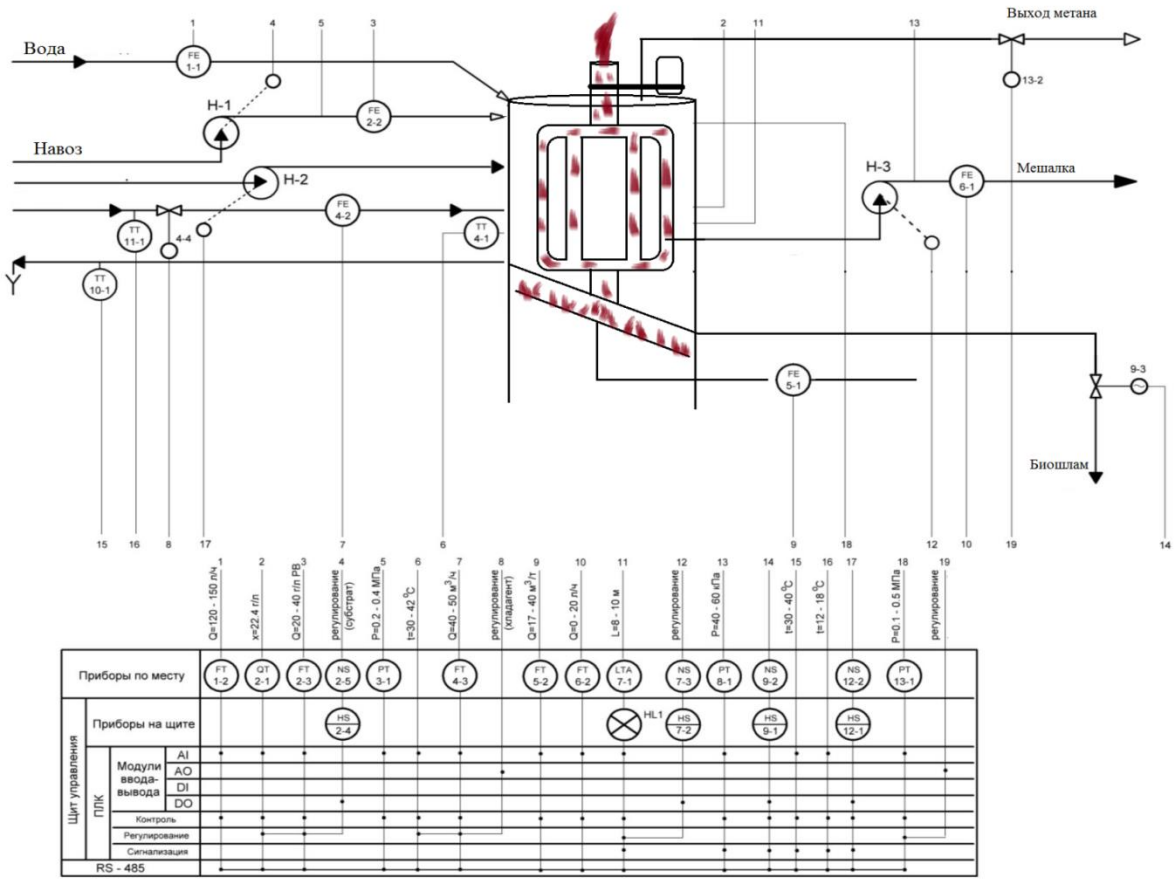


Рисунок 3.6 Общая схема автоматизации процесса метанового сбраживания измельченного субстрата в биореакторе.

3.4. Общая схема контуров регулирования и автоматизации и управления процессом метанового сбраживания в биореакторе и всей трехступенчатой биогазовой установке

При достижении и выполнения оптимальных условий для основных параметров: измельчения; температуры; перемешивания; подачи частями загружаемой дозы с соблюдением уровня заливки субстрата в биореакторе возможно получения максимального выхода биогаза [124]. После нахождения оптимальных значений параметров системы контроля и управления контуров регулирования и автоматизации всей трехступенчатой биогазовой установки в дальнейшем требуется оборудование для включения и отключения насосов подаюших субстрат в биореакторы, соблюдения уровня заливки, нагрева

сбраживаемого субстрата и его перемешивания в биореакторе, а также общее оборудование для диспетчерского пункта.

Автором в диссертационной работе принято использовать микроконтроллеры, которые позволяют создать эффективную схему управления вместо набора микросхем. К тому же и цена микроконтроллеров намного ниже микросхем и энергопотребление ниже, размеры созданных контуров регулирования намного меньше шкафов.

Общая схема системы автоматического управления процессом метанового сбраживания измельченного субстрата в трехступенчатой биогазовой установки на примере одного биореактора, используемого на всех ступенях приведена на рис. 3.7 [124, 125].

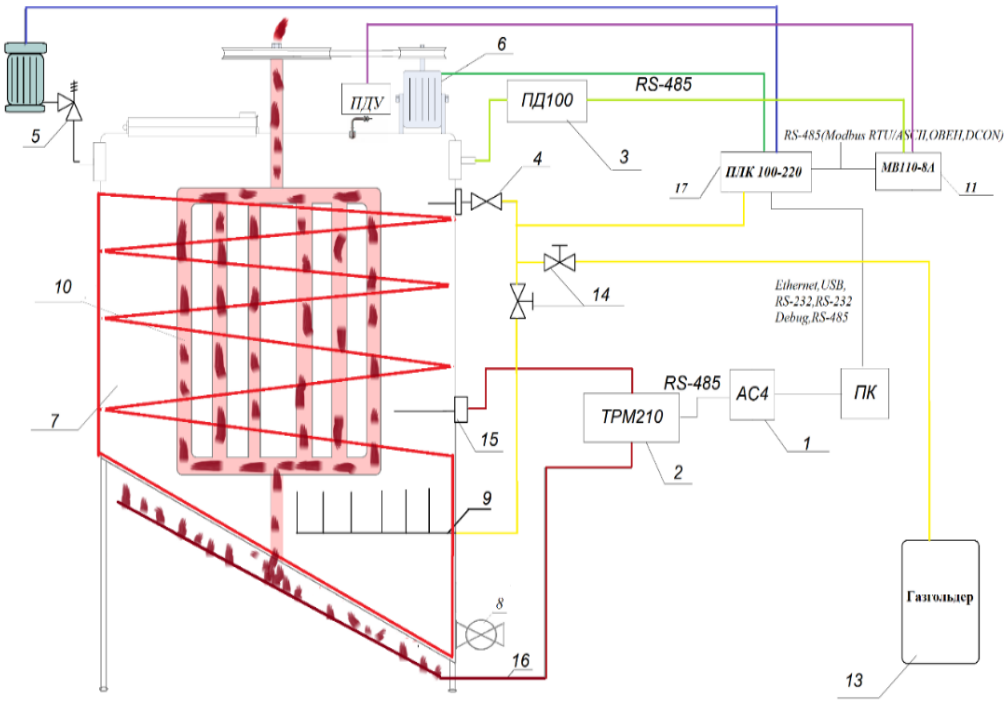


Рисунок 3.7 Общая схема системы автоматического управления процессом метанового сбраживания измельченного субстрата в биореакторе

На рис. 3.7 обозначены:

1. Автоматический преобразователь интерфейсов USB/RS-485 ОВЕН АС4;
2. Измеритель ПИД-регулятор ОВЕН ТРМ210 в щитовом корпусе Щ2;

3. Преобразователь общепромышленный ОВЕН ПД100-ДИ0.06-811-2.5;

4. Электромагнитный клапан;

5. Насос;

6. Электродвигатель;

7. Биореактор;

8. Задвижка (выход биошлама);

9 - 10.Мешалка;

11. Устройство аналогового ввода RS-485, MB110;

12. Труба для нагрева;

13. Газгольдер;

14. Клапан;

15. ТСМ;

16. Газонагреватель.

Ниже обозначены потоки управления:

управление через ПЛК 100 «насосами»;

электродвигатель управления мешалкой через ПЛК 100;

датчик давления за наблюдением давления в биогазовой установке. Это у нас аналоговый сигнал мы подключаем к MB110;

ПДУ датчик уровня жидкостей в биогазовой установке, чтобы видеть уровень- подключаем к MB110;

электромагнитный клапан - когда давление поднимается, срабатывает электромагнитный клапан выходит метан и метан поступает в газгольдер;

ТСМ датчик температуры в биореакторе-расположен в нижний части котла с боку [124].

С учетом общей схемы биореактора на рис. 3.8 приведена схема системы автоматического управления процессом метанового сбраживания измельченного субстрата в трехступенчатой биогазовой установки.

Особенностью данной схемы является полный цикл технологического процесса на всех ступенях биогазовой установки с выходом на термофильном

режиме биошлама и предварительной подготовкой субстрата до начала подачи в биореактор психрофильного режима.

Как было выще сказано полный цикл от начала и конца технологического процесса метанового сбраживания с системой управления основными параметрами. На рис.3.8 показаны все устройства управления всех биореакторов и всей системы управления в целом [121, 124].

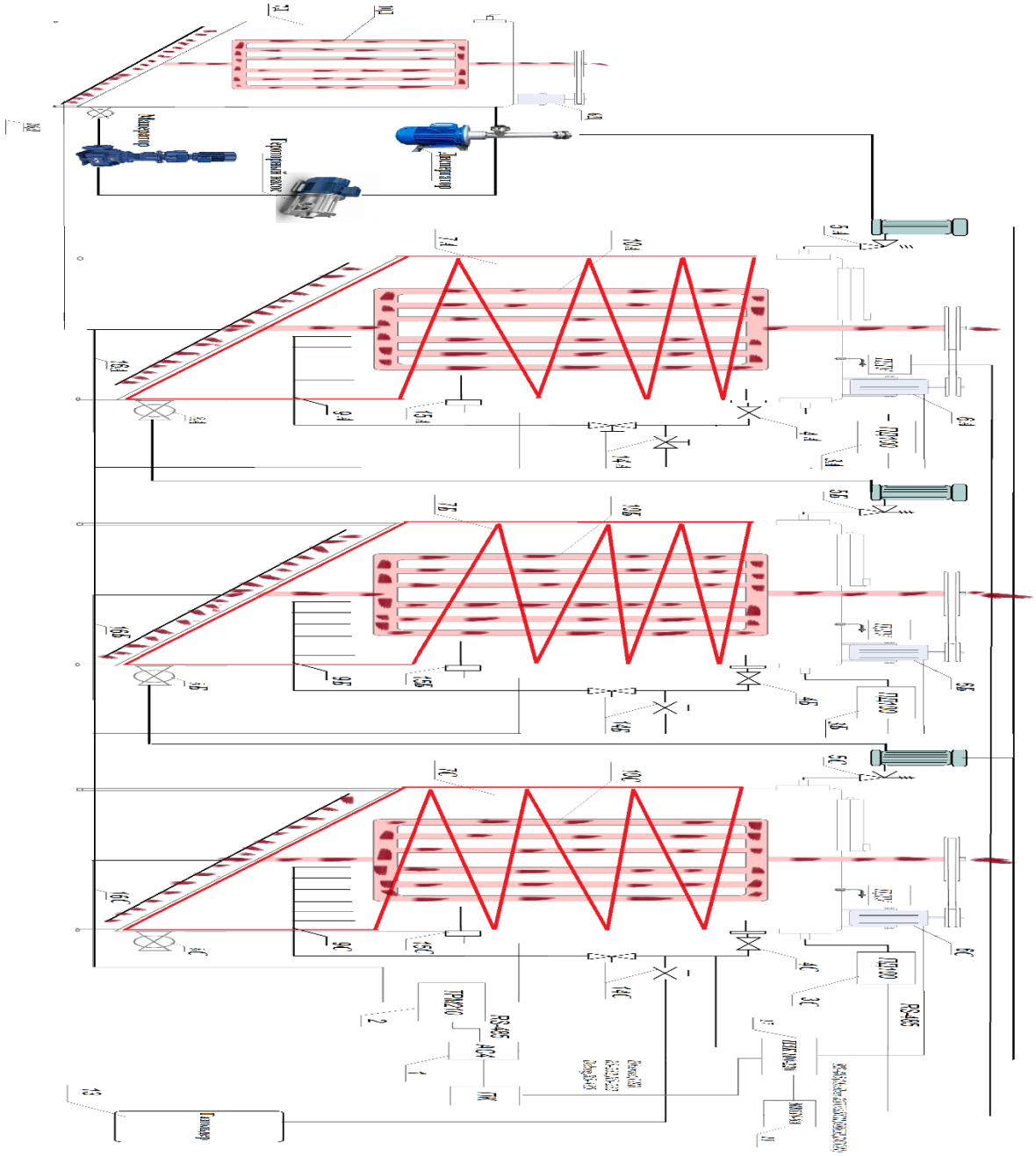


Рисунок 3.8 Общая схема системы автоматического управления процессом метанового сбраживания измельченного субстрата в трехступенчатой биогазовой установки

3.5. Разработка алгоритма системы управления биореакторами и всей трехступенчатой биогазовой установки

Эффективность процесса метанового сбраживания составляет стабилизация температурного режима в биореакторах, для комфортной жизнедеятельности микроорганизмов, которые в основном определяют процес метанового сбраживания [110, 112, 114].

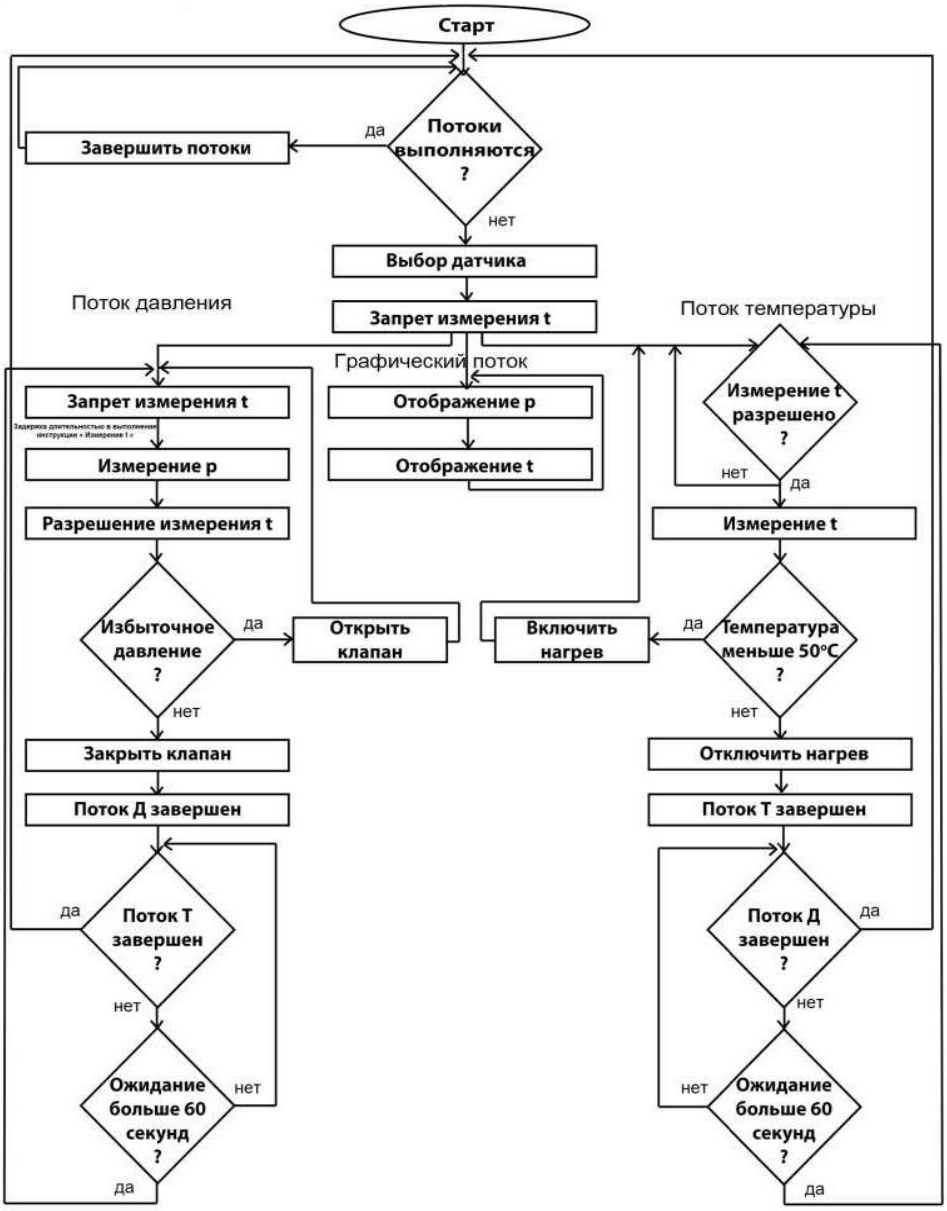
Алгоритм работы системы управления биореакторами трехступенчатой биогазовой установки, представленной на рис. 3.9.

Программа выполняется тремя потоками. Поток температуры предназначен для измерения температуры и работы с нагревателем. Поток давления предназначен для измерения давления и работы с клапаном.

Графический поток является информативным и отображает полученную с датчиков информацию.

Первым начинает выполнение поток давления, так как у потока температуры стоит запрет.

В потоке давления предусмотрен повторный запрет измерения температуры и задержка длительностью в получение измерений потоком температуры. Это сделано для того, чтобы избежать конфликтной ситуации, когда два потока в один момент времени будут пытаться измерять значения давления и температуры с одного датчика. Произойти это может в момент окончания ожидания потоком давления потока температуры и концом выполнения потока температуры. Далее выполняется процедура измерения давления и ставится разрешение на измерение температуры. С этого момента поток температуры начнет свое выполнение. На основе полученных данных давления от датчика принимается решение о необходимости включения клапана откачки газа. В случае переизбытка давления газа запускается процедура открытия клапана и поток выполняется с начала.



.

Рисунок 3.9 Алгоритм выполнение программы стабилизации температуры сбраживаемого субстрата

Когда уровень давления газа опуститься до допустимого уровня поток продолжит выполняться и вызовется процедура закрытия клапана.

Техническая реализация автоматизированной системы управления на примере одного биореактора трёхступенчатый биогазовой установки на апаратно-программном комплексе в научно-исследовательской лаборатории ТарРУ им. М.Х. Дулати приведена на рис. 3.10.

Система контроля и автоматизации управления параметрами трехступенчатой биогазовой установки включает в себя три уровня иерархии [126, 121]. В состав системы управления особое место занимает АРМ диспетчера. Автоматизированое рабочее место диспетчера включает в себя аппаратно-программный комплекс, содержащий два экрана монитора, регуляторы с интерфейсом RS-485, преобразователи температуры типа ТСМУ, датчики давления ПД100, преобразователи интерфейсов и другое оборудованием, спрограмным обеспечением SCADA-системы TRACE MODE, см. рис. 3.10.

