ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ
ОШСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

на правах рукописи
УДК 662. 997.534.

КУДАЙБЕРДИЕВ БАКТЫБЕК ЭСЕНБЕКОВИЧ

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА КОМБИНИРОВАННЫХ АВТОНОМНЫХ БИОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

Специальность: 05.14.08 – Энергоустановки на основе возобновляемых видов энергии

Д и с с е р т а ц и я
на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель
д.т.н., академик ИА КР Кенжаев И.Г.

Ош – 2013

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПЕРЕЧЕНЬ ОСНОВНЫХ СОКРАЩЕНИЙ И ОБОЗНАЧЕНИЙ …….4

ВВЕДЕНИЕ…….5

ГЛАВА 1. АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ ВОПРОСА ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ АВТОНОМНЫХ БИОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

1.1. Проблемы энергообеспечения и экологии в отдаленных местностях республики…….10

1.2. Обзор и анализ конструкций существующих биоэнергетических установок…16

1.3. Обоснование и целесообразность использования двигателя Стирлинга в технологической схеме утилизации биогаза…….32

1.4. Постановка задач исследований…….40

Выводы по первой главе……..44

ГЛАВА 2. РАЗРАБОТКА И АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ АВТОНОМНЫХ БИОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

2.1. Физическая сущность тепломассообменных процессов в метантенке 45

2.2. Выбор технологической схемы биоэнергетической установки……..49

2.3. Разработка технологической схемы биоэнергетической установки с двухстадийным процессом анаэробного сбраживания……....59

2.4. Расчет и анализ составляющих тепловой баланс комбинированной автономной биоэнергетической установки…….....65

2.5. Анализ процессов утилизации биогаза в качестве топлива и характеристика процесса горения…….....78

Выводы по второй главе…….84

ГЛАВА 3. ПРИМЕНЕНИЕ ДВИГАТЕЛЯ СТИРЛИНГА В ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЕ КОМБИНИРОВАННОЙ АВТОНОМНОЙ БИОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ

3.1. Разработка топочно-горелочного устройства для сжигания биогаза в энергетической установке с двигателем Стирлинга……...85

3.2. Энергетический баланс системы топочно-горелочное устройство –

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

нагреватель ……...89
3.3. Эксергетический баланс и эксергетическая эффективность биоэнергетической установки с двигателем Стирлинга…….95
3.4. Эксергетический баланс и эксергетическая эффективность системы топочно-горелочное устройство – нагреватель биоэнергетической установки с двигателем Стирлинга……....99
Выводы по третьей главе……109

ГЛАВА 4. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ОБОСНОВАНИЮ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ БИОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ

4.1. Методика исследований процесса анаэробного метанового сбраживания органических отходов..……....110
4.2. Исследования по обоснованию оптимальных значений влажности и температуры сбраживаемой биомассы……....116
4.3. Исследования влияния дозы суточной загрузки на выход биогаза при непрерывном режиме сбраживания……..…….....…….....120
4.4. Методика инженерного расчета автономной биоэнергетической установки для локальных потребителей……..…….....125
4.5. Технико-экономическая эффективность использования биоэнергетических установок……130
Выводы по четвертой главе……...138
ЗАКЛЮЧЕНИЕ…….....139
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ…….…… 140
ПРИЛОЖЕНИЯ……149

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

ПЕРЕЧЕНЬ ОСНОВНЫХ СОКРАЩЕНИЙ И ОБОЗНАЧЕНИЙ

1. КАБЭУ – комбинированная автономная биоэнергетическая установка;
2. ВИЭ – возобновляемые источники энергии;
3. БЭУ – биоэнергетическая установка;
4. БМ – биомасса;
5. ДС – двигатель Стирлинга;
6. ТГУ – топочно-горелочное устройство;
7. СИ – солнечное излучение;
8. СК – солнечный коллектор;
9. МТ – метантенк;
10. КРС – крупный рогатый скот;
11. КПД – коэффициент полезного действия;
12. ТН – теплоноситель;
13. СМ – сброженная биомасса (эффлюент);
14. БГ – биогаз;
15. ЭЭ – электроэнергия;
16. ЭП – энергопотребитель;
17. $V_{мт}$ – потребный объем метантенка;
18. $V_{бг}$ – производительность МТ по биогазу;
19. $Q_{потр}$ – теплопотребность процесса сбраживания.