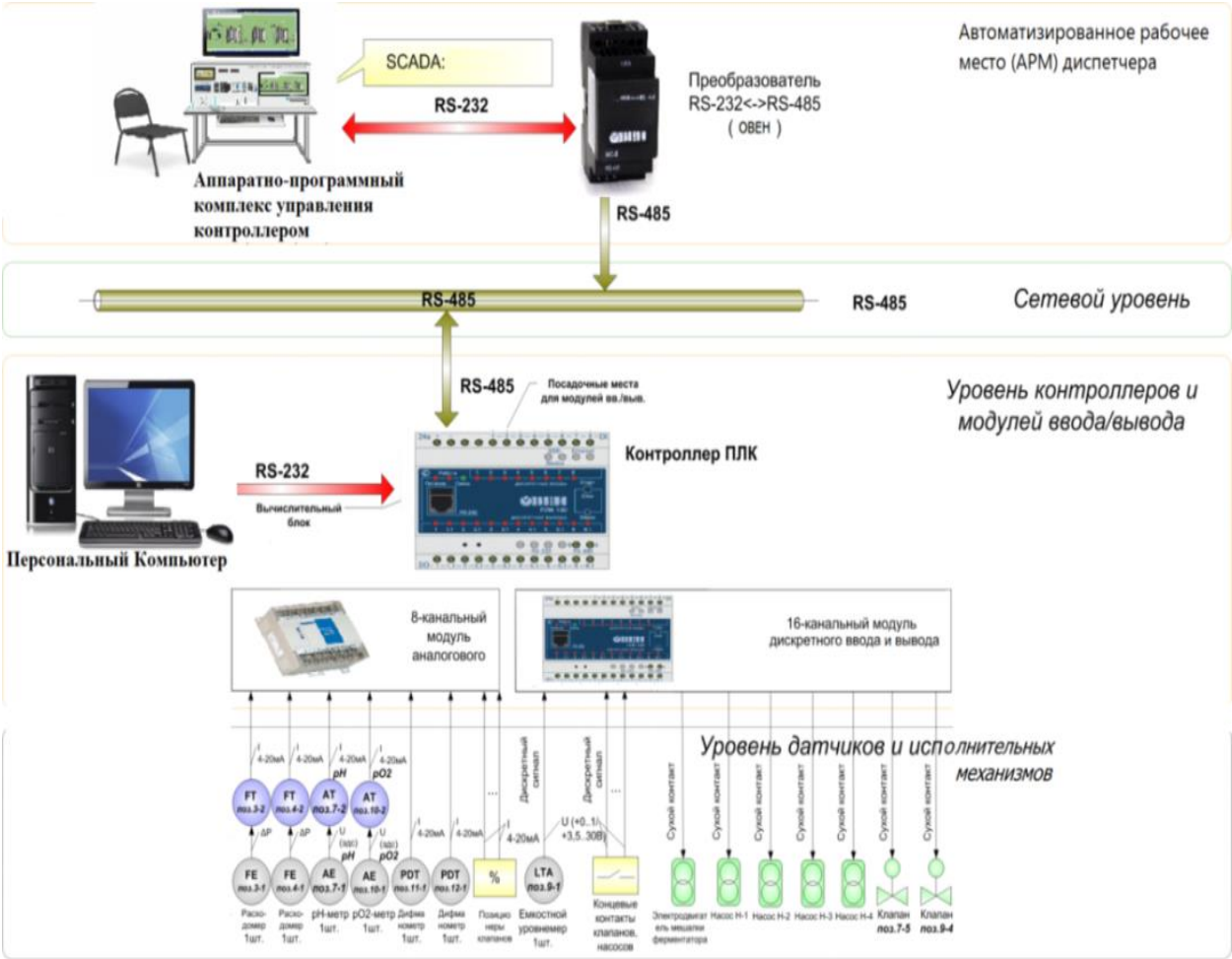


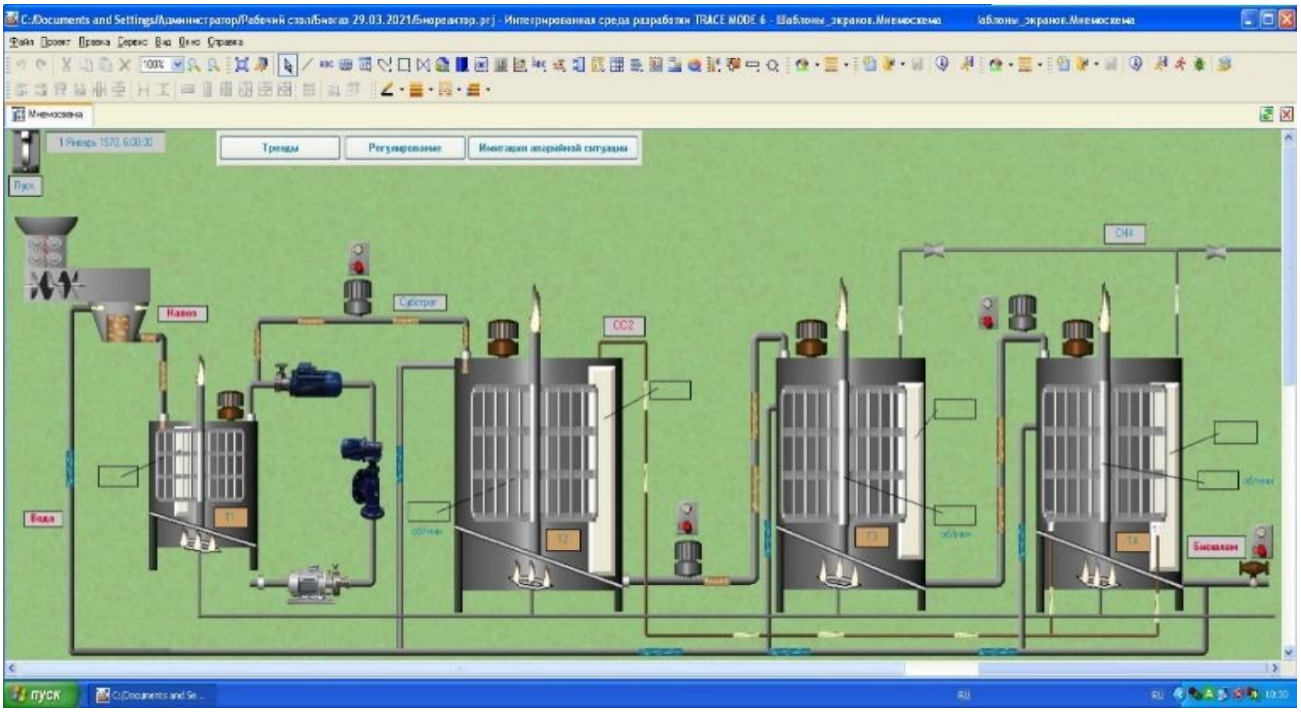
Рисунок 3.10 Общая структура системы регулирования и автоматизации управления, включающая три уровня иерархии управления.

3.6. Разработка программного обеспечения пуска процесса метанового сбраживания измельченного субстрата и выход на непрерывный режим

Программное обеспечение полностью визуализирует весь процесс метанового сбраживания в биореакторе. В интерфейсном окне насосы в зависимости от цвета показывается его рабочее состояние: красный бездействует, зеленый в рабочем состоянии.

Внизу интерфейса расположены схемы есть таблица, в которой показывается количество часов и дней, табл. 3.1 [124, 125].

Таблица 3.1 - Время и аварийная ситуация работы насосов в АРМ.



ПАНЕЛЬ СОСТОЯНИЯ	
Кол-во пройденных часов	
Кол-во пройденных дней	
Аварийная ситуация	НЕТ

Алгоритм описания и схем расчета технологического процесса состоит из:

1 Этап. Грубое и тонкое измельчение подстилочного и безподстилочного навоза КРС.

Навоз и оборотная вода поступают в 1-й шнек, где они дробятся, измельчаются и увлажняются, после чего полученный субстрат попадает в первую емкость, где проходит 3 этапа измельчения и при степени измельчения 10мкр. Отправляется на метановое сбраживание психрофильного, мезафильного и термофильного режимов биогазовой установки.

2. Этап. Метановое сбраживание субстрата в психрофильном температурном режиме.

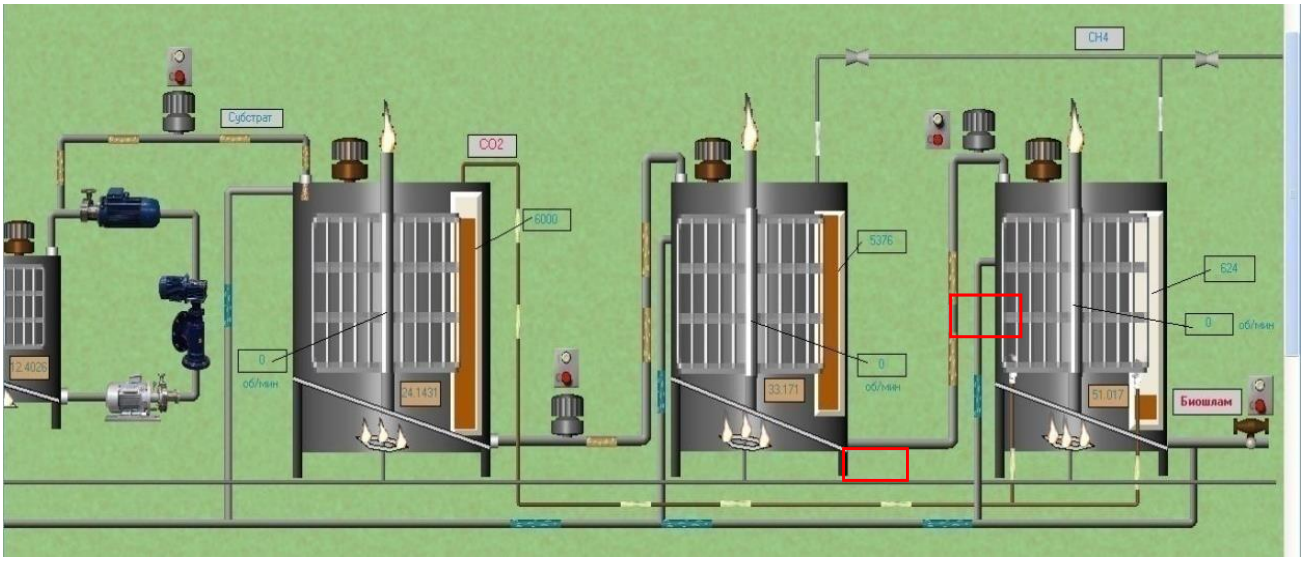
В биореакторе психрофильного режима субстрат подается до 11 доз из подготовительной емкости, перемешивается мешалкой–нагревателем при температуре 23 градуса, а после чего проходит теплообменник и попадает уже в биореактор мезофильного режима. В этой же ступени образующийся обогащенный углекислый газ, отбирается в биореактор термофильного режима минуя мезофильный. В интерфейсном окне в каждом биореакторе трех ступеней есть шкала, которая визуально показывает степень наполнения биореактора.

Тут же ниже самой схемы показана таблица, в которой можно увидеть объем наполнения биореакторов. В интерфейсном окне высвечивается температура и объем сбраживаемого субстрата в биореакторе психрофильного, мезофильного и термофильного температурных режимов, см. рис. 3.11 - заполнение субстратом биореактора психрофильного режима, перемешивание сбраживаемого субстрата и стабилизация температуры.

3 Этап. Метановое сбраживание субстрата в мезафильном температурном режиме.

В биореакторе мезафильного режима субстрат подается до 9 доз, перемешивается мешалкой – нагревателем при температуре 37 градусов после

чего проходит теплообменник и подается в биореактор термофильного режима. Сверху биореактора отбирается биогаз и подается в газгольдер.



МОНИТОРИНГ УРОВНЯ (ПОРЦИИ)	
Уровень в первом реактор	
Уровень во втором реакторе	
Уровень в третьем реакторе	

Рисунок 3.11 Заполнение субстратом биореактора мезофильного режима, перемешивание сбраживаемого субстрата и стабилизация температуры

4 Этап. Метановое сбраживание субстрата в термофильном температурном режиме.

В биореакторе термофильного режима субстрат подается до 8 доз, перемешивается мешалкой-нагревателем при температуре 53 градусов. Сбраживаемый субстрат насыщается углекислым газом, подаваемым из биореактора психрофильного режима, тем самым увеличивая концентрацию метана в образуемом биогазе.

После прохождения всех ступеней сбраживания, субстрат попадает в биошлам, где разделяется на оборотную воду, которая идет в 1-й шнек и удобрения, которые отправляется потребителю.

Биогаз, собранный в верху биореактора термофильного режима, отправляется в емкость очищения биогаза, где выделенный биогаз отправляется в горелки для подогрева сбраживаемых субстратов биореакторов для

поддерживания необходимой температуры, а излишки отправляются потребителю.

В каждом биореакторе есть тренд, показывающий температуру сбраживаемого субстрата в биореакторе,

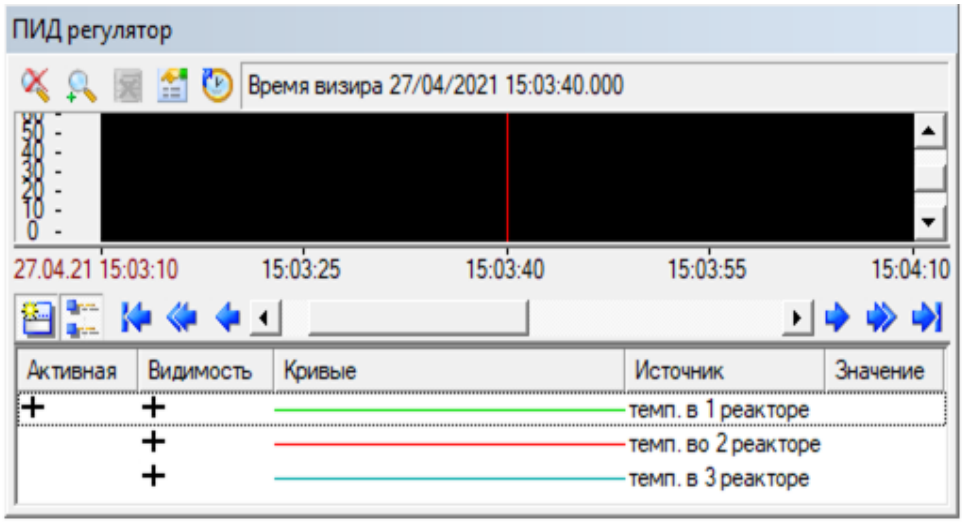


Рисунок 3.12 Тренд о температурном режиме сбраживаемого субстрата в биореакторах психрофильного, мезофильного и термофильного ступеней метанового сбраживания

5 этап. Метановое сбраживание субстрата в непрерывном режиме работы трехступенчатой биогазовой установки.

После заполнения биореакторов всех ступеней метанового сбраживания субстратом - технологический процесс трехступенчатой биогазовой установки выходит на непрерывный режим работы [126].

Работа в непрерывном режиме проходит путем отбора с термофильного режима биошлам, который подается в отстойник. Автоматически происходит отбор с мезофильного режима порции субстратаи подача его в термофильный, также идет отбор порции с психрофильного режима и подача его в мезафильный. В психрофильный режим подается порция субстрата из

подготовительной емкости, предварительно измельченная и однородная смесь воды и подстилочного и безподстилочного навоза.

При отборе и подачи субстратов одновременно во все биореакторы на всех ступенях необходимо контролировать уровень их заполнения. Тренд для просмотра уровня в биореакторах приведен на рис. 3.13.

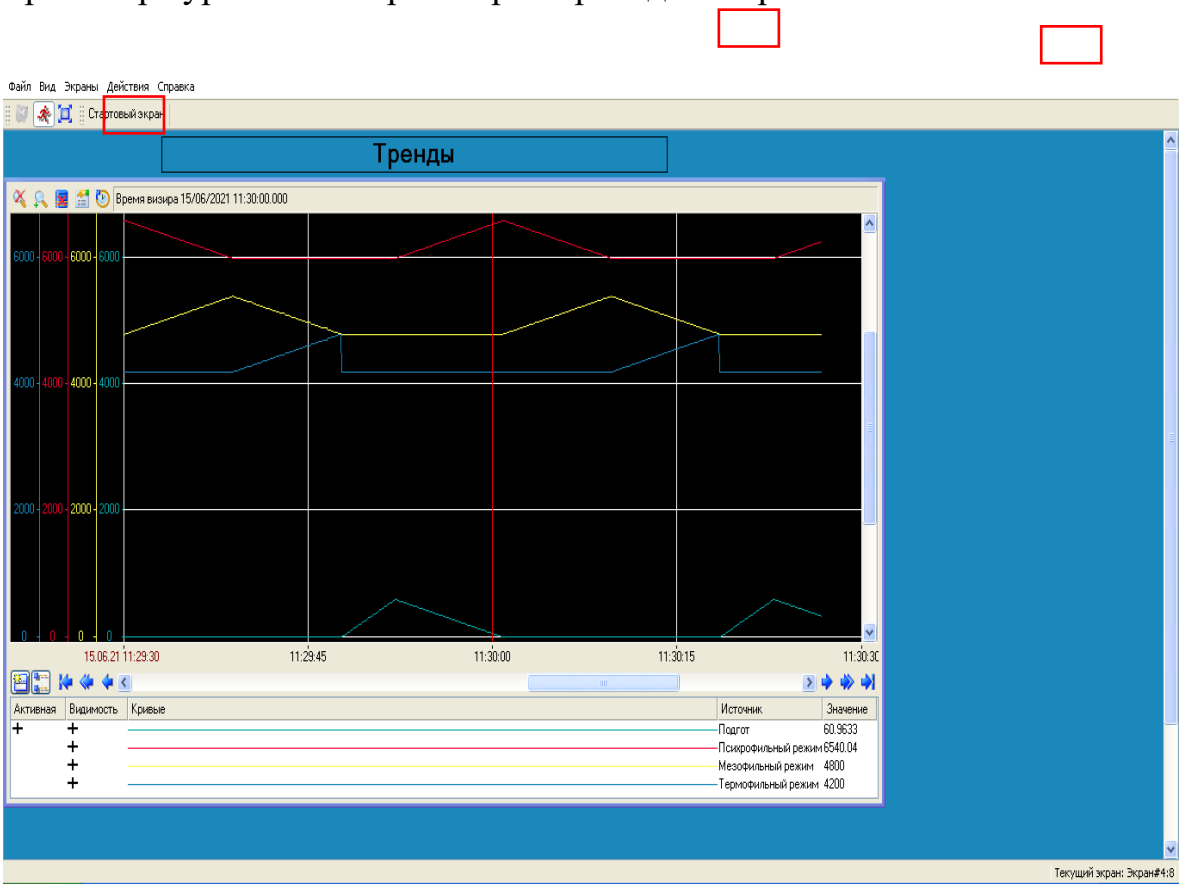


Рисунок 3.13 Уровень сбраживаемого субстратав биореакторах на всех ступенях биогазовой установки

6 Этап. Контроль и регулирование мешалок в биореакторах психрофильного, мезофильного и термофильного ступеней метанового сбраживания.

После заполнения биореакторов на всех ступенях до заданного уровня через 10-15 минут включаются двигатели мешалок. На каждом температурном режиме мешалки имеют разную скорость и количество прогонов. Данная

информация выводится на экраны монитора диспетчеру, который следит за их работой.

На рис. 3.14 приводится информации о работе мешалок на всех трехступенях трехступенчатой биогазовой установки [126, 127].

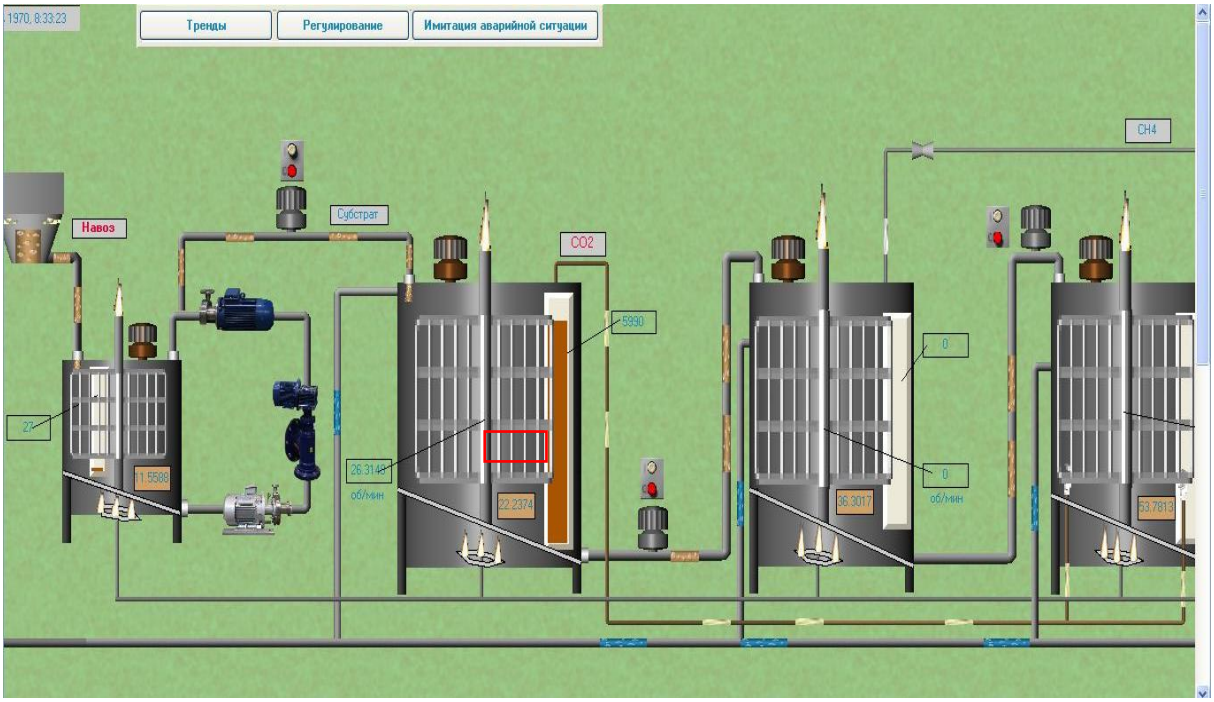


Рисунок 3.14 Информация о мешалке в биореакторе психрофильной, мезофильной и термофильной ступеней метанового сбраживания

3.7. Программное обеспечение контроля и управления параметрами метанового сбраживания в биореакторах

Программное обеспечение контроля и управления параметрами метанового сбраживания состоит из четырех подпрограмм:

1. Подпрограмма контура регулирования измельчения подстилочного навоза КРС;

2. Подпрограмма контура регулирования стабилизации температурного режима;

3. Подпрограмма контура регулирования подачи и отбора загружаемого субстрата до заданного уровня;

4. Подпрограмма контура регулирования пуска и остановки мешалки-нагревателя.

3.7.1. Подпрограмма контура регулирования измельчения подстилочного навоза КРС

Подпрограма контроля степени измельчения подстилочного навоза в устройстве обработки сырья отвечает за измельчение и однородность сбраживаемого субстрата, подающегося в биореакторы [126, 127, 128].

Подпрограмма контролирует процесс степени измельчения на каждом проходе, в случае прекращения дальнейшего измельчения размеров твердых частиц субстрата останавливает работу с целью экономии электроэнергии.

Тестирование технолологического процесса узла предварительной подготовки подстилочного навоза КРС в аппаратно-программном комплексе показала управляемость процесса и результаты измельчения. На рис. 3.15 приведена схема контура регулирования измельчения в шнековом и далее в кавитационном диспергаторе подстилочного навоза КРС.

Листинг программы контроля и автоматизации управления контуром регулирования измельчения навоза КРС приведен в П 1.3.6.1 [129, 130].

Измельчение органического сырья 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 биомассы в шнек находится в положение «Выключен». При нажатии на него вся биомасса переходит в емкость для временного хранения, измельчения и сбражения биомассы.

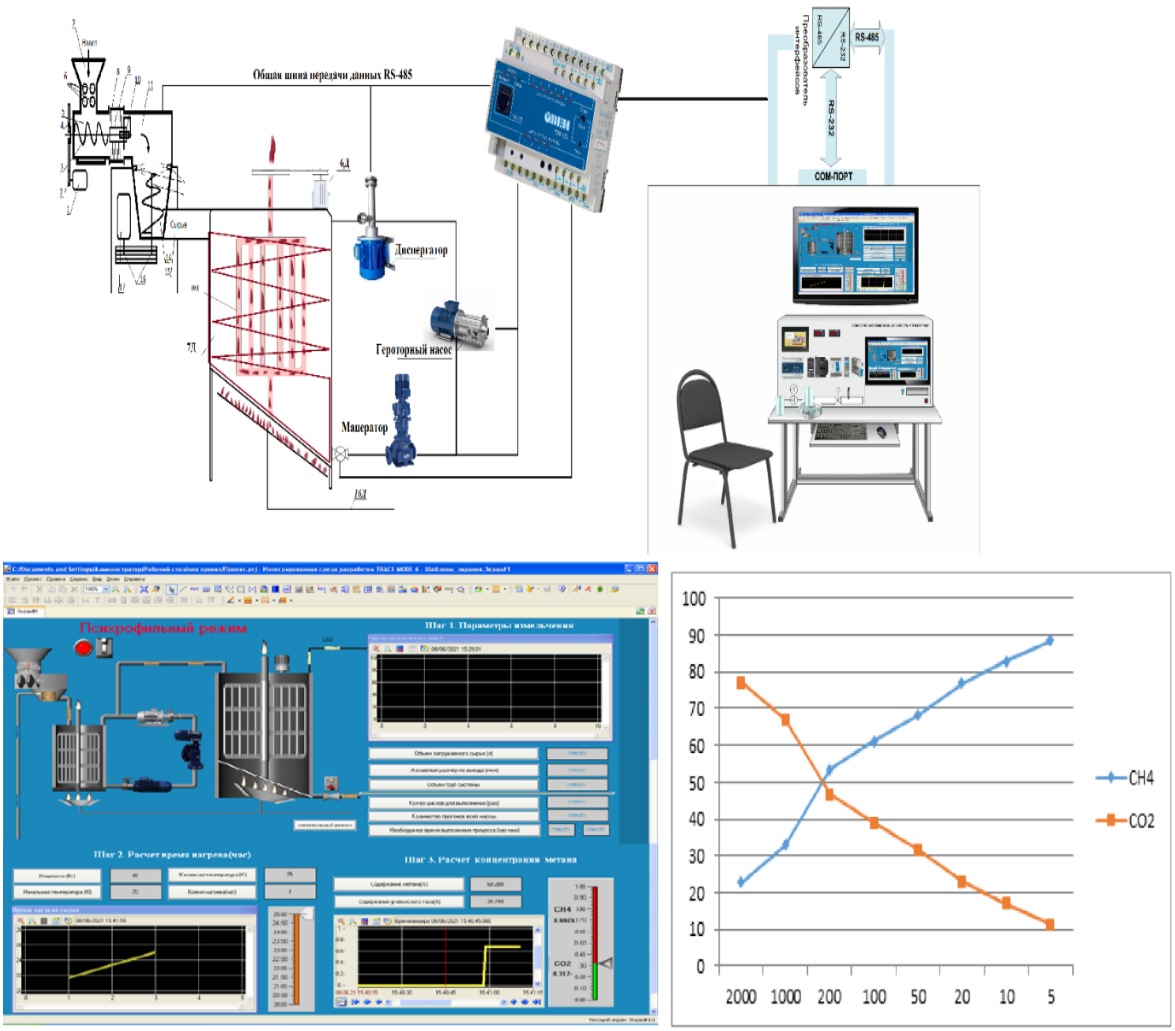


Рисунок 3.15 Контур регулирования измельчения подстилочного навоза КРС в шнековом измельчителе и далее в кавитационном диспергаторе

Далее для запуска процесса измельчения необходимо переключить выключатель муфты в положение «Включен». Запустится работа элементов узла обработки органического сырья, а сама биомасса 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 отображаются полученные результаты, см. рис. 3.16.

Рисунок 3.16 Общий вид тренда измельчения с описанием объектов

3.7.2. Подпрограмма контура регулирования стабилизации температурного режима.

Подпрограма контроля температуры сбраживаемого субстрата в биореакторах отвечает за стабилизацию температуры в биореакторах. Подпрограмма контролирует процесс нагрева сбраживаемого субстрата в биореакторах, в случае повышения температуры от оптимального уменьшается подача газа на горелки и если происходит уменьшение температуры, то увеличиваем газ на горелки и температура начинает подниматься до своего разрешенного максимума, и так во всех 3-х биореакторах. На рис. 3.17 приведены схемы контура регулирования и стабилизации температуры в биореакторах на всех ступенях биогазовой установки аппаратно-программном комплексе.

Полный листинг подпрограммы контроля за температурными режимами сбраживаемого субстрата в биореакторах, написанные на промышленном языке Техно-СТ в ИС TRACE MODE приведен в П 2.3.6.2.

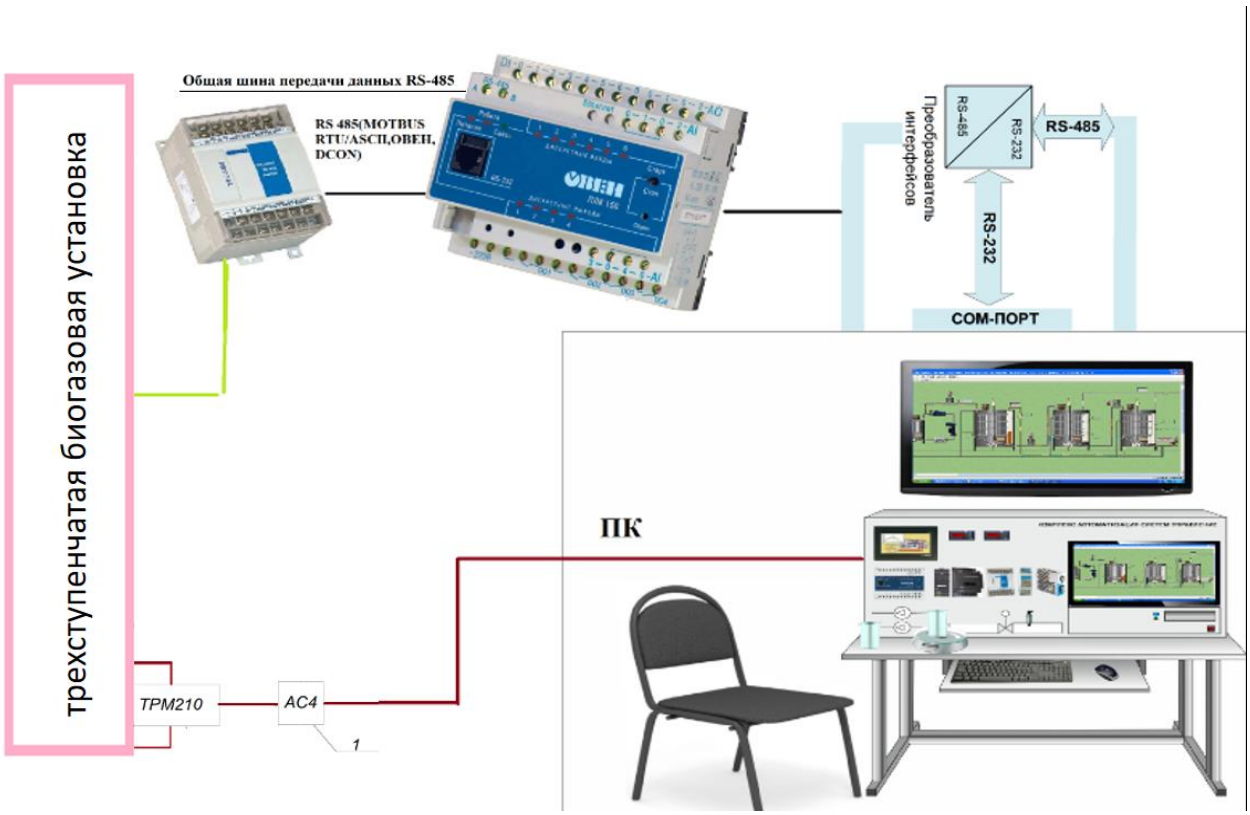


Рисунок 3.17 Схема контура регулирования и стабилизации температуры в биореакторах на всех ступенях биогазовой установки

3.7.3. Подпрограмма контура регулирования подачи и отбора загружаемого субстрата до заданного уровня

Подпрограмма контроля уровня и заполнения субстратом биореакторов трех ступеней метанового сбраживания. Подпрограмма (основная) отвечает за время, дни и наполнение биореакторов субстратом. Она контролирует за удержанием максимума субстрата в биореакторе и наполнение проводится поочередно, т.е. ежесуточная доза субстрата частями загружается в биореакторы один за другим пока не наполнится последний.

После того как биореактор термофильного режима наполнится до заданного уровня, следующая доза загрузки в биореакторы происходит одновременно и выходить на непрерывный режим [124].

Листинг подпрограммы контроля и управления заполнения биореакторов субстратом до заданного уровня приведен в П 3.3. 6.3.

3.7.4. Подпрограмма контура регулирования пуска и остановки мешалки-нагревателя

Подпрограмма отвечает только за пуск и остановку мешалки-нагревателя. Согласно автоматизации управления работой мешалки-нагревателя, через определенное время программа сама включает движение мешалок во всех ступенях метанового сбраживания с заданным количеством времени и быстротой. В процессе работы мешалки-нагревателя на панели идет счет времени и заканчивается после остановки.

Листинг программы контроля и управления пуском и остановкой мешалки-нагревателя приведен в П 4.3.6.4.

Таким образом, разработано программное обеспечение контроля и управления параметрами всех ступеней биогазовой установки, включающая контроль и управление измельчением, температурой, подачи и отбора загружаемой дозы субстрата и мешалкой – нагревателем [131].

На рис. 3.18 приведена функциональная схема непрерывного метанового сбраживания измельченного субстрата на трехступенях биогазовой установки.

Программа контролирует уровень жидкости, не превышая уровня 80% от объема биореактора, при повышении происходит сброс уровня в автоматическом режиме. Температурный режим так же подвержен контролю, система не даст повышении или понижению температуры в интервалах выше + 25 градусов.

При выходе температуры из интервала и невозможности его демпфировать путем расчета по математической моделью будет выдан сигнал в виде окна тревоги. Создан дополнительный пульт управления процессами, например: для повышения понижения температуры или уровня оператором.

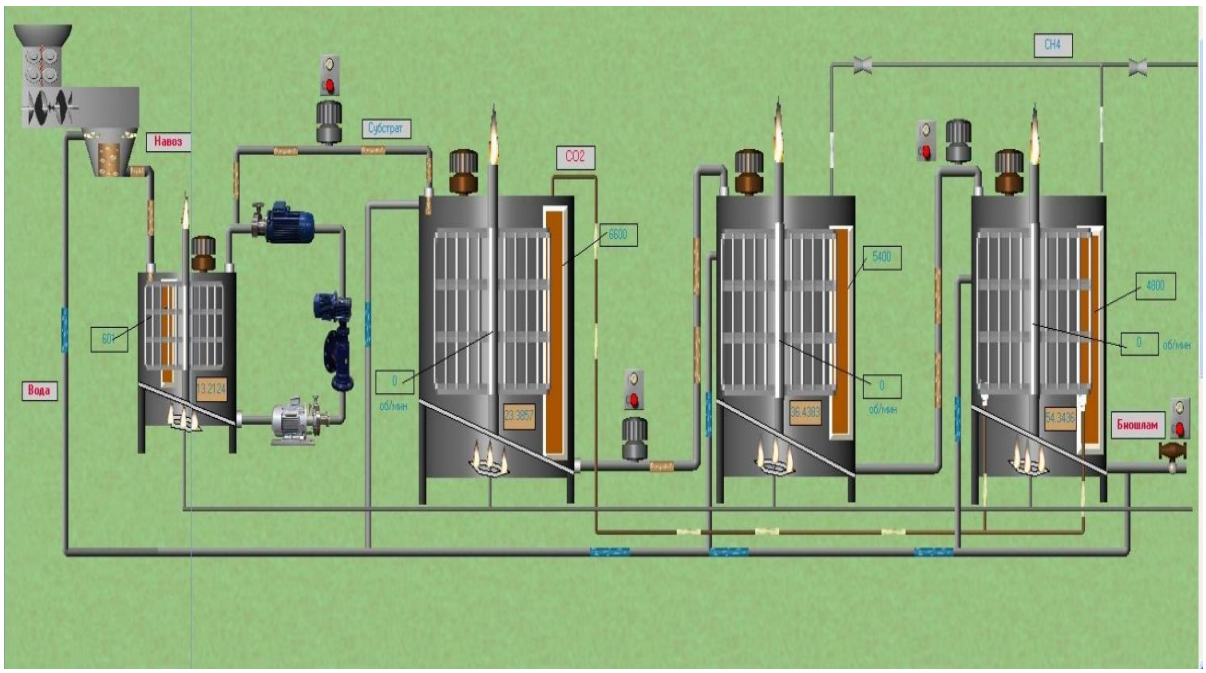


Рисунок 3.18 Непрерывная трехступенчатая биогазовая установка метанового сбраживания субстрата с системой регулирования и автоматизацией управления

Полный текст программного обеспечение контроля и управления параметрами метанового сбраживания, состоящий из подпрограмм: контуров регулирования измельчения подстилочного навоза КРС; стабилизации температурного режима; подачи и отбора загружаемого субстрата до заданного уровня; пуска и остановки мешалки биогазовой установки после выхода на непрерывный режим приводится в приложении 2.

3.8. Компьютерное моделирование метанового сбраживания измельченного подстилочного навоза КРС в ИС TRACE MODE 6

Из литературного обзора [124, 126] было выявлено, что размеры твердых частиц в субстрате в основном влияют на получение в биогазе основных компонентов: метана и диоксида углерода при метановом сбраживании в биореакторах.

Поэтому предварительное измельчение в мацераторе, гетероторном насосе и кавитационном диспергаторе твердых частиц необходим для нахождения оптимального размера этих частиц в субстрате компьютерным моделированием.

Компьютерное моделирование для расчета концентрации метана и диоксида углерода на всех ступенях биогазовой установки выполняли на аппаратно-программном комплексе с программным обеспечением ИС ТРАСЕ МОДЕ 6.

В составе биогаза помимо основных компонентов метана (от 50% до 85%) и диоксида углерода (13÷50%), присутствуют и другие компоненты как водород и сернистый водород, которые вместе составляют лищь один процент. Расчет и нахождение лабораторным и экспериментальным путем водорода и сернистого водорода в смеси очень трудоемкий, к тому же они особо не влияют на процесс метанового сбраживания.

Поэтому в дальнейшем при расчетах будем принимать, что биогаз состоит только из метана и диоксид углерода. В работе [132] приведены формулы расчета объема, которую и возьмем за основу:

$$V = \frac{P1*V1*T2}{T1P2} \qquad (3.1)$$

где V1- объем равен 0,022414 м3, (t = 0 С, P1 = 101325 Па)

$$T2 = 273 + t1(K), P2 = 116524 \text{ Па}. \qquad (3.2)$$

СММ (Молярную массу биогаза), включающую два компонента метана и диоксида углеродарассчитываем по следующей формуле. Обозначив объемную долю метана в биогазе через с (ω(CH4)=c) и объемную долю диоксида углерода ω(CO2)=1-c, СММ выразим через значение объемной доли метана в виде следующей формулы:

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

Плотность газа (ρbiog) V2, выразим в виде:

$$pbiog = \frac{\text{Mbiog}}{\text{V2}} = \frac{44.01-27.967*c}{\text{V2}}, \qquad \text{кг/м}^3 \qquad (3.4)$$

Однако остается вопрос, как найти плотность биогаза без лабораторных испытаний. Исследуя работы [89, 90, 132] с помощью регрессионного анализа определяем относительную зависимость между размером частиц и плотностью биогаза в виде степенной функции

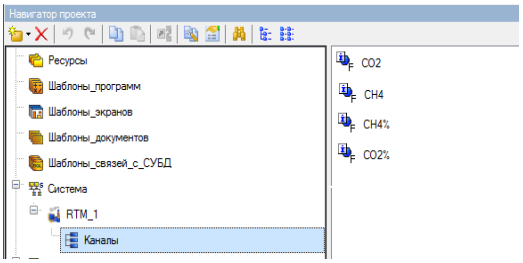
$$y=0.7577x^{0.1115}, \quad (3.5)$$

где: x-размер преобладающих частиц.

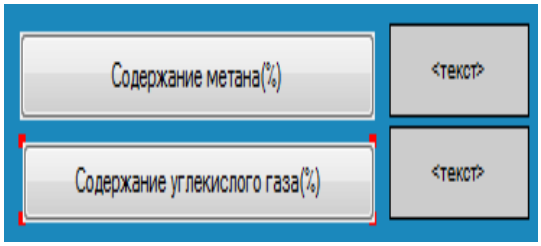
Коэффициент детерминации данной функции 0.8888, средняя ошибка аппроксимации - 4.6534%, полученные в работах [133,134,135] свидетельствует о достаточно хорошей оценке и пригодной к исследованию параметров.

Традиционно анализ состава биогаза проводят в специализированных лабораториях, оснащенных аппаратурой и оборудованием.

Определение химического анализа состава биогаза в этих лабораториях слишком сложен и трудоемок. Для моделирования процесса метанового сбраживания в системе интегрированной информационной системы Scada ИС Trace Mode вначале создадим необходимые каналы, см. рис. 3.19 1, 2: CH4 - содержание метана; CO2 - содержание углекислого газа; CH4% - процентное содержание метана;CO2%- процентное содержание углекислого газа.



1

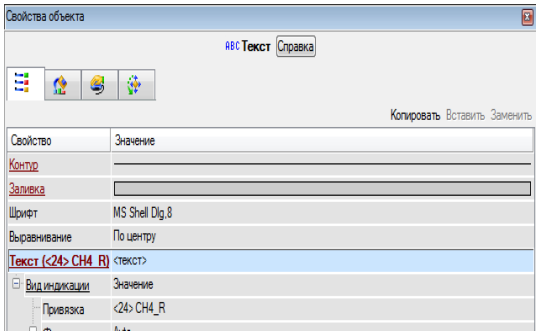


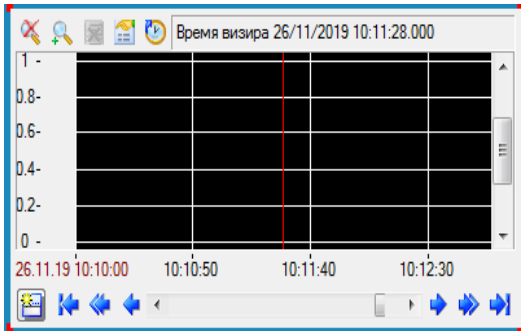
2

Рисунок 3.19 Окна, процентное содержания метана и углекислого газа

1 – создание каналов, 2 – компоненты: кнопка и текст

Свойства кнопок изменять не будем, в свойствах «Текста» осуществим привязку к соответствующим каналам CO2 и CH4,см. рис.3.20 1, 2.





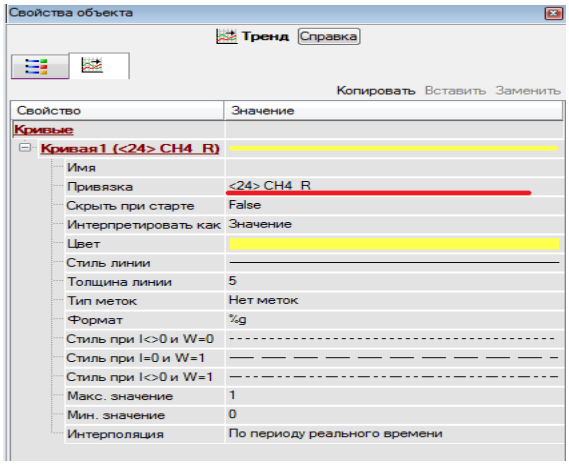
1 2

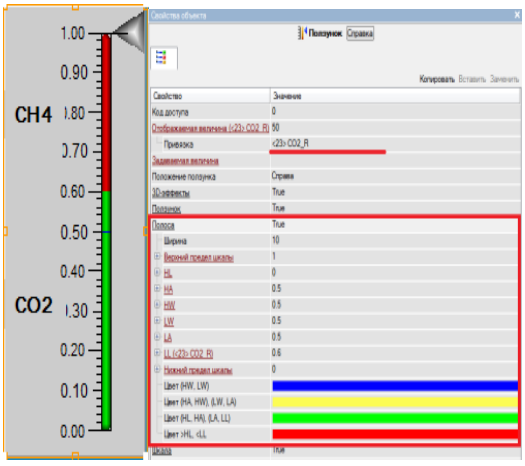
Рисунок 3.20 Привязка текста к каналам CO2 и CH4

1 - ввод текста к аргументу, 2 – размещение элемента на тренде

Нам необходимо определить нужного нам компонента, а именно осуществим привязку к параметру метана CH4, см.рис. 3.26 1,2.

Для просмотра на экране содержания метана и углекислого газа расположим элемент ползунок, поверх элемента в ползунке расположим 4 элемента. Текст, в двоих из которых изменим свойства текст на CH4 и CO2, а оставшиеся два привяжем к соответствующим каналам. Кроме того, для отображения на ленте только двух цветов необходимо открыть выпадающее строки «Полоса» и изменить значения пределов элемента см. рис. 3.21 1, 2.





1 2

Рисунок 3.21 Привязка тренда и графического элемента к аргументу

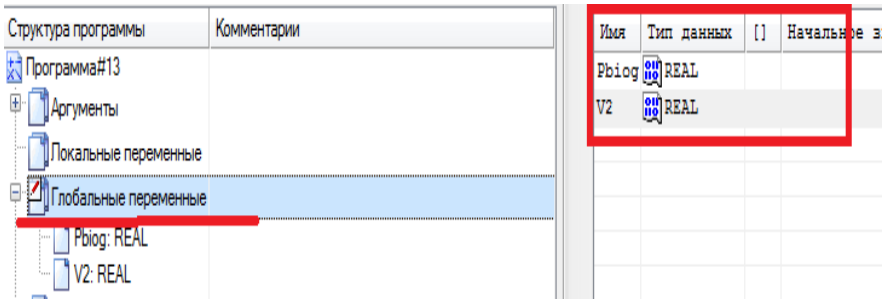
1 - ввод тренда к аргументу, 2 – ввод графического элемента к аргументу

Далее, создаем привязку каналов к соответствующим элементамв структуре проекта создадим новый элемент «Программа», назовем его «Концентрация». В редактировании шаблона создадим аргументы. В разделе глобальные переменные добавим две переменные, см.табл. 3.2 1, 3.2 2

Таблица 3.2. 1 - аргументы программы.

Имя	Тип	Тип данных	Значение по умолчанию	Привязка
CO2_R	OUT	REAL		CO2:Реальное значение (Система.RTM_1.Каналы)
CH4_R	OUT	REAL		CH4:Реальное значение (Система.RTM_1.Каналы)
Размер_R	IN	REAL		Размер:Реальное значение (Система.RTM_1.Каналы)
t1_R	IN	REAL		t1:Реальное значение (Система.RTM_1.Каналы)
Объем_R	IN	REAL		Объем:Реальное значение (Система.RTM_1.Каналы)
CH4__R	OUT	REAL		CH4%:Реальное значение (Система.RTM_1.Каналы)
CO2__R	OUT	REAL		CO2%:Реальное значение (Система.RTM_1.Каналы)

Таблица 3.2. 2 - глобальные данные.



Далее, щелкнув по слову «Программа» выберем язык программирования Техно ST. В открывшемся окне в поле ввода кода добавим программу.

Листинг программы приведен в П. 5. 3.3.7.

При запуске «Программного обеспечения продукта» вводим желаемую степень измельчения и интервал температурного режима на всех трех ступенях биогазовой установки. В процессе выполнения программы, она сама вычислит предполагаемую плотность биогаза и соответственно найдет концентрацию веществ в нем [126, 128].

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

В качестве входных параметров приняты: объем загружаемого сырья; желаемый размер частиц на выходе; объем труб системы узла обработки сырья; начальная температура сырья; желаемая температура сырья.

В качестве выходных параметров: количество циклов для выполнения; количество прогонов общей массы; время измельчения сырья; время нагрева; содержание метана; содержание углекислого газа.

В качестве опорного плана проведения эксперимента создадим матрицу начальных и конечных значений параметров.

Есть величины постоянные, а изменяется только желаемый размер частиц на выходе. Таким образом, входные значений проведения для проведения эксперимента примет вид, табл.3.3.

Таблица 3.3 - Входные значения для проведения опыта

Параметр	**Число опытов N**							
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**
Объем загружаемого сырья	600	600	600	600	600	600	600	600
Желаемый размер частиц на выходе	2000	1000	200	100	50	20	10	5
Объем труб системы узла обработки сырья	5	5	5	5	5	5	5	5
Мощность обогревательного элемента	50	50	50	50	50	50	50	50
Начальная температура сырья	10	10	10	10	10	10	10	10
Желаемая температура сырья	25	25	25	25	25	25	25	25

Для выявления зависимости между размером частиц на выходе и концентрацией биогаза вводим объем загружаемого сырья; желаемый размер частиц на выходе; объем труб системы узла обработки сырья; мощность

обогревательного элемента; начальная температура сырья; желаемая температура сырья. Матрица входных и выходных значений проведения эксперимента примет вид, см. рис. 3.22 1,2,3.

Из рис. 3.22 1 - следует, что на основе введенных данных при температуре от 20 до 23С^0 выход метана составил 68,8%, а выход углекислого газа соответственно 31,1%.

При температуре от 34 до 37 С^{0,} рис. 3.22 2 - выход метана составил 79,8%, выход углекислого газа 20,1% и от 51 до 54 С^0, рис. 3.22 3 - выход метана составил 81,7%, углекислого газа 18,2%.

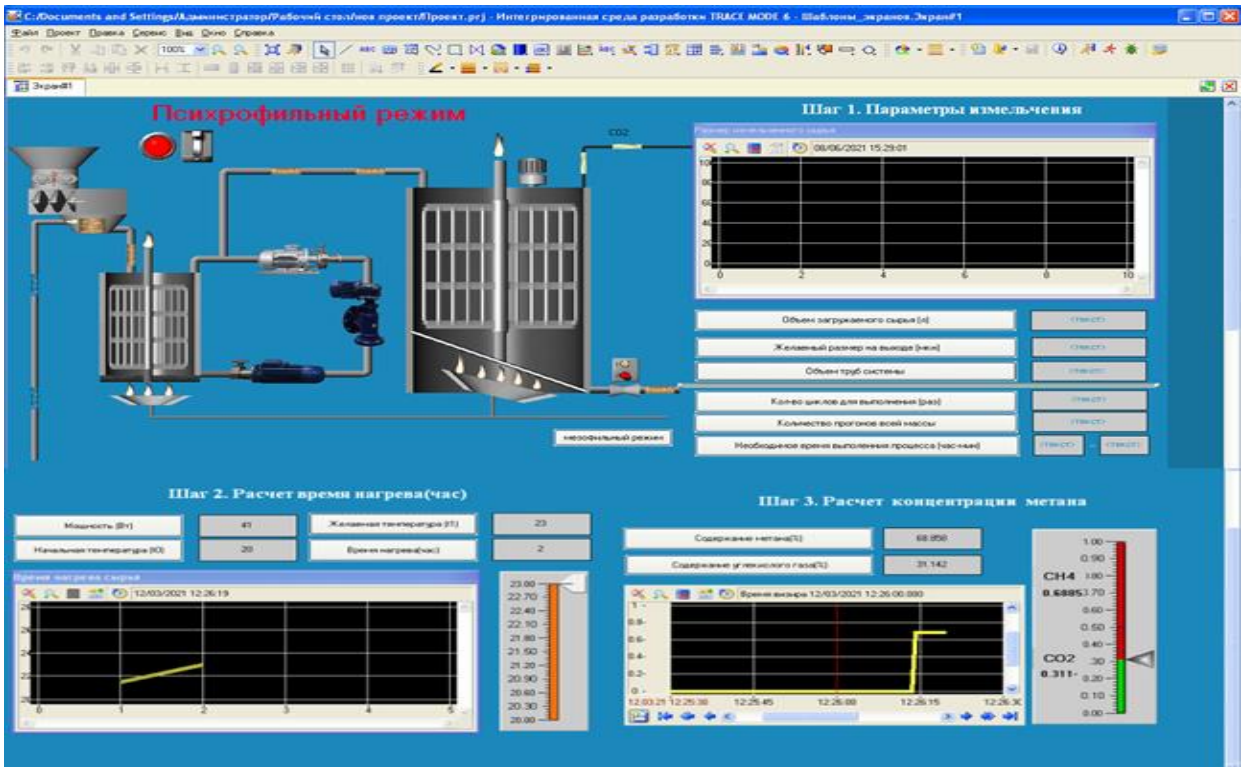


Рисунок 3.22 1 Входные и выходные параметры психрофильного при температуре в интервале 20 до 23 С^0

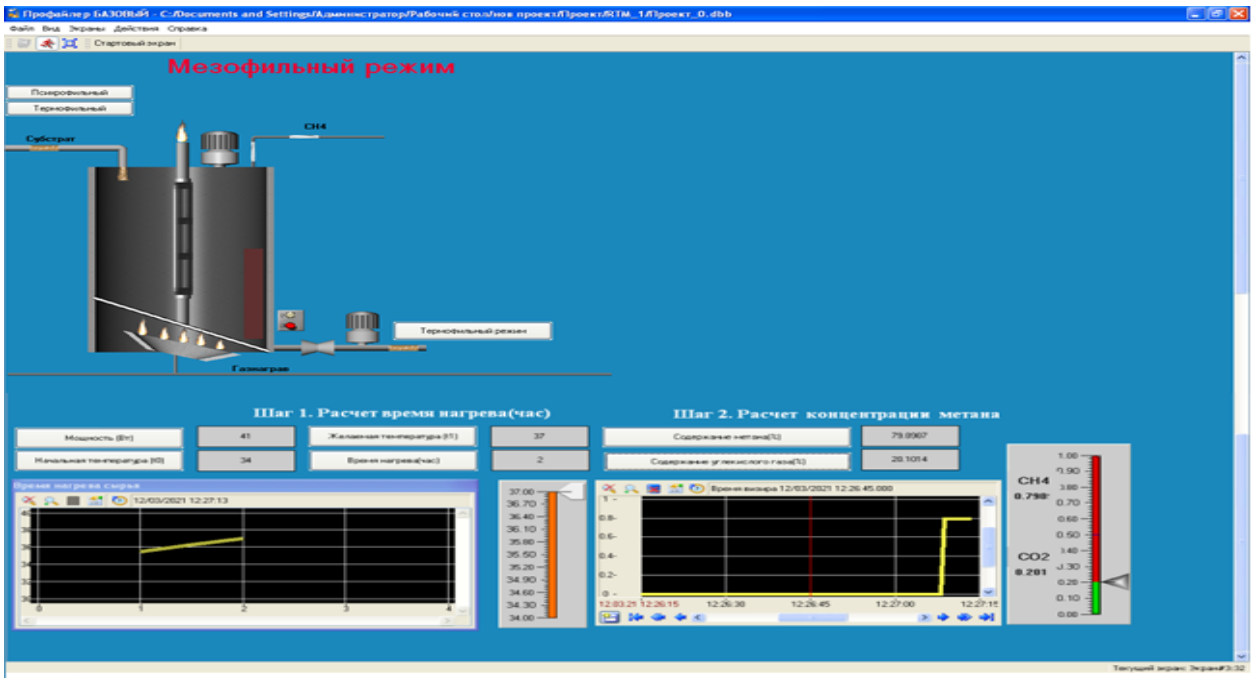


Рисунок 3.22 2 Входные и выходные параметры мезафильного при температуре в интервале 34 до 37 C^0.

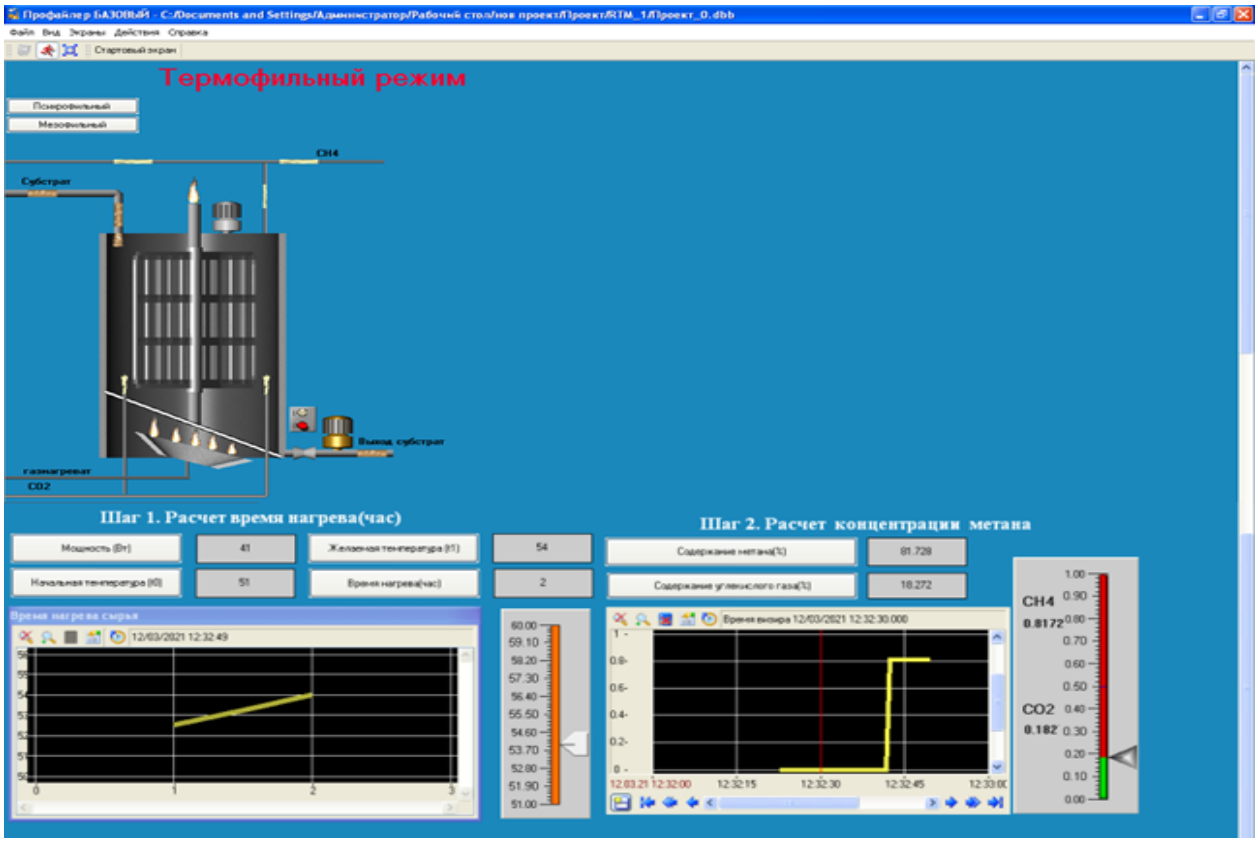


Рисунок 3.22 3 Входные и выходные параметры термофильного при температуре в интервале 51 до 54 C^0

На основе полученных результатов в ИС ТРАСЕ МОДЕ при входных параметрах, зафиксированных для опытов в трехступенчатой биогазовой

установке, видно, что с увеличением температуры концентрация метана вырастает, а диоксид углерода уменьшается.

Построим график отображающий зависимостью между начальной температуры и время нагрева биогаза. Как видно из графика с увеличение температуры и происходит уменьшение время нагрева биогазовой установке, см. рис. 3.23.

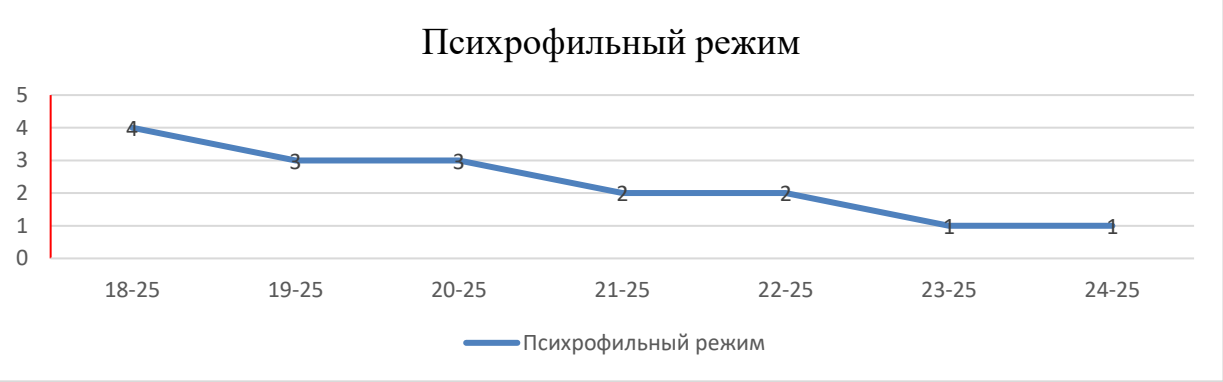


Рисунок 3.23 Зависимость время нагрева сбраживаемого субстрата от расхода теплоты

Из рис. 3.23 видно, что после начальной время нагрева увеличение, уменьшается время нагрева сырья, а, следовательно, уменьшается и расход теплоты.

3.9. Внедрение результатов измельчения и метанового сбраживания в биореакторах полученных компьютерным моделированием на реальной установке в К/Х «Акжар»

В Таразском региональном университете им. М.Х. Дулати по результатам научных исследований, полученного патента проводимым по хоздоговорной научно-исследовательской работе был спроектирован и собран узел предварительной кавитационной обработки подстилочного навоза до однородного состояния – субстрата, см. рис. 3.24.

Тестирование данных субстрата по компьютерному моделированию имеет место незначительного отклонения, что может быть вызвано другими

неучтенными факторами или нестабильностью параметров исходного сырья подаваемого на обработку.

Рисунок 3.24 Устройство УОС и система автоматизации управления, собранные в мастерской и в лаборатории ТарРУ им.М.Х.Дулати

В условиях производства биогаза на показатели процесса помимо основных параметров контроля и регулирования, исследуемых компьютерным моделированием имеются и другие факторы, которые контролировать трудно или совсем невозможно.

Поэтому полученные оптимальные результаты через компьютерное математическое моделирование и протестированные на аппаратно - програмном комплексе, не всегда точно отражают процессы метанового сбраживания в фермерских и агрокомбинатах, производящих переработку подстилочного и бесподстилочного навоза.

В этом случае для получения достоверных данных практическую реализацию основных методик и алгоритмов автоматизации технологических процессов и основных параметров регулирования и управления трехступенчатой биогазовой установкой проводили на действующей установке в К/Х «Акжар», см. рис. 3.25.

Рисунок 3.25 Запуск и тестирование контуров регулирования, автоматизации управления технологическим процессом метанового сбраживания на действующей установке в К/Х «Акжар»

Теоретические результаты, полученные компьютерным математическим моделированием, были протестированы на специально разработанном аппаратно-программном комплексе на кафедре «Прикладная информатика и программирование» Таразского регионального университетаим. М.Х. Дулати.

Уточненные результаты явились оптимальными параметрами для контроля и управления процессом метанового сбраживания в биореакторах на всех трех ступенях биогазовой установки и были рекомендованы оператору для эффективного управления трехступенчатой биогазовой установкой, внедренной в К/Х «Акжар», ИП «Кунім».

Весь цикл непрерывного метанового сбраживания одной загружаемой дозы измельченного субстрата в сутки на трех ступенях при благоприятной температуре занял 23 дня, с высокой степенью концентрации метана в биогазе, а по расчетам планировалось 28 дней

Далее после удаления CO_2 в биогазе, оставшийся метанконцентрацией 95-97%, используется для получения теплоэнергии, электроэнергии, моторного топлива и нанотрубок являющимися основным компонентом композиционных материалов [133, 134, 135].

3.10. Энергоэкономическая оценка трехступенчатой биогазовой установки

Результаты диссертационной работы внедрены путем строительства опытно-экспериментального малогабаритного биогазового комплекса на территории К/Х «Акжар». Биогаз путем очистки и сжигании в когенерационной установке производит электроэнергию и тепло, которое используют для обогрева помещения и теплиц. Получаемый шлам после анаэробного сбраживания является ценнейшим органическим биоудобрением для полей и теплиц.

Доходы от основной деятельности – получение электричества и биоудобрений, а также теплоэнергии – являются главным источником денежных поступлений, которые позволяют внедренному опытно-экспериментальному биогазовому комплексу сделать биогазовую установку окупаемым [130].

Биогазовый комплекс производить:

-37м^3/суткибиогаза;

-240 кг./сутки «твердых» биоудобрений;

-360кг./сутки «жидких биоудобрений».

При сжигании биогаза 37м^3/сутки, в когенераторереполучают:

- 37 кВт электрической мощности (брутто);

- 42кВт тепловой мощности(брутто).

В денежном выражении доход за год от внедрения биогазового комплекса составит:

-от электроэнергии (27тг. за 1кВт) 37 кВт х 360=13320*27= 359640,00тг;

- от теплоэнергии (3708,23тг. за 1Гкал переводной коэффициент = 1кВт =0,00086 Гкал/час = 0,02064Гкал/сут.) 42 кВт * 0,02064Гкал/сут=0,86688Гкал*360= 312,0768Гкал*3708,23тг. =1157252,55тг;

- от твердых биоудобрений (50тг. за 1кг.) 240 кг х 360=86400кг х 50тг. = 4320000 тг;

- от осветленных стоков 360 кг (на поля вводят под корень и рециркуляцию новой партии до 5 тонн). 360кг. х 360=129600кг 10тг. =1296000тг.

Итого доходы за год составят: 7132892,00 тг.

По данной теме выполнены ГНИР, ХНИР, результаты в виде отчетов сданы в Каз ГОСНТИ РК, получены патенты РК и свидетельство РК, которые приведены ниже в приложение 3.

ВЫВОДЫ К ГЛАВЕ 3

1.В качестве исходных данных для расчета контура регулирования, автоматизации управления процессом анаэробного сбраживания навоза КРС были получены следующие параметры: рабочий объем биореактора, концентрация субстрата, коэффициент барботажного перемешивания, кинетический параметр, время брожения, скорость движения горячей воды по трубе, количество теплоты, требующееся для обогрева биореактора, температура среды в биореакторе, содержание органического вещества, содержание биомассы в сухом веществе.

2.Разработанное программное обеспечение в ИС Trace Mode находит основные оптимальные значения параметров, такие как время измельчения сырья, время нагрева, а также способна регулировать мощность нагревательного элемента, запуск мешалки, подачи и отбора субстрата, стабилизация температурного режима и рассчитывать концентрацию метана и диоксид углерода в двухкомпонентной биогазовой смеси. (Программа имеет охранное свидетельство РК № 11169 от 29.06.2020).

3. Разработаны схемы регулирования и автоматизации управления локальных контуров: измельчение стабилизация температуры перемешивание подача и отбор сбраживаемого субстрата подаваемого на сбраживание в биореакторы каждой ступени биогазовой установки.

4. Разработан компьютерный контроль и автоматизация управления основными параметрами трехступенчатого процесса метанового сбраживания измельченного отхода животноводства в биореакторах. на аппаратно-программном комплексе с использованием СКАДА систем ТРАСЕ МОДЕ, для нахождения скорости выхода метана и скорости роста микроорганизмов.

ВЫВОДЫ

Анаэробное сбраживания биомассы, получаемых из навоза КРС в биогазовом комплексе являются эффективным способом переработки навоза КРС.

Обзор результатов научно-исследовательских работ показал, что трехступенчатое метановое сбраживания в биореакторах, в каждой из которых созданы оптимальные параметры процесса метаногенеза субстрата - является оптимальной.

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

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

3. Математическое моделирование процесса метанового сбраживания показало, что целевые выходные параметры:

- максимальная удельная скорость микроорганизмов и скорость выхода биогаза увеличивается и составляет - 0,1960 сут-1 при температуре 25 0С;

-плотность субстрата 1019 при влажности 92%; -концентрация субстрата - 28,5320 кг/м3;

-кинетический параметр для навоза КРС – 0,8089;

-скорость выхода биогаза – 6,7589;

-объем выхода биогаза из биореактора –37,8498 м^3,

-объем выхода метана из биореактора - 26,4948 $м^3$.

При данных целевых значений от производства биогаза и биоудобрений доходы за год составят: 7132892,00 тг.

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

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

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

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

ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

Внедрение разработанной энергосберегающей биогазовой технологии в К/Х «Акжар» позволят открыть, в науке России, Кыргыстана, Казахстана, странах ЕАЭС, СНГ и дальнего зарубежья, новые направления инновационного развития в области переработки возобновляемых сельхозотходовметодом ускоренного метанового сбраживания в биореакторах с оптимальной температурой для трех режимов, позволяющие получать биогаз с высокой концентрацией метана, а также шлам-отход,который представляет собой ценноевысокоэффективноеи экологическичистоебиоудобрение

Результаты диссертации используются студентами, магистрантами кафедры «Прикладная информатика» КГУ им. И.Арабаева и«Прикладная информатика и программирование» ТарРУ им. М.Х.Дулати при изучении дисциплин «Компьютерное математическое моделирование химико-технологических процессов», «Основы компьютерного моделирования», «Системы контроля и автоматизации управления химико-технологических процессов» в интегрированной среде TRACEMODE.

В целях коммерциализации проекта ожидается изготовление штучных экземпляров и распространение среди крестьянско-фермерских хозяйств, занимающихся скотоводством в местах, где отсутствуют электроэнергия и газ, что позволяет им решать социальные, экологические и производственные проблемы, характерные для сегодняшних реалий.

Внести предложение по выделению субсидий Правительством РК, КФХ внедряющим комбинированный биогазовый комплекс по утилизации животноводческих отходов с получением биогаза и биоудобрений, а также снижения загрязнение окружающей среды и на потепление климата на планете.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Осмонов, О.М. Научно-технические основы создания автономных биоэнергетических установок для крестьянских хозяйств в горных районах Киргизии. [Текст] / Осмонов О.М. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук, Москва-2012, 36 с.
2. Веденев, А.Г. ОФ «Флюид» Биогазовые технологии в Кыргызской Республике: учебник. [Текст] / ВеденевА.Г., ВеденеваТ.А. - Бишкек: Типография «Евро», 2006. –90 с.
3. Токмолдаев, А.Б. Обоснование технологической схемы и параметров установки для переработки и обеззараживания навоза в условиях малых сельхозформирований: дис. канд. тех. наук: 05.20.01/79. [Текст] / Токмолдаев А.Б. - Алматы, 2009. - 116 с.
4. Веденев, А.Г. Руководство по биогазовым технологиям: учебник. [Текст] / ВеденевА.Г., ВеденеваТ.А. - Бишкек: ДЭМИ, 2011. - 84 с.
5. Караева, Ю.В. Обзор биогазовых технологий и методов интенсификации процессов анаэробного сбраживания. [Текст] / КараеваЮ.В., ТрахуноваИ.А. Труды Академэнерго.-2010.-№3.-С.109-127.
6. Новикова, Ю.А. Биомасса как источник энергии. [Текст] / НовиковаЮ.А.Химическая промышленность за рубежом. - М: НИИТЭХИМ, 1989, вып. 10 (322). - С. 1–35.
7. Богданов, П.В. Основные факторы, влияющие на интенсивность анаэробного сбраживания навоза.[Текст] / БогдановП. В., ШрамковВ. М., Дурдыбаев С.В. Исследование, проектирование и строительство систем сооружений метанового сбраживания навоза: междунар. конф. тезисы докл. - М., 1982. - С. 29-31.
8. Зинченко, М.Г. Оптимизация процесса метанового сбраживания отходов животноводческих комплексов.[Текст] / ЗинченкоМ.Г., ЦейтлинН.А., СемененкоИ.В. Химическое и нефтяное машиностроение. - М., 1990. -№ 4, С. 18-22.

9. Добышев, А.С.Подбор и подготовка животноводческого сырья для биогазовых установок. [Текст] /Добышев А.С., Острейко А.А. УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия» г. Горки, С, 394-401.
10. Соуфера, С.Биомасса как источник энергии: пер. с англ./под ред. [Текст] /Соуфера С., ЗаборскиО. - Минск: Мир,1985. - 368 с.
11. Криворучко, В.Использование биомассы в биогазовых установках с целью обеспечения сельского хозяйства электроэнергией и выполнение Киотопротокола. [Текст]/ [КриворучкоВ., АмонТ., Амон Б. и.др.]. Энергия из биомассы: I междунар. конф., 23-27 сент., 2002 г.: тезисы докл. - К., 2002: http://www.biomass.kiev.ua/conf 2002. С. 141–145.
12. Зубко, Б.И. Особенности технологии переработки и обеззараживания жидкого навоза в процессе анаэробно-метанового брожения. [Текст] / Зубко Б.И., НовосельскаяА.П., ДрачЮ.А. Биологическая переработка отходов: междунар. конф.: тезисы докл. - К.: 1983. - С. 91-94.
13. Смирнов, О.П. Применение метанового сбраживания для утилизации стоков свиноводческих комплексов.[Текст] / СмирновО.П., ЦыганковК.П., КовальН.В. Исследование, проектирование и строительство систем сооружений метанового сбраживания навоза: междунар. конф.: тезисы докл.- М., 1982. – С. 44-46.
14. Бийбосунов, Б.И. Кинетика и выбор основных параметров метанового сбраживания. [Текст] / Бийбосунов Б.И., Байжарикова М.А. Вестник Dulaty University. № 1,2021 С50-58.
15. Шерьязов, С.К. Методы повышения эффективности переработки биомассы в биогазовой установке. [Текст] /Шерьязов С.К., Васенев В.В., Телюбаев Ж.Б. Достижения науки –агропромышленному производству: материалы LV междунар. науч.техн. конф. Челябинск: ЮУрГАУ, 2016. С. 230–235.

16. Мамихин, С.В. Компьютеризация экологических исследований. Вестник РУДН, Мер. [Текст] /Мамихин С.В. Экология и безопасность жизнедеятельности, 2000, N4, с.150-157.
17. Панцхава, Е.С. Биогазовые технологии радикальное решение проблем экологии, энергетики и агрохимии. [Текст] /ПанцхаваЕ. С. Теплоэнергетика. - 1994.-№ 4.- С. 36−42.
18. Chen, J.R. Effect of temperature on methane fermentation kinetics of beef cattle manure [Текст] /ChenJ.R., VarelV.H., HashimotoA.G. Biotechnol Bioeng&Symp. 1980.-No.10.-P.325.
19. Baijarikova, M.A. Mathematical Research of the Accelerated Three-Stage Process of Substrate Fermentation in Bioreactors[Текст] /[Baijarikova M.A., TlebayevM.B., TazhiyevaR.N.и.др.]. JournalofPhfrmaceuticalSciencesandResearchVol. 9(4), 2017, -С 392-400.
20. Байжарикова, М.А. Отчетонаучно-исследовательской работе по теме «Компьютерный контроль параметров, автоматизация управления метанового сбраживания органических отходов в биореакторах» (заключительный)[Текст] / [Байжарикова М.А., Тлебаев М.Б., Тажиева Р.Н.и.др.]. МРНТИ 62.01.91,62.01.77. С.79.
21. Сидыганов, Ю.Н. Результаты математического моделирования процессов тепового перемешивания при анаэробном сбраживании органических отходов. [Текст]/Сидыганов Ю.Н, Онучин Е. М. Костромин.2011.№ 24.С.332-338.
22. Колосова, Н.В. Интенсификация процессов тепломассообмена в биогазовой установке дляувеличение выходагорючих газов: дис. канд. тех. наук: 05.23.03 [Текст] /Колосова Н. В. - Макеевка, 2019. - 117 с.
23. Тлебаев, М.Б.Функциональная схема для кавитационной деструкции и анаэробного сбраживания.[Текст]/Айтбаева З.К., Маматаева Д.У. Материалы V Международной научно-практической конференции «Наука и образование в современном мире: Вызовы XXI века». Нур-Султан - 2019г.С. 112 - 115.

24. Джунбаева, Г.Н. Математическое моделирование процесса кавитационной деструкции в устройстве обработки органического сырья. [Текст]/Джунбаева Г.Н., Айтбаева З.К., Ермекбаева 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. ТОМ4С.8-12.
25. Байжарикова, М.А. «Способ переработки органических отходов» [Текст]/[Байжарикова М.А., Тлебаев М.Б., Тажиева Р.Н.и. др.]. Патент №103153.-Казахстан. 2016.
26. Байжарикова, М.А. Расчет скорости выхода метана технологического процесса метанового сбраживания органического субстрата. [Текст] /[Байжарикова М.А., Доумчариева Ж.Е., Нуржигитова Ж.Н. и.др.]. Молодой ученый, Международный научный журнал, №4.1(138.1)/2017.
27. Трахунова, И.А. Повышение эффективности анаэробной переработки органических отходов в метантенке с гидравлическим перемешиванием на основе численного эксперимента: дис. канд. техн. наук:05.20.01 [Текст]/Трахунова И.А. Казань, 2014. –115 с.
28. Байжарикова, М.А. Разработка технологической схемы процесса образования метана в трехступенчатой биогазовой установке.[Текст]/[Байжарикова М.А., Ардашер А.Н., Тлебаев М.Б. и. др.]. Материалы VII Международной научно-технической конференции студентов, магистрантов и молодыхученых. 8-9 апреля 2021 г.Часть V. Усть-Каменогорск 2021 г. Стр. 32-35.
29. Кильчукова, О.Х.Совершенствование конструкций и режим работы биогазовой установки для малых сельскохозяйственных предприятий.[Текст]/Кильчукова О.Х. дисс.канд. техн. наук. Нальчик–2020-142 с.
30. Долинский, А.А. Энергоплантации: барьеры и компромиссы [Текст]/ ДолинскийА.А., БасокБ.И., Базеев Е.Т.Энергия из биомассы: VI

междунар. конф., 22-24сент. 2008г.тезисы докл.-К.,2008. http://www.biomass.kiev.ua/conf 2008.

31. Никитин, Д.П. Крупные животноводческие комплексы и окружающаясреда. [Текст]/ НикитинД.П. М.:Медицина,1980.
32. Панцхава, Е.С. Биомасса как дополнительный источник топлива. Получение биогаза. [Текст]/ ПанцхаваЕ.С., Березин И.В. Биотехнология.- 1986.- №2. С.1-12.
33. Диас, Д. Остатки и отходы. [Текст]/ ДиасД., ГолуекК.в кн. Биомассакак источник энергии М.:Мир,1985.
34. Гладиков, И.А. Экспериментальное исследование влияния размеров частиц субстрата на глубину разложения органического вещества отходов КРС. [Текст]/Гладиков И.А., Арбузова Е.В., Щеклеин С.Е. УрФУ.
35. Соколов, М.С. Увеличение выхода биогаза с помощью кавитационных деструкторов биомассы. [Текст]/Соколов М.С. Режим доступа: http://zorgbiogas.ru/bibliotcka/kavitatory-bustery-biogaza (дата обращения: 12.11.2013).
36. Ковалев, В.В.Пат.МД№3062. Анаэробный метантенке для обезвреживания труднодеградируемых органических соединений. [Текст]/[Ковалев В.В., Ковалева О.В., Унгуряну Д.В.и. др.]. Опубл. BOPI, №5, 2006.
37. Айтбаева, З.К. Автоматизация и управление кавитационной деструкцией отходов животноводства для интенсификации анаэробного сбраживания. [Текст]/Айтбаева З.К. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук, Бишкек, 2021г. 150 с.
38. Ruth Suehle. Raspberry Pi Hacks: The book [Текст] / Ruth Suehle, Tom Callaway. - O’Reilly Media. Inc., 2013. - 367 p.
39. Арсенкин, А.М. Гидромеханическое диспергирование [Текст] / [Арсенкин А.М., Быкова Ю.С., Горшенков М.В. и.др.]. - М.: Наука, 1998. – 331 с.

40. Baizharikova, M.A. Investigation of The Influence of High Frequency Electromagnetic Fields On Sorption Processes. [Текст] / [Baizharikova M.A., Galimbekov A.D., Kadyrov M.A.и. др.].Latvian Journal of Physics and Technical Sciences, 2019, 56(1), 53-59.
41. Biogas manual. From receipt to use, 2010. Retrieved from: https://mediathek.fnr.de/media/downloadable/files/samples/h/a/handreichungbiogasru 2012.pdf.
42. Семененко, И.В. Оборудование и процессы метанового сбраживания органических отходов: монография [Текст] / Семененко И.В., ЗинченкоМ.Г. Х.: НТУ «ХПИ», 2012. – 272 с.
43. Бурга Геммеке. Биогаз на основе возобновляемого сырья. Сравнительный анализ шестидесяти одной установки по производству биогаза в [Текст] /БургаГеммеке, КристаРигер, Петер Вайланд. Германии GFA, 2010 – 116с.
44. Тихонов, В.С. Ресурсосберегающие технологии производства альтернативных видов топлива в животноводстве: [Текст] / Тихоннравов В.С.научно-аналитический обзор. - М.: ФГРНУ «Росинформагротех», 2011-52 с.
45. Стребков, Д.С. Биогазовые установки для обработки отходов животноводства. [Текст] /Стребков Д.С., Ковалев А. А.Техника и оборудование для села – 2006. - №11. – С.28-30.
46. Форстер, К. Ф. Экологическая биотехнология. [Текст]/ ФорстерК. Ф., Дж. Вейза, Гинака А. И. пер. с англ. под ред. – Л.: Химия, 1990. – 384 с.
47. Чеботарева, О.В. Температурный режим сбраживаемой массы при загрузке в метантенк свежей порции отходов. [Текст] / Чеботарева О.В., Сербин В.А., Колосова Н.В. Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури, випуск 2013*5(103) стр 26-29.
48. Суслов, Д.Ю. Экспериментальные исследования процесса получения биогаза в барботажных биореакторах. [Текст] / Суслов Д.Ю. Научно-методический электронный журнал «Концепт». - 2013. - Т. 3. - С. 1471-1475.

49. Миндубаев, А.З. Метаногенез: Биохимия, Технология, Применение. [Текст] / [МиндубаевА.З., БелостоцкийД.Е., Минзанова С.Т. и др.]. Учен. зап. КГУ, Серестест. н. - 2010. - Т. 152. - Кн. 2. - с. 178-191.
50. Калюжный, С.В. Биогаз: проблемы и решения. [Текст] / КалюжныйС.В., ПузанковА.Г., Варфаламеев С.Д. Биотехнология (Итоги науки и техники ВИНТИ АН СССР). - М., 1988. - № 21. - с. 1 - 189.
51. Ковалев, А.А. Оптимизация кратности загрузки субстрата в анаэробном биореакторе. [Текст] /Ковалев А.А., Ковалев Д.А. Вестник ВНИИМЖ №1(33) - 2019. - С.96-99.
52. Ковалев, А.А. Методика расчета доз загрузки метантенка при анаэробной переработке твердого навоза. [Текст] / КовалевА.А., Марсагишвили Г.П. НТБ ВИЭСХ1988. - С. 60-67.
53. Сатьянов, С.В. Источники получения биогаза. [Текст] / Сатьянов С.В., Захарченко А.Н. Сельский механизатор. №2, 2011. – с. 30-31.
54. Вачагина, Е.К. Математическая модель теплообмена в системе поддержания температурного режима в реакторе метанового брожения. [Текст] / [ВачагинаЕ.К., ХалитоваГ.Р. КараеваЮ.В. и.др.]. Вестник Казанского технологического университета. - 2012. - №19. - С. 33 - 36.
55. Кудряшова, А.Г. Обоснование и разработка средств повышения энерго эффективности работы трехстадийного метантенка: [Текст] / Кудряшова А.Г. Автореф. дисс. канд. тех. наук. Ижевск, 2011. С.20.
56. Кильчукова, О.Х. Энергетическое обоснование проектирования биогазовой установки [Текст]/ КильчуковаО.Х., КеримоваЛ.Р. Сб. научных статей по материалам XII Междунар. НПК в рамках XVIII Междунар. агропромышленной выставки «Агроуниверсал - 2016», «Актуальные проблемы научно-технического прогрессав АПК». Ставрополь: Агрус,2016. – С.267–273.
57. Зубко, Б.И. Особенности технологии переработки и обеззараживания жидкого навоза в процессе анаэробно-метанового брожения. [Текст]/

ЗубкоБ.И., НовосельскаяА.П., Драч Ю.А. Биологическая переработка отходов: междунар. конф. тезисы докл. – К.: 1983. – С. 91–94.

58. Чернышов, А.А. Совершенствование биогазовых установок для производства удобрений из навоза КРС: дис. канд. техн. наук. [Текст]/ ЧернышовА.А. All-Россия. Научно-исследовательский институт электрификации сельского хозяйства. -М., 2004. - 118 с.
59. Ратушняк, Г.С. Интенсификацiя бiоконверсiї коливальним перемшуванням субстрату: [Текст]/Ратушняк Г.С., Джеджула В.В. Монографiя.-Вiнниця: УНВЕРСУМ-Вiнниця, 2008. - 117 с.
60. Сидыганов, Ю.Н. Анаэробная переработка отходов для получения биогаза. [Текст]/СидыгановЮ.Н., ШамшуровД.Н., КостроминД.В. Механизация и электрификация сельского хозяйства. - 2008. - ЛЬ 6. -С. 42-43. (0,34 п.л./0,2 пл.).
61. Друзьянова, В.П. Ресурсосберегающая технология утилизации бесподстилочногонавоза в условиях Республики Саха (Якутия). [Текст]/ Друзьянова В.П. Аграрный вестник Урала. - 2008. - № 1 (43). - С. 63-64.
62. Иванов, В.А. Математическое моделирование кавитации в процессе окорки лесоматериалов в водной среде. [Текст]/Иванов В.А., Гаспарян Г.Р. Системы. Методы. Технологии. Математическое моделирование. - Россия, - Братск, - 2013. - С.171-178.
63. Тлебаев, М.Б. «Исследование процесса подготовки водоорганических веществ методом кавитации в ротационном реакторе для анаэробного брожения в метатенке». [Текст]/Тлебаев М.Б., Айтбаева З.К. Новининанаучнияпрогресс – 2015. Том 6.- София. 2015. С. 25-29.
64. Серго, Е.Е. Дробление, измельчение и грохочение полезных ископаемых. [Текст]/Серго Е.Е. М.: Недра, 1985. – 285 с.
65. Жумагажинова, А.Т. Способы интенсификации процессов анаэробного сбраживания. [Текст]/Жумагажинова А.Т., Алгазинова Н.К. Вестник Инновационного Евразийского университета. 2014. №1 ISSN 1729-536X.

66. Мещерякова, И.В. Разработка и исследование многоступенчатого гидроударно-кавитационного устройства для мелкодисперсного измельчения труднообогатимых руд. [Текст]/Мещерякова И.В. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. —Красноярск, 2014. —23с.
67. Baizharikova, M.A. Republic of Kazakhstan and Kyrgyz Republic criaçãodomo delomatemático decomputadordo processo biotecno-lógico do processament odematéri asprimascreation of a computer-assisted mathematical model for the raw materials biologicalprocessingl LINE. [Текст]/ [Baizharikova M.A.; TlebayevM. B.; BiibosunovB.I.и.др.]. Página - 640. 57Artigo / Article 58-PeriódicoTchêQuímica. ISSN 2179-0302. (2020); vol. 17.
68. Друзьянова, В.П. Математическое моделирование скорости всплытия газового пузырька в метантенке биогазовой установки [Текст] / Друзьянова В.П., Дарбасова Л.А. Климат, экология, сельское хозяйство Евразии: сб. науч. тр. IV-ойМеждунар. науч.-практ. конф., посвящ. 70-летию Победы в Великой Отечествен. войне и 100-летию со дня рожд. А. А. Ежевского, 27-29мая 2015 г.: в 2 ч. - Иркутск, 2015 – Ч. 1. – С. 152 – 155.
69. Chen, R.Ch. The state of art review on the application of anaerobic di-gestion [Текст] / Chen Ru Chen. Conservation Recycling. – 1984. – Vol. 7, № 2-4. – P. 191-198.
70. Colleran, E. Gnubal Anaerobic Sludge [Текст] / ColleranE.G Lettinge et al. (eds), 1988 Pudos, Wageningen (the Netherlands).
71. Comerfold, J. M. Free – convective mixing within an anaerobic digester [Текст] / Comerfold J. M., Picken D. J. Biomass. - 1985. – Vol. 6 – P. 235 - 245. 013_1.pdf. – 29.06.2015.
72. Соуфер, С. Биомасса как источник энергии [Текст] / Соуфер С., ЗабарскиО. Москва: Мир, 1985. – 375 с.

73. Mali, J. Influence of temperature on anaerobic digestion [Текст] / Mali J., Fadrus H. Control Fed J. Water ollut. – 1971. - № 43. - 641 p.
74. Ostergaard, N. Influence of monensine on biogas production from cow manure [Текст] / Ostergaard N. Bioenergy 84. – London, 1985. – Vol. 3. Biomass cjnversion / Ed. By H. Ellegard. – P. 427-430.
75. Hashimoto, A. G. Effect of mixing duration and vacuum on methan production rate from beef cattle waste [Текст] / Hashimoto A. G. Biotechol. Bioeng. – 1982. – Vol. 24. – P. 9-23.
76. Ковалев, А.А. Использование отходов животноводства для получения биогаза. [Текст] / КовалевА. А., Гриднев П. И. Научные труды ВИЭСХ,1985. - Т. 64. - С. 107-114.
77. Гриднев, П.И. Исследование процесса и обоснование параметров технологического оборудования для переработки навоза крупного рогатогоскота в анаэробных условиях [Текст]/Гриднев П. И.дис. канд. техн. наук: 05.20.01. Москва, ВИЭСХ, 1982. - 168 с.
78. Васильев, Ф.А. Технология анаэробной переработки навоза крупного рогатого скота в накопительном режиме [Текст]/ ВасильевФ. А. Автореф. дис. канд. техн. наук: 05.20.01– Улан-Удэ, 2011. – 23 с.
79. Сатьянов, С. В. Повышение эффективности биоустановок путем получения альтернативной энергии и биоудобрений [Текст]/Сатьянов С. В. дис. канд. техн. наук. - Москва, 2011. – 158 с.
80. Друзьянова, В.П. Способ интенсификации процесса приготовления органических удобрений из отходов животноводства и дерево обработки [Текст]/ ДрузьяноваВ.П., СергеевЮ.А., ПетуновС.В. Инженерное обеспечение и технический сервис в АПК. – 2011. –[ISSN: 1811-0134]. – С. 79-85.
81. Наумова, О.В. Совершенствование электроимпульсной технологии при получении биогаза из органических отходов. [Текст]/ Наумова О. В. Дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук: 05.20.02: Саратов, 2005 126 с. РГБ ОД;

82. Вохмин, В.С. Разработка энергосберегающей электротехнологии сбраживания навоза с использованием индукционного нагрева. [Текст]/ Вохмин В.С. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук, Ижевск, 2012г. 121 с.
83. Андрюхин, Т.Я. Рециркуляционное анаэробное сбраживание отходов сельского хозяйства с выработкой биогаза [Текст]/ Андрюхин Т.Я. Биотехнология. – 1989г. С. 134-137.
84. Сербин, В.А. Особенности теплообмена в метантенке при сбраживании неперемешиваемой биомассы [Текст] / СербинВ.А., ЧеботареваО.В., Колосова Н. В. Вісник Донбаської нац. академії будівництва і архітектури: зб. наук. праць / М*во освіти і науки, молоді і спорту України, ДонНАБА. – Макіївка, 2012. – Вип. 2012*2(94): Інженерні системи та техногенна безпека. – С. 42–48. – ISSN 1814*3296.
85. Барбара, Эдер. Биогазовые установки. Практическое пособие Зорг Биогаз. [Текст] / Барбара Эдер, Хайнц Шульц. 2011.
86. Ружинская, Л.И. Математическое моделирование процесссов анаэробного сбраживания органического субстрата. [Текст] / Ружинская Л.И., Фоменкова А.А. Обзор. Технічні науки Scientific Journal «ScienceRise» №4/2(4)2014.
87. Орлова, Ю.А.Моделирование эффективности биогазовых установок. [Текст] / Орлова Ю.А.Техносферная Безопасность № 2, Ростов на-Дону,2010, с.36-37.
88. Аганин, А.А. Моделирование взаимодействия газовых пузырьков в жидкости с учётом их малой несферичности. [Текст] / Аганин А.А., Давлетшин А.И. Математическое моделирование. 2009. Том. 21, № 6. С. 89–102.
89. Красовский, Г.И. Планирование эксперимента. [Текст] / КрасовскийГ.И., ФиларетовГ.Ф. - М. Изд-во БГУ, 1982. - 302с.
90. Юдин, М.И. Планирование эксперимента и обработка его результатов. [Текст] / Юдин М. И. Краснодар: КГАУ. -2004. — 239 с.

91. Кафаров, В. В. Принципы создания безотходных химических производств. [Текст] / КафаровВ. В. М.: Химия, 1982.
92. Иванов, А. Математическое моделирование кавитации в процессе окорки лесоматериалов в водной среде. [Текст] /Иванов А., ГаспарянГ.Р. Системы. Методы. Технологии. Математическое моделирование. – Россия, Братск, 2013. С.171-178.
93. Ярмаркина, Д.А. Разработка технологии посола деликатесных изделий с использованием гидродинамической кавитации. [Текст] /ЯрмаркинаД.А. Челябинск, 2016г. с.70-89.
94. Кафаров, В.В. Методы кибернетики в химии и химической технологии. Серия: химическая кибернетика. [Текст] /Кафаров В. В. Химия. 1971 г. 496 с.;
95. Golubtsova, J. Journal of Pharmaceutical Sciences and Research, [Текст] /Golubtsova J. 2017, 9(7), 1091-1098.
96. Iskakov, R.M. [Текст] /[Iskakov R.M., Iskakova A.M., Issenov S.и.др.].Journal of Pure and Applied Microbiology, 2019, 13(1), 307-312.
97. Hashimoto, A.G. Theoretical aspects of methaneproduction: state of the art. Proceedings of 4th International Symposium on Livestock Wastes. [Текст] /Hashimoto A.G, Varel V. H, Chen YR. A Renewable Resource, ASAE, St. Joseph, MI, 1981. p. 86–91.
98. Ivanov, V.A. Systems. Methods Technology. Mathematical Modeling.[Текст] /Ivanov V.A., Gasparyan G.R. 2013, 3(19), 171-178.
99. Karshigina, Z.B. News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. [Текст] / [Karshigina Z.B., Bochevskaya E.G., Abisheva Z.S. и.др.]. Series of Geology and Technical Sciences, 2019, 4(436), 172-180.
100. Kudrin, M.R. Journal of Ecological Engineering. [Текст] /[Kudrin M.R., Krasnova O.A., Koshchaev A.G. и.др.]. 2019, *20*(11), 58-66.
101. Hashimoto, A.G. Methane from swine manure: effect of temperature and influence substrate concentration on kinetic parameters (K). [Текст] /Hashimoto A.G. Agric Wastes 1984; 9:299–308.

102. Kulbjakina, A.V. Journal of Physics: Conference Series, [Текст] /Kulbjakina A.V., Dolotovskij I.V. 2018, 944(1), article number 012068.

103. Kusuma, I.M. E3S Web of Conferences, [Текст] /Kusuma I.M., Syafrudin YuliantoB. 2019, 125, 07004.

104. Meshcheryakov, I.V. Development and research of a multistage hydropercussion-cavitation device for fine grinding of hard-to-concentrate ores. [Текст] /Meshcheryakov I.V. Krasnoyarsk: Siberian State Industrial University, 2014.

105. Popov, V.P.[Текст] /[Popov V.P., Dudorov V.E., Sidorenko G.A. и.др.].*IOP*ConferenceSeries: MaterialsScienceandEngineering, **2019**, 560(1), articlenumber 012199.

106. Методические рекомендации по технологическому проектированию систем удаления и подготовки к использованию навоза и помета. РД-АПК 1.10.15.02-08. Министерство Сельского хозяйства РФ, Москва, 2008г.

107. Суслов, Д.Ю. Современные конструкции биореакторов для получения биогаза.[Текст] / СусловД.Ю., Шатерников Р.А. Строительный комплекс России. Наука. Образование. Практика: материалы международной практической конференции. – Улан-Удэ: Изд-во ВСГУТУ, 2012. – С.116-117.

108. Байжарикова, М.А. Разработка программного обеспечения абсорбционно адсорбционной очистки биогаза. [Текст] /[Байжарикова М.А., Тлебаев М.Б., Маматаева Д.У. и.др.]. Республиканский научно-теоритический журнал Известия вузов Кыргызстана №5, 2017г. Стр 51-55.

109. Байжарикова, М.А., Тлебаев М.Б., Исаев С.М, Дуйсебаева К., Способ эффективного процесса метаногенеза экскрементов крс в биогазовом комплексе.[Текст] /[Байжарикова М.А., Тлебаев М.Б., Исаев С.М. и.др.]. НАУКА СЕГОДНЯ РЕАЛЬНОСТЬ И ПЕРСПЕКТИВЫ. Часть 1. материалы международной научно-практической конференции,

г. Вологда, 28 февраля 2018 г.: в 2 частях. Часть 1. – Вологда: ООО «Маркер», 2018. – 128 с.

110. Сидыганов, Ю.Н. Математическое моделирование процессов функционирования каталитического подогревателя при обогреве биореактора анаэробного сбраживания органических отходов. [Текст] /[СидыгановЮ. Н., ОнучинЕ. М., КостроминД.В.и.др.]. Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2011. - №25. – С. 231-237.

111. Орлова, Ю.А. Использование биогазовых установок для получения различных видов энергии. [Текст] /Орлова Ю.А. Сборник трудов Международнойнаучно- практической конференции «Производство. Технология.Экология. ПРОТЭК», М.: СТАНКИН, 2006,с.29-32.

112. Касаткин, А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. [Текст] /Касаткин А.Г. М.: «Химия», 1971. –784 с.

113. Кущев, Л.А., СусловД.Ю., АлифоноваА.И., НикулинН.Ю. Математическое моделирование процесса получения биогаза при переработке органических отходов. [Текст] /[КущевЛ.А., СусловД.Ю., АлифоноваА.И.и.др.]. Энерго и ресурсосбережение. Переработка отходов. Белгород, 2011, - 177с.

114. Касаткин, А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. [Текст] /Касаткин А.Г. М.: «Химия», 1971. –784 с.

115. Денисенко, В.В. ПИД-регуляторы: принципы построения и модификации. [Текст] /Денисенко В.В. Современные технологии автоматизации. – 2006. – № 4. –С.66-74.

116. Дрянев, А.А. Компьютеризация сельскохозяйственного производства. [Текст] /Дрянев А.А., Овцинов В.И. Вестник Алтайского государственного аграрного университета , 2003, N2, с.74-76

117. Изготовитель полупроводниковых электронных компонентов [Электронный ресурс]. – режим доступа: http://www.atmel.com/images/doc2535.pdf (Дата обращения 10.02.2016 г.)

118. Производитель аналоговых и цифро-аналоговых интегральных систем [Электронный ресурс]. – режим доступа: https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS18B20.pdf (Дата обращения 10.02.2016 г.)

119. Белоусов, А.В. Перспективы применения современных статистических и детерминированных методов прогнозирования в системах мониторинга энергопотребления. [Текст] /Белоусов А.В., Кошлич Ю.А., Быстров А.Б. Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2012. № 4. С. 192-196.

120. Петров, И.В. Программируемые контроллеры. Стандартные языки и инструменты. [Текст] /Петров И.В. Под ред. проф. В.П.Дьяконова. – М.: СОЛОН Пресс, 2003. - 256 с.

121. Лубенцов, В.Ф. Системы автоматического управления процессами ферментации: монография. [Текст] / ЛубенцовВ.Ф. – Сев. -Кав.гос. техн. ун-т. Ставрополь:СевКавГТУ,2005. –200с.

122. Деменков, Н.П. Языки программирования промышленных контроллеров. Учебное пособие.[Текст] /Деменков Н.П.Под редакцией К.А. Пупкова. -М.: Издво МГТУим.Н.Э.Баумана, 2004 г. 172 стр.

123. Зубов, Д.В. Автоматизированное управление системой непрерывной стерилизации питательной среды в биотехнологическом производстве. [Текст] / ЗубовД.В., КокоткоМ.А., Крамм Э.А. Автоматизация в промышленности. – 2010. – №11.–С.3-6.

124. Байжарикова, М.А.Система управление температурным режимом, перемешиванием и подачей субстрата биогазовом комплексе. [Текст]/[Байжарикова М.А., Тлебаев М. Б., Дуйсебаева К., и.др.]. Наука сегодня реальность и перспективы. Материалы международной научно-практической конференции 28 февраля 2018 г. - Часть 1. – С.28 – 31.

125. Айтбаева, З.К. «ЖАС ГАЛЫМ-2019» Разработка алгоритма построения мнемосхемы и программирования устройства измельчения,

гомогонизации и деспергации навоза КРС. [Текст]/ АйтбаеваЗ.К. — Тараз. 2019. 34 -36 с.

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

127. Пьявченко, Т.А. Управление технологическими процессами на основе Scada. [Текст]/ Пьявченко Т.А. Научный журнал КубГАУ, №128(04), 2017 года, с.2-22

128. Байжарикова, М.А. Моделирование работы биогазовой установки в интегрированной среде TraceMode. [Текст]/[Байжарикова М.А., Тлебаев М.Б., Исаев С.М. и. др.] Республиканский научно-теоритический журнал Известия вузов Кыргызстана №5, 2017г. Стр 56-60.

129. Айтбаева, З.К. Применение системы программирование контроллеров TRACEMODESOFTLOGIC в визуализации операторского интерфейса. [Текст]/АйтбаеваЗ.К., БостанА.М. Природопользование и проблемы антропосферы. Вестник ТарГУ им. М.Х.Дулати №4.- Тараз. 2018. С. 88-98.

130. Айтбаева, З.К. «Создание приложений с помощью языков программирования стандарта ЕСМЭК 6-1131.3» [Текст]/АйтбаеваЗ.К, ЮдинА.В. Природопользование и проблемы антропосферы. Вестник ТарГУ им. М.Х. Дулати №4.- Тараз. 2018. С. 99-106.

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

132. Дибиров, Я.А. Упрощенный и достоверный метод определения концентрации метана и диоксида углерода в биогазе. [Текст]/Дибиров Я.А., Дибиров К.Я. 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

133. Фиапшев, А.Г. Энергетическая оценка биогазовой установки БГУ-М. [Текст] / ФиапшевА.Г., Кильчукова О.Х. Известия «Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование».–Волгоград. 2015.№3 (39).С.193–198.

134. Байжарикова, М.А. Использование современных методов информационных технологий при мониторинге надежности объектов. [Текст]/[Байжарикова М.А., Тлебаев М.Б., Сейтниязова К. и.др.]. НАУКА СЕГОДНЯ ПРОБЛЕМЫ И ПУТИ РЕШЕНИЯ. Материалы международной научно-практической конференции. 28 марта 2018г. Вологда. Стр 82-84

135. Байжарикова, М.А., Тлебаев М.Б., Болатбек У.Б., Бейшен Е.М., Основы создания информационного пространства для размещения и хранения научно-технических разработок ученых. [Текст]/[Байжарикова М.А., Тлебаев М.Б. ,Болатбек У.Б. и. др.]. Молодой учёный. Международный научный журнал № 4.1 (138.1) / 2017г. СПЕЦВЫПУСК БЕКБОЕВСКИЕ ЧТЕНИЯ – 2.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

Листинг программырасчета выхода биогаза из реактора

```
procedure TForm1.suitempButton2Click(Sender: TObject);
var plot,us,svb,vb,pvb,konc,vrbr,kinet,v:real;
   Gsuh,Wb,Om,svb2,vb2:real;
  v:=StrToFloat(Edit11.Text);
  pvb:=StrToFloat(Edit12.Text);
  Gsuh:=StrToFloat(suiEdit1.Text)*0.34;
  plot:=1000+2.4*(100-StrToInt(Edit13.Text));
  Edit14.Text:=FloatToStrF(plot,ffFixed,5,0);
  Wb:=StrToFloat(suiEdit1.Text)/plot;
  konc:=Gsuh*0.02/Wb;
  Edit16.Text:=FloatToStrF(konc,ffFixed,5,4);
  vrbr:=StrToFloat(Edit17.Text);
  kinet:=StrToFloat(Edit15.Text);
  us:=0.013*StrToInt(Edit23.Text)-0.129;
  Edit18.Text:=FloatToStrF(us,ffFixed,5,4);
  svb:=((pvb*konc*1.2)/vrbr)*(1-(kinet/(us*vrbr-1+kinet)));
  Edit19.Text:=FloatToStrF(svb,ffFixed,6,3);
  vb:=svb*v;
  Edit20.Text:=FloatToStrF(vb,ffFixed,5,3);
  Om:=vb*70/100;
  suiEdit2.Text:=FloatToStrF(Om,ffFixed,5,3);
  svb2:=((pvb*konc)/vrbr)*(1-(kinet/(us*vrbr-1+kinet)));
  Edit24.Text:=FloatToStrF(svb2,ffFixed,6,3);
  vb2:=svb2*v;
  Edit25.Text:=FloatToStrF(vb2,ffFixed,5,3);
end;
```

Приложение 2.

П 1.3.6.1. Листинг программы контроля и управления измельчением твердых частиц в сбраживаемом субстрате

```
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
```

П 2.3.6.2. Листинг подпрограммы контроля за температурными режимами сбраживаемого субстрата в биореакторах

```
PROGRAM
    VAR_INOUT temp1 : REAL; END_VAR
    VAR_INOUT temp2 : REAL; END_VAR
    VAR_INOUT temp3 : REAL; END_VAR
    VAR_INOUT temp1a : REAL; END_VAR
    VAR_INOUT temp2a : REAL; END_VAR
    VAR_INOUT temp3a : REAL; END_VAR
    VAR_INOUT ur1 : REAL; END_VAR
    VAR_INOUT ur2 : REAL; END_VAR
    VAR_INOUT ur3 : REAL; END_VAR
    VAR_INOUT nasosCO2 : REAL; END_VAR
    VAR_INOUT nasosbio2 : REAL; END_VAR
    VAR_INOUT nasosbio3 : REAL; END_VAR

    if (ur1>0) and (temp1<23) then
    temp1=temp1+2;
    temp1a=1;
    end_if;
    if (ur2>0) and (temp2<37) then
    temp2=temp2+2;
    temp2a=1;
    end_if;
    if (ur3>0) and (temp3<52) then
    temp3=temp3+2;
    temp3a=1;
    end_if;
        if ur1>0 then nasosCO2=1;
        end_if;
        if ur2>0 then nasosbio2=1;
        end_if;
        if ur3>0 then nasosbio3=1;
        end_if;

END_PROGRAM
```

temp1	IN/OUT	REAL		4 ступени биореактор:temp1 (Система.RTM_1)
temp2	IN/OUT	REAL		4 ступени биореактор:temp2 (Система.RTM_1)
temp3	IN/OUT	REAL		4 ступени биореактор:temp3 (Система.RTM_1)
temp1a	IN/OUT	REAL		4 ступени биореактор:temp1a (Система.RTM_1)
temp2a	IN/OUT	REAL		4 ступени биореактор:temp2a (Система.RTM_1)
temp3a	IN/OUT	REAL		4 ступени биореактор:temp3a (Система.RTM_1)
ur1	IN/OUT	REAL		4 ступени биореактор:ur1 (Система.RTM_1)
ur2	IN/OUT	REAL		4 ступени биореактор:ur2 (Система.RTM_1)
ur3	IN/OUT	REAL		4 ступени биореактор:ur3 (Система.RTM_1)
nasosCO2	IN/OUT	REAL		4 ступени биореактор:nasosCO2 (Система.RTM_1)
nasosbio2	IN/OUT	REAL		4 ступени биореактор:nasosbio2 (Система.RTM_1)
nasosbio3	IN/OUT	REAL		4 ступени биореактор:nasosbio3 (Система.RTM_1)

П3.3.6.3. Листинг подпрограммы контроля и управления заполнения биореакторов субстратом до заданного уровня

```
    VAR_INOUT ur2_max : REAL; END_VAR
    VAR_INOUT ur3_max : REAL; END_VAR
    VAR_INOUT vkl : REAL := 1; END_VAR
    VAR_INOUT meshp : REAL; END_VAR
    VAR_INOUT mesh1 : REAL; END_VAR
    VAR_INOUT mesh2 : REAL; END_VAR
    VAR_INOUT mesh3 : REAL; END_VAR
    VAR_INOUT nasosp : REAL; END_VAR
    VAR_INOUT nasos1 : REAL; END_VAR
    VAR_INOUT nasos2 : REAL; END_VAR
    VAR_INOUT nasos3 : REAL; END_VAR
    VAR_INOUT vb : REAL; END_VAR

    ur1_max=6600;
    ur2_max=5400;
    ur3_max=4800;
    hour=hour+1;
    day=hour/24;
    vkl=1;
if (vkl==1) and (ur1<=ur1_max) and (hour mod 8==0) then
ur1=ur1+200;
vb=vb+200;
nasosp=1;
end_if;
    if (ur1<=ur1_max) and (ur1>=6600) and (ur2<=ur2_max) and (vb>=0) then
    ur1=ur1-200;
    ur2=ur2+200;
    nasos1=1;
    end_if;
        if (ur2<=ur2_max) and (ur2>=5400) and (ur3<=ur3_max) then
        ur2=ur2-200;
        ur3=ur3+200;
        nasos2=1;
        end_if;
            if (ur3<=ur3_max) and (ur3>=4800) then
            ur3=ur3-200;
            nasos3=1;
            end_if;

END_PROGRAM
```

Активация Windows
Чтобы активировать Windows,
перейдите в раздел "Параметры".

П4.3.6.4. Листинг программы контроля и управления пуском и остановкой мешалки-нагревателя

```
PROGRAM
    VAR_INOUT hour : REAL; END_VAR
    VAR_INOUT ur1 : REAL; END_VAR
    VAR_INOUT ur2 : REAL; END_VAR
    VAR_INOUT ur3 : REAL; END_VAR
    VAR_INOUT mesh1 : REAL; END_VAR
    VAR_INOUT mesh2 : REAL; END_VAR
    VAR_INOUT mesh3 : REAL; END_VAR

    if (hour mod 8==0) and (ur1>0) then
    mesh1=1;
    else
    mesh1=0;
    end_if;
        if (hour mod 8==0) and (ur2>0) then
        mesh2=1;
        else
        mesh2=0;
        end_if;
            if (hour mod 8==0) and (ur3>0) then
            mesh3=1;
            else
            mesh3=0;
            end_if;

END_PROGRAM
```

hour	IN/OUT	REAL	4 ступени биореактор:hour (Система.RTM_1)
ur1	IN/OUT	REAL	4 ступени биореактор:ur1 (Система.RTM_1)
ur2	IN/OUT	REAL	4 ступени биореактор:ur2 (Система.RTM_1)
ur3	IN/OUT	REAL	4 ступени биореактор:ur3 (Система.RTM_1)
mesh1	IN/OUT	REAL	4 ступени биореактор:mesh1 (Система.RTM_1)
mesh2	IN/OUT	REAL	4 ступени биореактор:mesh2 (Система.RTM_1)
mesh3	IN/OUT	REAL	4 ступени биореактор:mesh3 (Система.RTM_1)

Приложение 3

Листинг программы расчета плотности биогаза и концентрацию

```
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
```

Приложение 4

Обеспечение системы контроля, автоматизации управления параметрами метанового сбраживания субстрата в трехступенчатой биогазовой установки

Программное обеспечение мониторинга подачи и выхода субстрата 1 ступени биореактора

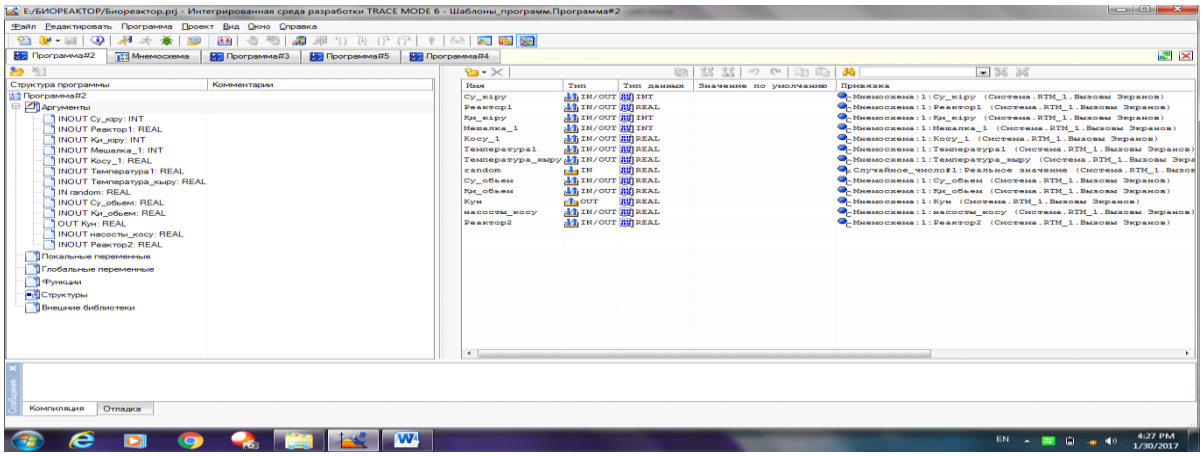


Рис. П 4.1 - Главное меню программного обеспечения мониторинга биореактора 1 ступени биогазовой установки

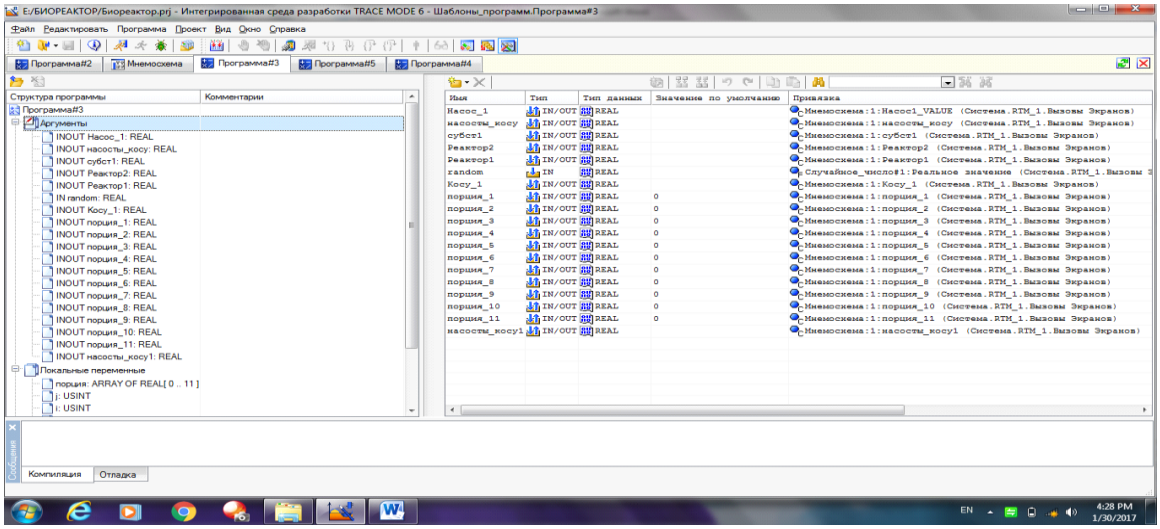
Листинг программы реактор 1

```
PROGRAM,
VAR_INOUTВода : INT; END_VAR
VAR_INOUTРеактор1 :REAL; END_VAR
VAR_INOUTНавоз :INT; END_VAR
VAR_INOUT Мешалка_1 : INT; END_VAR
VAR_INOUT Вкл_1 : REAL; END_VAR
VAR_INOUT Температура1 : REAL; END_VAR
VAR_INOUT Температура_вход : REAL; END_VAR
VAR_INPUT random : REAL; END_VAR
VAR_INOUT Вода_обьем : REAL; END_VAR
VAR_INOUT Навоз_обьем : REAL; END_VAR
VAR_OUTPUT День : REAL; END_VAR
VAR_INOUT насос_вкл : REAL; END_VAR
VAR_INOUT Реактор2 : REAL; END_VAR
IfВода==1 then
Вода_обьем=random/50;
else
Вода_обьем=0;
```

```
end_if;
ifНавоз==1 then
Навоз_обьем=random/50;
else
Навоз_обьем=0;
end_if;
ifВкл_1==1 then
Вода=1;
Навоз=1;
else
Вода=0;
Навоз=0;
end_if;
ifВода == 1 then
Реактор1 = Реактор1 + Вода_обьем;
end_if;
ifНавоз == 1 then
Реактор1 = Реактор1 + Навоз_обьем;
end_if;

if (День> 9000)and(День< 10200) then
Мешалка_1 = 1;
else
Мешалка_1 = 0;
end_if;
//if Реактор1 >= 143 then
//Реактор1 = 144;
//end_if;

END_PROGRAM
```

Приложение4.1.1

Программное обеспечение мониторинга подачи и выхода субстрата 2 ступени биореактора



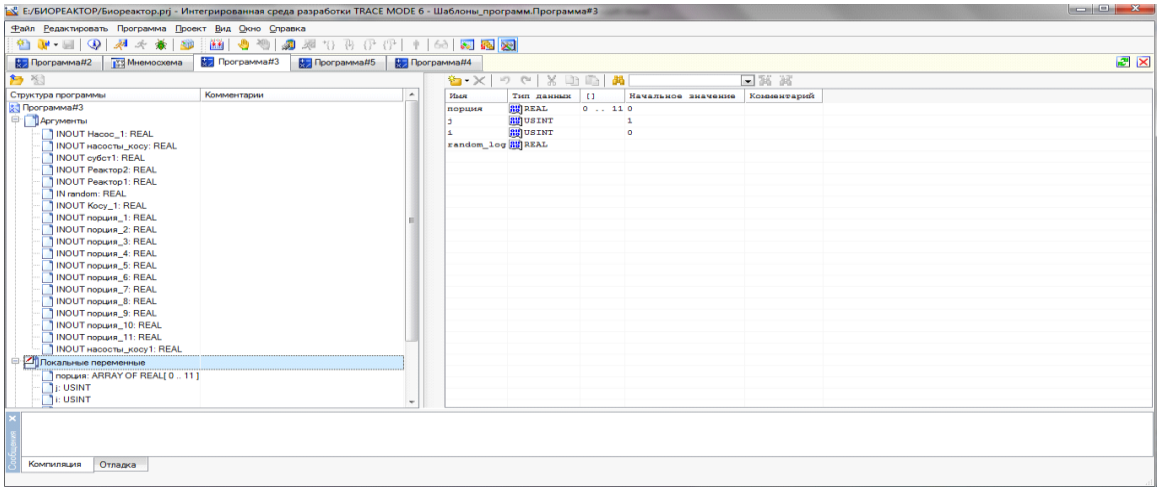


Рис. П 4.2 - Главное меню программного обеспечения мониторинга биореактора 2 ступени биогазовой установки

Листинг программы реактор 2

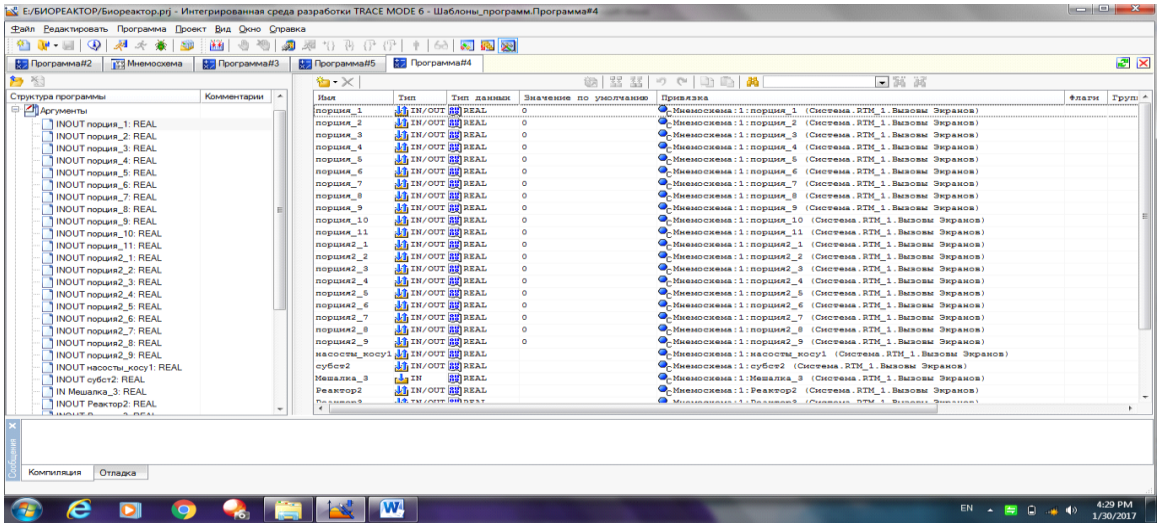
```
PROGRAM
VAR_INOUTНасос_1 : REAL; END_VAR
VAR_INOUTнасос_вкл :REAL; END_VAR
VAR_INOUTсубст1 :REAL; END_VAR
VAR_INOUT Реактор2 : REAL; END_VAR
VAR_INOUT Реактор1 : REAL; END_VAR
VAR_INPUT random : REAL; END_VAR
VAR_INOUT Вкл_1 : REAL; END_VAR
```

```
VAR_INOUT порция_1 : REAL := 0; END_VAR
VAR_INOUT порция_2 : REAL := 0; END_VAR
VAR_INOUT порция_3 : REAL := 0; END_VAR
VAR_INOUT порция_4 : REAL := 0; END_VAR
VAR_INOUT порция_5 : REAL := 0; END_VAR
VAR_INOUT порция_6 : REAL := 0; END_VAR
VAR_INOUT порция_7 : REAL := 0; END_VAR
VAR_INOUT порция_8 : REAL := 0; END_VAR
VAR_INOUT порция_9 : REAL := 0; END_VAR
VAR_INOUT порция_10 : REAL := 0; END_VAR
VAR_INOUT порция_11 : REAL := 0; END_VAR
VAR_INOUT насос_вкл1 : REAL; END_VAR
VAR порция : ARRAY OF REAL[ 0 .. 11 ] := 0; END_VAR
VAR j : USINT := 1; END_VAR
VAR i : USINT := 0; END_VAR
VAR random_log : REAL; END_VAR

If насос_вкл==1 then
Насос_1=1;
else
Насос_1=0;
end_if;

ifнасос_вкл==1 then
Субст1=1;
else
Субст1=0;
end_if;

//start for реактор 1
Ifнасос_вкл==1 then
random_log = random/50*5;
порция[1]=порция_1;
порция[2]=порция_2;
порция[3]=порция_3;
порция[4]=порция_4;
порция[5]=порция_5;
порция[6]=порция_6;
порция[7]=порция_7;
порция[8]=порция_8;
порция[9]=порция_9;
порция[10]=порция_10;
порция[11]=порция_11;
j=1;
```

```
Реактор2=0;
for     i = 1 to 11 do
ifпорция[i]>=144 then j=j+1; end_if;
Реактор2 = Реактор2 + порция[i];
end_for;
Реактор1=Реактор1-random_log;
порция[j] = порция[j]+random_log;

/*if порция[j]>=143 then
порция[j] = 144;
насос_вкл = 0;
end_if; */

порция_1=порция[1];
порция_2=порция[2];
порция_3=порция[3];
порция_4=порция[4];
порция_5=порция[5];
порция_6=порция[6];
порция_7=порция[7];
порция_8=порция[8];
порция_9=порция[9];
порция_10=порция[10];
порция_11=порция[11];
else
насос_вкл=0;
end_if;
//endforреактор 1

//if порция[11]==0 then
ifРеактор1<0  then
Вкл_1 = 1;
насос_вкл=0;
end_if;
//end_if;
//**1** end
ifРеактор1 > 144 then
Вкл_1 = 0;
Насос_вкл=1;
end_if;
end_if;
насос_вкл = 0;
*/
END_PROGRAM
```

Приложение 4.1.2

Программное обеспечение мониторинга подачи и выхода субстрата 3 ступени биореактора



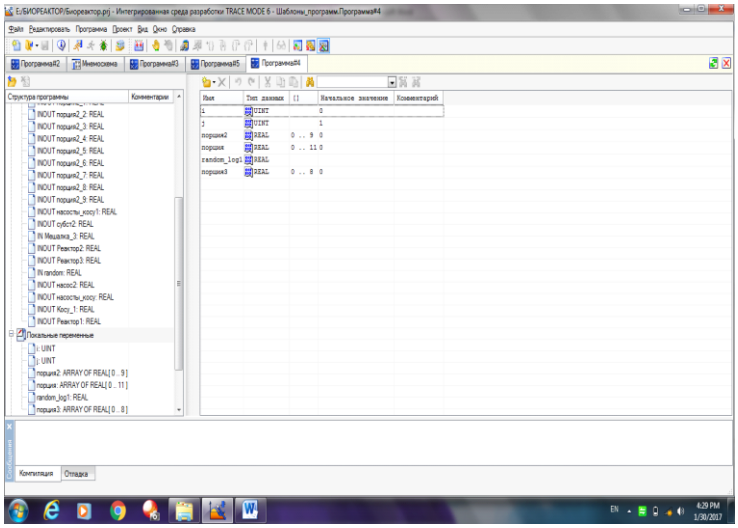


Рис. П 4.3 - Главное меню программного обеспечения мониторинга биореактора 3 ступени биогазовой установки

Листинг программы реактор 3

```
PROGRAM
VAR_INOUTпорция_1 : REAL := 0; END_VAR
VAR_INOUT порция_2 : REAL := 0; END_VAR
VAR_INOUT порция_3 : REAL := 0; END_VAR
VAR_INOUT порция_4 : REAL := 0; END_VAR
VAR_INOUT порция_5 : REAL := 0; END_VAR
```

```
VAR_INOUT порция_6 : REAL := 0; END_VAR
VAR_INOUT порция_7 : REAL := 0; END_VAR
VAR_INOUT порция_8 : REAL := 0; END_VAR
VAR_INOUT порция_9 : REAL := 0; END_VAR
VAR_INOUT порция_10 : REAL := 0; END_VAR
VAR_INOUT порция_11 : REAL := 0; END_VAR
VAR_INOUT порция2_1 : REAL := 0; END_VAR
VAR_INOUT порция2_2 : REAL := 0; END_VAR
VAR_INOUT порция2_3 : REAL := 0; END_VAR
VAR_INOUT порция2_4 : REAL := 0; END_VAR
VAR_INOUT порция2_5 : REAL := 0; END_VAR
VAR_INOUT порция2_6 : REAL := 0; END_VAR
VAR_INOUT порция2_7 : REAL := 0; END_VAR
VAR_INOUT порция2_8 : REAL := 0; END_VAR
VAR_INOUT порция2_9 : REAL := 0; END_VAR
VAR_INOUT насос_вкл1 : REAL; END_VAR
VAR_INOUT субст2 : REAL; END_VAR
VAR_INPUT Мешалка_3 : REAL; END_VAR
VAR_INOUT Реактор2 : REAL; END_VAR
VAR_INOUT Реактор3 : REAL; END_VAR
VAR_INPUT random : REAL; END_VAR
VAR_INOUT насос2 : REAL; END_VAR
VAR_INOUT насос_вкл : REAL; END_VAR
VAR_INOUT Вкл_1 : REAL; END_VAR
VAR_INOUT Реактор1 : REAL; END_VAR
VAR i : UINT := 0; END_VAR
VAR j : UINT := 1; END_VAR
VAR порция2 : ARRAY OF REAL[ 0 .. 9 ] := 0; END_VAR
VAR порция : ARRAY OF REAL[ 0 .. 11 ] := 0; END_VAR
VAR random_log1 : REAL; END_VAR
VAR порция3 : ARRAY OF REAL[ 0 .. 8 ] := 0; END_VAR


IfНасос_вкл1==1 then
Насос2=1;
Субст2=1;
else
Насос2=0;
Субст2=0;
end_if;

ifНасос_вкл1==1 then
ifРеактор2>144*11 then
random_log1 = random/50*5;
```

```
порция[1]=порция_1;
порция[2]=порция_2;
порция[3]=порция_3;
порция[4]=порция_4;
порция[5]=порция_5;
порция[6]=порция_6;
порция[7]=порция_7;
порция[8]=порция_8;
порция[9]=порция_9;
порция[10]=порция_10;
порция[11]=порция_11;

порция2[1]=порция2_1;
порция2[2]=порция2_2;
порция2[3]=порция2_3;
порция2[4]=порция2_4;
порция2[5]=порция2_5;
порция2[6]=порция2_6;
порция2[7]=порция2_7;
порция2[8]=порция2_8;
порция2[9]=порция2_9;

j=1;

Реактор3=0;

for     i = 1 to 9 do
ifпорция2[i]>=144 then j=j+1; end_if;
Реактор3 = Реактор3 + порция2[i];
end_for;
порция[11-j] = порция[11-j] - random_log1;
порция2[j] = порция2[j]+random_log1;

//if порция2[j]>=143 then
//порция2[j] = 144;
//насос_вкл1 = 0;
//end_if;

//j=0;
//if порция[j]<0 then j=j+1; end_if;
//порция[11-j] = порция[11-j] - ramdom_log1;

порция2_1=порция2[1];
```

```
порция2_2=порция2[2];
порция2_3=порция2[3];
порция2_4=порция2[4];
порция2_5=порция2[5];
порция2_6=порция2[6];
порция2_7=порция2[7];
порция2_8=порция2[8];
порция2_9=порция2[9];

порция_1=порция[1];
порция_2=порция[2];
порция_3=порция[3];
порция_4=порция[4];
порция_5=порция[5];
порция_6=порция[6];
порция_7=порция[7];
порция_8=порция[8];
порция_9=порция[9];
порция_10=порция[10];
порция_11=порция[11];
end_if;
end_if;

ifРеактор3>144*9 then
Вкл_1 = 1;
насос_вкл = 1;
насос_вкл1 = 0;
end_if;

if Реактор1>= 144 then
Вкл_1 = 0;
насос_вкл = 1;
end_if;

if (Вкл_1 == 1) then
Вкл_1 = 1;
насос_вкл = 0;
end_if;

ifРеактор2 >= 144*11 then
насос_вкл = 0;
насос_вкл1 = 1;
end_if;
```

```
ifРеактор3 >= 144*9 then
насос_вкл1 = 0;
end_if;


END_PROGRAM

PROGRAM
VAR_INOUT Вода : INT; END_VAR
VAR_INOUT Реактор1 : REAL; END_VAR
VAR_INOUT Навоз : INT; END_VAR
VAR_INOUT Вкл_1 : REAL; END_VAR
VAR_INOUT Температура1 : REAL; END_VAR
VAR_INOUT Температура_вход : REAL; END_VAR
VAR_INPUT random : REAL; END_VAR
VAR_INOUT Вода_обьем : REAL; END_VAR
VAR_INOUT Навоз_обьем : REAL; END_VAR
VAR_INOUT насос_вкл : REAL; END_VAR
VAR_INOUT Реактор2 : REAL; END_VAR

ifВода==1 then
Вода_обьем=1;
else
Вода_обьем=0;
end_if;

if Навоз==1 then
Навоз_обьем=1;
else
Навоз_обьем=0;
end_if;

ifВкл_1==1 then
Вода=1;
Навоз=1;
else
Вода=0;
Навоз=0;
end_if;

ifВода == 1 then
Реактор1 = Реактор1 + Вода_обьем;
end_if;
```

```
ifНавоз == 1 then
Реактор1 = Реактор1 + Навоз_обьем;
end_if;

END_PROGRAM

PROGRAM
VAR_INOUT Насос_1 : REAL; END_VAR
VAR_INOUT насос_вкл : REAL; END_VAR
VAR_INOUT субст1 : REAL; END_VAR
VAR_INOUT Реактор2 : REAL; END_VAR
VAR_INOUT Реактор1 : REAL; END_VAR
VAR_INPUT random : REAL; END_VAR
VAR_INOUT Вкл_1 : REAL; END_VAR
VAR_INOUT порция1 : REAL := 0; END_VAR
VAR_INOUT насос_вкл1 : REAL; END_VAR
VAR j : USINT := 1; END_VAR
VAR i : USINT := 0; END_VAR
VAR random_log : REAL; END_VAR


if насос_вкл==1 then
Насос_1=1;
else
Насос_1=0;
end_if;

ifнасос_вкл==1 then
Субст1=1;
else
Субст1=0;
end_if;

//start for реактор 1
if насос_вкл==1 then
random_log = 1;
Реактор2=0;
Реактор2 = Реактор2 + порция1;
Реактор1 = Реактор1 - random_log;
порция1 = порция1 + random_log;

else
насос_вкл=0;
end_if;
```

```
END_PROGRAM

PROGRAM
VAR_INOUT Вкл_1 : REAL; END_VAR
VAR_INOUT Реактор1 : REAL; END_VAR
VAR_INOUT насос_вкл : REAL; END_VAR
VAR_INOUT Реактор2 : REAL; END_VAR
VAR_INOUT насос_вкл1 : REAL; END_VAR
VAR_INOUT Реактор3 : REAL; END_VAR
VAR_INOUT Реактор4 : REAL; END_VAR
VAR_INOUT насос_вкл2 : REAL; END_VAR
VAR_INOUT порция3_9 : REAL; END_VAR
VAR_INOUT порция2_11 : REAL; END_VAR


if (Реактор4%144 == 0) and (насос_вкл2 == 1) then
Вкл_1 = 1;
насос_вкл = 0;
насос_вкл1 = 0;
Насос_вкл2 = 0;
end_if;

if (Реактор3%144 == 0) and (насос_вкл1 == 1) then
Вкл_1 = 1;
насос_вкл = 0;
насос_вкл1 = 0;
Насос_вкл2 = 0;
end_if;

ifРеактор3 >= 144*9 then
Вкл_1 = 0;
Насос_вкл=0;
Насос_вкл1=0;
Насос_вкл2=1;
end_if;

ifРеактор1 >= 144 then
Вкл_1 = 0;
Насос_вкл=1;
Насос_вкл1=0;
Насос_вкл2=0;
end_if;
```

```
ifРеактор1 < 0  then
Вкл_1 = 1;
насос_вкл=0;
Насос_вкл1=0;
Насос_вкл2=0;
end_if;

ifРеактор2 >= 144*11 then
Вкл_1 = 0;
насос_вкл = 0;
насос_вкл1 = 1;
Насос_вкл2 = 0;
end_if;

if (Реактор1 >= 144)and(Реактор2 >= 144*11) then
Вкл_1 = 0;
насос_вкл=0;
насос_вкл1 = 1;
Насос_вкл2 = 0;
end_if;

if  (Реактор1>=144)and
(Реактор2 >= 144*11)and
(Реактор3 >= 144*9)and
(Реактор4 >= 144*8) then

Вкл_1 = 0;
насос_вкл = 0;
насос_вкл1 = 0;
насос_вкл2 = 0;

end_if;

END_PROGRAM

PROGRAM
VAR_INOUT Реактор4 : REAL; END_VAR
VAR_INOUT порция4 : REAL; END_VAR
VAR_INOUT Реактор3 : REAL; END_VAR
VAR_INOUT порция3 : REAL; END_VAR
VAR_INOUT Реактор2 : REAL; END_VAR
VAR_INOUT порция2 : REAL; END_VAR
VAR_INOUT Вкл_1 : REAL; END_VAR
```

```
VAR_INOUT насос_вкл : REAL; END_VAR
VAR_INOUT насос_вкл1 : REAL; END_VAR
VAR_INOUT насос_вкл2 : REAL; END_VAR
VAR_INOUT Реактор1 : REAL; END_VAR
VAR s : REAL := 0; END_VAR

s=1;

if насос_вкл2 == 1 then
Реактор3 = Реактор3 - s;
порция3 = порция3 - s;
Реактор4 = Реактор4 + s;
порция4 = порция4 + s;
end_if;

ifнасос_вкл1 == 1 then
Реактор2 = Реактор2 - s;
порция2 = порция2 - s;
порция3 = порция3 + s;
Реактор3 = Реактор3 + s;
end_if;

if  (Реактор1>=144)and
(Реактор2 >= 144*11)and
(Реактор3 >= 144*9)and
(Реактор4 >= 144*8) then

Вкл_1 = 0;
насос_вкл = 0;
насос_вкл1 = 0;
насос_вкл2 = 0;

end_if;


END_PROGRAM
```

Приложение 4.1.3

Программное обеспечение мониторинга контроля мешалок биореакторов

Листинг программы биореакторов

```
PROGRAM
VAR_INOUTМешалка_1 : REAL; END_VAR
VAR_INOUT Мешалка_2 : REAL; END_VAR
VAR_INOUT Мешалка_3 : REAL; END_VAR
VAR_OUTPUT День : REAL; END_VAR
VAR_INOUT random : REAL; END_VAR


if (День> 9000)and(День< 10200) then
Мешалка_1 = 1;
Мешалка_2=1;
Мешалка_3=1;
else
Мешалка_1 = 0;
Мешалка_2=0;
Мешалка_3=0;
end_if;

if (Мешалка_1 == 1) and (Мешалка_2==1) and (Мешалка_3==1) then
Мешалка_1= (random/100)*9+24;
Мешалка_2=(random/100)*9+42;
Мешалка_3=(random/100)*9+51;

end_if;


END_PROGRAM
```

Приложение 4.1.4

Программное обеспечение мониторинга контроля температуры биореакторов

Листинг программы биореакторов

```
PROGRAM
VAR_INOUTТемпература1 : REAL; END_VAR
VAR_INOUT температура2 : REAL; END_VAR
VAR_INOUT Температура_3 : REAL; END_VAR
VAR_INOUT Температура3_1 : REAL; END_VAR
VAR_INOUT random1 : REAL; END_VAR
VAR_INOUT random2 : REAL; END_VAR
VAR_INOUT random3 : REAL; END_VAR
VAR_INOUT random4 : REAL; END_VAR
VAR_INOUT ARG_008 : REAL; END_VAR

Температура1=Температура1+random1;
Температура2=Температура2+random2;
Температура_3=Температура_3+random3;
Температура3_1=Температура3_1+random4;


if Температура1>=15 then
Температура1=(random1/100)*6+10;
end_if;


ifТемпература2>=25 then
Температура2=(random1/100)*8+18;
end_if ;

ifТемпература_3>=40 then
Температура_3=(random1/100)*16+25;
end_if;

ifТемпература3_1>=55 then
Температура3_1=(random1/100)*11+45;
end_if;
END_PROGRAM
```

Приложение 5

Патенты, свидетельство, акты внедрения и сертификаты научных конференций

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ӘДІЛЕТ МИНИСТРЛІГІ

№ 103151

АВТОРДЫҢ КУӘЛІГІ

Тажиева Рысты Нарбаевна (KZ)

және Тлебаев Манат Бейшенович (KZ); Доумчариева Жанагул Есеновна (KZ); Айтбаева Замира Кишкембаевна (KZ); Байжарикова Марина Аитмухановна (KZ)

пайдалы модельге авторы(лары) болып табылатындығы осымен куәландырылады

(11) 2943

(54) Органикалық қалдықтарды қайта өңдеу тәсілі

(73) *Патент иеленушісі:* Қазақстан Республикасы Білім және ғылым министрлігінің "М.Х.Дулати атындағы Тараз мемлекеттік университеті" шаруашылық жүргізу құқығындағы республикалық мемлекеттік кәсіпорны (KZ)

(21) 2016/0566.2
(22) 21.10.2016

Қазақстан Республикасының
Әділет вице-министрі Н. Пан

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ РЕСПУБЛИКА КАЗАХСТАН

REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

ПАТЕНТ
PATENT

№ 5340

ПАЙДАЛЫ МОДЕЛЬГЕ / НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ / FOR UTILITY MODEL

(21) 2019/0911.2

(22) 17.10.2019

(45) 23.10.2020

(54) Метандық ашыту үрдісін қарқындандыру тәсілі мен оны жүзеге асыруға арналған биогаз кешені
Способ интенсификации метанового сбраживания и биогазовый комплекс для его осуществления
Method of intensification of methane digestion and biogas complex for its implementation

(73) Тлебаев Манат Бейшенович (KZ)
Tlebayev Manat Beyshenovich (KZ)

(72) Айтбаева Замира Кишкембаевна (KZ)
Тажиева Рысты Нарбаевна (KZ)
Муратова Гаухар Имашевна (KZ)
Байжарикова Марина Аитмухановна (KZ)

Aitbayeva Zamira Kishkembayevna (KZ)
Tazhiyeva Rysty Narbayevna (KZ)
Muratova Gaukhar Imasheyna (KZ)
Bayzharikova Marina Aitmukhanovna (KZ)

ЭЦҚ қол қойылды
Подписано ЭЦП
Signed with EDS

Е. Қуантыров
Е. Куантыров
Y. Kuantyrov

«Ұлттық зияткерлік меншік институты» РМК директоры
Директор РГП «Национальный институт интеллектуальной собственности»
Director of the «NationalInstitute of Intellectual Property» RSE

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ РЕСПУБЛИКА КАЗАХСТАН

СВИДЕТЕЛЬСТВО

О ВНЕСЕНИИ СВЕДЕНИЙ В ГОСУДАРСТВЕННЫЙ РЕЕСТР ПРАВ НА ОБЪЕКТЫ, ОХРАНЯЕМЫЕ АВТОРСКИМ ПРАВОМ

№ 11169 от «29» июня 2020 года

Фамилия, имя, отчество, (если оно указано в документе, удостоверяющем личность) автора (ов):
МАКОВЕЦКАЯ АНАСТАСИЯ АНДРЕЕВНА, БЕГЛЕРОВА СВЕТЛАНА ТЕМИРХАНОВНА, БАЙЖАРИКОВА МАРИНА АИТМУХАНОВНА, ТЛЕБАЕВ МАНАТ БЕЙШЕНОВИЧ

Вид объекта авторского права: **программа для ЭВМ**

Название объекта: **Система контроля и автоматизации управления процесса обработки и сбраживания органического сырья в Scada Trace Mode**

Дата создания объекта: **02.03.2020**

Подписано ЭЦП

Куантыров Е.С.

КЫРГЫЗ РЕСПУБЛИКАСЫНЫН БИЛИМ БЕРҮҮ ЖАНА ИЛИМ МИНИСТРЛИГИ

И. АРАБАЕВ атындагы КЫРГЫЗ МАМЛЕКЕТТИК УНИВЕРСИТЕТИ

ФИЗИКА - МАТЕМАТИКАЛЫК БИЛИМ БЕРҮҮ ЖАНА МААЛЫМАТТЫК ТЕХНОЛОГИЯЛАР ФАКУЛЬТЕТИ

СЕРТИФИКАТ

Байжарикова Марина Айтмухановна

Профессор **Р. Усубакуновдун** жаркын элесине
жана информатика кафедрасынын уюшулгандыгынын
25-жылдыгына арналган
«ЖАҢЫ ОКУУ СТАНДАРТЫНА КАРАТА ФИЗИКАНЫ, МАТЕМАТИКАНЫ, ИНФОРМАТИКАНЫ ОКУТУУНУН ТЕХНОЛОГИЯСЫ ЖАНА КОЛДОНМО ИНФОРМАТИКАНЫН АКТУАЛДУУ МЕСЕЛЕЛЕРИ»
аттуу эл аралык илимий – методикалык конференциясына
активдуу катышкандыгы үчүн

КМУнун ректору
профессор Т.А.Абдырахманов

АЛЛЕЯ НАУКИ
ЭЛЕКТРОННЫЙ ЖУРНАЛ

СЕРТИФИКАТ

Выпуски журнала постатейно размещаются в Научной библиотеке
На основании лицензионного договора № 545-10/2016

За публикацию в е-журнале
«Аллея Науки»

Автор(ы): Байжарикова М.А.

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ИЗБЫТОЧНОГО ДАВЛЕНИЯ ВОДЫ В ТРУБАХ СМОТРОВЫХ КОЛОДЦЕВ ГОРОДА ТАРАЗ (LoRaWAN)

Главный редактор
Шелистов Д.А.

"АЛЛЕЯ НАУКИ"

Дата выдачи сертификата:
08.05.2021

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН
ВОСТОЧНО-КАЗАХСТАНСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙУНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Д. СЕРИКБАЕВА

ТӘУЕЛСІЗДІК ЖЫЛДАРЫ
ҚАЗАҚСТАН
30
ЛЕТ НЕЗАВИСИМОСТИ
КАЗАХСТАН

ДИПЛОМ

Выдан Байкариновой Марие Аятмуханбетке

за участие в VII Международной научно-технической конференции
студентов, магистрантов и молодых ученых
«ТВОРЧЕСТВО МОЛОДЫХ – ИННОВАЦИОННОМУРАЗВИТИЮ КАЗАХСТАНА»,
посвященная 30-летию Независимости Республики Казахстан

И.о. Председателя правления-ректор Ж. Шаймарданов

8-9 апреля
г. Усть-Каменогорск, 2021 г.

Акт внедрения результатов научно-исследовательских работ в производство	Ф ТарГУ 12/1-1.33-2018 1 издание 05.05.2018	

СОГЛАСОВАНО
Проректор по научной работе ТарГУ им. М.Х.Дулати
_____
(Фамилия, инициалы)
М.П. _____
(подпись)
«_____» _____ 20__ г.

УТВЕРЖДАЮ
Руководитель _____
_____
(наименование предприятия)
_____
(Фамилия, инициалы)
М.П. _____
(подпись)
«_____» _____ 20___ г.

АКТ ВНЕДРЕНИЯ
результатов научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ в высших учебных заведениях

Заказчик Руководство крестьянского хозяйство «Акжар», Бисенбаева Г.Е
(наименование организацииб Ф.И.О, руководителя организации)

Настоящим актом подтверждается, что результаты работы: Компьютерный контроль параметров, автоматизация управления метанового сбраживания органических отходов в биореанторах
(наименование темы, (№ гос.регистрации)

выполненной Таразским государственным университетом им.М.Х.Дулати, кафедра «Прикладная информатик аи программирование»
(наименованиеВУЗа,ИИИ,КБ)
стоимостью 2000000
(цифрами и прописью)
выполняемой с 30.04.2017 – 30.04.2019г.
внедрены в К/Х«Акжар»
(наименование предприятия, где осуществлялось внедрение)

Вид внедренных результатов: биогазовые технологии получения метана и жидких биоудобрений в трехступенчатой биогазовой установке
(эксплуатация изделия, рабты,технологии);
(производство (изделия,работы,технологии),
функционирование (систем)

2. Характеристика масштаба внедрения:
единичное
(уникальное,единое,партия,массовое,серийное.)

3. Форма внедрения:

Методика (метод): Компьютерный контроль параметров, автоматизация управления метанового сбраживания органических отходов в биореанторах

Цель: Разработка математических моделей процесса гидролиза, и повышение кислотности в ферминтаторах и выработка оптимальных рекомендаций по проектированию и автомазиаций биогазовый установки. Разработка программного обеспечения для обработки результатов компьютерного моделирования.

Задачи:

1. Исследовать условия и вожможности интеенсификации и повышения эффективности в процессе метанового брожения органических отходов бактериями; первичного гидролизного расщипления; 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 перемешанием на каждой стадии процесса и дать ее математическое описатие.
3. Раработать программное обеспечение расчета гидродинамики двежущихся потоков отдельных фаз многокомпотентной биосмеси на каждой стадии метанового сбраживация и очистки биогаза, через решения кончной системы управлений методом трехдиагональной матрицы.

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:	От предприятия:
Начальник отдела ОКНИР	**Начальник планового отдела**
Руководитель НИР	**Ответственный за внедрение**

УТВЕРЖДАЮ

И.о. директора крестьянского хозяйства«Акжар

Мирзабаев К.Е.

АКТ

о применении результатов кандидатской диссертации старшего преподавателя кафедры «Прикладная информатика и программирование» Таразского Регионального университета имени М.Х.Дулати Байжариковой Марины Антмухановны

На тему:«Компьютерный контроль параметров, автоматизация управления трехступенчатым процессом метанового сбраживания органических отходов в биореакторах» при построение опытно-экспериментального малогабаритного биогазового комплекса на территории крестьянского хозяйство «Акжар».

Комиссия в составе:

Председатель комиссий: Заведующий кафедрой «Прикладная информатика и программирование», д.т.н., профессор Тлебаев М.Б.

Члены комиссий:

Доцент кафедры «Прикладной информатика и программирование», к.т.н., доцент Тасыбаев А.К.,

Старший преподаватель кафедры «Прикладная информатика и программирование», магистр Тажиева Р.Н.,

Старший преподаватель кафедры «Прикладная информатика и программирование», Байжарикова М.А.,

И.о. директор к/х «Акжар» Мирзабаев К.Е.,

Заведующий производством к/х «Акжар» Тезекбаев К.А.,

Сотрудник к/х «Акжар» Жанбулганова А. составили настоящий акт в том что полученные научно практические результаты в диссертационной работе разработаны способы переработки органических отходов, включающий использование установки с тремя концентрично расположенными цилиндрическими секциями, работающих в непрерывном режиме при загрузке один раз в сутки порции подготовленного субстрата, с температурами, соответствующие заданному режиму метаногенеза (психрофильный, мезофильный и термофильный) и заданным значением показателя pH для стадии гидролиза, отличающейся тем, что отбор с первой ступени отходящего газа, содержащего высокую концентрацию CO_2 и подачи ее на барботаж в третью ступень осуществляют дополнительным получением CH_4 по химической реакции $CO_2 + 4H_2 > CH_4 + 2H_2O$ (при более высоких температурах, чем 20-30°C)". Получены патенты: РК № 103153, 2016; РК № 5340, 2020).

По результатом разработок, нашедшие отражение в диссертационной работе старшего преподавателя Байжариковой М.А. кафедры «Прикладная информатика и программирование» Таразского Регионального университета им.М.Х.Дулати также была разработана и испытана пилотный проекткомбинированного комплекса трехступенчатого температурного режима метанового сбраживания с предварительной подготовкой субстрата на рабочей площадке К\Х Акжар Байзакского района Жамбылской области.

В целях коммерциализации проекта ожидается изготовление штучных экземпляров и распространение среди крестьянско-фермерских хозяйств Байзакского района, занимающихся скотоводством в местах, где отсутствуют электроэнергия и газ.

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 КХ«Акжар» для уточнения и регулировании входных параметров.

Заведующий кафедрой «Прикладная информатика и программирование»		Тлебаев М.Б.
Доцент кафедры «Прикладной информатика и программирование»		Тасыбаев А.К.
Старший преподаватель кафедры «Прикладная информатика и программирование»,		Тажиева Р.Н.
Старший преподаватель кафедры «Прикладная информатика и программирование»,		Байжарикова М.А.
И.о. директор к/х «Акжар»		Мирзабаев К.Е.
Заведующий производством к/х «Акжар»		Тезекбаев К.А.
Сотрудник к/х «Акжар»		Жанбулганова А

М.Тлебаев, А.Тасыбаев, Р.Тажиева, М.Байжарикова

көшірмесі растаймын
«Дулати университеті» КЕ АҚ
Персоналды басқару кызметі
«____» 09 20 21 ж.

УТВЕРЖДАЮ

Директор ИП «Куним»

Бисенбаева Г.Е.

АКТ

о внедрение результатов диссертационной работы старшего преподавателя кафедры «Прикладная информатика и программирование» Таразского Регионального университета имени М.Х.Дулати Байжариковой Марины Аитмухановны

На тему: «Компьютерный контроль параметров, автоматизация управления трехступенчатым процессом метанового сбраживания органических отходов в биореакторах» по специальности 05.13.06 — автоматизация и управление технологическимипроцессамии производствами(поотраслям)

Мы нижеподписавшиеся, ИП «Куним» директор Бисенбаева Г.Е., ведущий инженер Ермаханов А., к.п.н, доцент Муратова Г.И., д.т.н., профессор Нуримбетов А.У. составили настоящий акт в том, что программный продукт «Система контроля и автоматизации управления процесса обработки и сбраживания органического сырья в среде Scada Trace Mode» внедрен в крестьянском хозяйстве «Акжар» на опытно-экспериментальной биогазовой установке.

На основе разработанного программного продукта: протестированы все узлы трехступенчатой биогазовой установки.

Разработанная программа при реализации в Scada Trace Mode показала что основные оптимальные значения параметров, такие как время измельчения сырья, время нагрева незначительное отклонения от теоретических результатов полученных в аппаратно-программном комплексе «автоматизация системы управления», а также способна регулировать мощность нагревательного элемента и рассчитывать концентрацию метана и диоксид углерода в двух компонентной биогазовой смеси.

Программное обеспечение при вводе параметров: степень измельчения; температуру вычисляет предполагаемую плотность биогаза и соответственно определяет концентрацию веществ в нем в заданном температурном интервале, что позволяет получить максимальный выход биогаза и метана в нем.

Декан
Факультета«ИТАиТ»
к.п.н., доцент _____ Муратова Г.И.

Профессор кафедры
«Информационных технологий» _____ Нуримбетов А.У.

Ст. преподаватель кафедры
«Прикладная информатика и программирование _____ Байжарикова М.А.

Директор ИП «Куним» _____ Бисенбаева Г.Е..

Ведущий инженер _____ Ермаханов А.

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по исследованиям и
международным связям
Таразского Регионального университета
имени М.Х.Дулати
_____ Д.И.Нурмуханбет

Акт

Использования в учебном процессе материалов кандидатской диссертациистаршего преподавателя кафедры «Прикладная информатика и программирование» Таразского Регионального университета имени М.Х.Дулати Байжариковой Марины Аитмухановны: «Компьютерный контроль параметров, автоматизация управления трехступенчатым процессом метанового сбраживания органических отходов в биореакторах».

Материалы кандидатской диссертации старшего преподавателя кафедры «Прикладная информатика и программирование» Байжариковой М.А. включены в учебник «Управление химико – технологическими процессами».

Учебник используется при изучение дисциплины «Компьютерное и математическое моделированиехимико-технологическихпроцессов» на кафедре «Прикладная информатика и программирование» при подготовке магистрантов по направлению 6М06111-«Информатика и компьютерные науки».

Результаты исследований, полученных Байжариковой М.А., используются в лекционных курсах«Система контроля и автоматизации управление химико-технологическими процессами» и впрактических занятиях в следующих образовательных программах:

ОП 6В06111-«Информатика и компьютерные науки»;

ОП 6В06112-«Прикладная информатика: Веб-программирование и компьютерный дизайн»;

ОП 6В06115-«Агроинформатика»;

ОП 6В06113-«Программирование и разработка программного обеспечение»;

Разработчик дисциплины: старший преподаватель Байжарикова М.А.

Декан
Факультета«Информационных технологий,
автоматики и телекоммуникаций»
к.п.н., доцент _____ Г.И.Муратова

Заведующий кафедрой
«Прикладная информатика и программирование»
д.т.н., профессор _____ М.Б.Тлебаев

М.Тлебаев
Е.Мұратов сколын растаймын
«Дулати университеті» КЕАҚ
Персоналды басқару кызметі
_____
«____» 09 20 21 ж.

ПЕРСОНАЛДЫ БАСҚАРУ ҚЫЗМЕТІ