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы. Дефицит традиционных топливно-энергетических ресурсов и быстрорастущие экологические проблемы делают актуальным использование возобновляемых источников энергии (ВИЭ) в различных странах мира. В сценарии Мирового энергетического Совета к 2050 году предусматривается удвоение доли использования ВИЭ с 20% до 40% в общем производстве энергии /1, 2/.

В связи, с переходом на рыночные условия и изменением структуры сельскохозяйственного производства увеличилось количество мелких фермерских хозяйств.

Одним из актуальных проблем в повседневной жизни жителей отдаленных населенных пунктов является отсутствие элементарного комфорта, который напрямую связан с энергообеспечением.

В основном энергообеспечение быта сельских потребителей осуществляется за счет привозных топливно-энергетических ресурсов, доставка которых представляет определенные трудности вследствие сложных природно-климатических условий и не развитой транспортной инфраструктуры.

Небольшая потребляемая мощность бытового оборудования предопределяет широкое использование местных ресурсов ВИЭ, в том числе биогаза, вырабатываемого в процессе анаэробной переработки органических отходов сельского хозяйства. При этом наряду с энергетическим аспектом (получение газообразного топлива), большое значение имеют и экологические аспекты применения биогазовой технологии (прекращение вырубки леса в качестве бытового топлива и обеззараживание отходов).

В настоящее время в Кыргызстане функционируют большое количество установок по выработке биогаза из органических отходов /3/. Однако большинство этих биогазовых установок предусматривает подогрев сбраживаемой биомассы применением электроэнергии от централизованных сетей, что сдерживает эффективную утилизацию отходов фермерских

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

хозяйств, рассредоточенных в регионах с отсутствием централизованного энергоснабжения.

Поэтому разработка высокоэффективных технологий создания комбинированных автономных биоэнергетических установок (КАБЭУ) с подогревом сбраживаемой биомассы за счет местных ресурсов ВИЭ является актуальной задачей.

Целью диссертационной работы является исследование и разработка новых научно-технических решений по созданию комбинированных автономных биоэнергетических установок для фермерских хозяйств, расположенных в отдаленных районах.

Для достижения цели поставлены следующие основные задачи:

- проведение теоретических исследований для определения основных параметров технологического оборудования и выбора технологической схемы КАБЭУ;
- разработка технологической схемы биоэнергетической установки с двухстадийным процессом анаэробного сбраживания биомассы;
- анализ процесса утилизации продуктов анаэробной конверсии органических отходов и разработка прогрессивных технических решений с использованием ВИЭ;
- обоснование целесообразности применения двигателя Стирлинга в технологической схеме автономной биоэнергетической установки, для обеспечения потребителей электрической энергией и дополнительного обогрева биореактора;
- разработка топочно-горелочного устройства для обеспечения полного сгорания биогаза и улучшения процесса теплоподвода к рабочему телу двигателя Стирлинга;
- проведение экспериментальных исследований по обоснованию технологического режима анаэробного сбраживания органических отходов в биореакторе.

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

Научная новизна диссертационной работы состоит:

- в разработке технологической схемы КАБЭУ с двухстадийным процессом сбраживания, позволяющая повысить калорийность получаемого биогаза;
- в прогрессивных технических решениях, принятых при разработке КАБЭУ обеспечивающих энергонезависимость установки, за счет использования ВИЭ;
- в использовании в технологической схеме КАБЭУ двигателя Стирлинга, обеспечивающего потребителя автономным электроснабжением для бытовых нужд и служащего в качестве дублера по обеспечению необходимого температурного режима в биореакторе;
- в разработке топочно-горелочного устройства, обеспечивающего полное сгорание биогаза и тем самым приводящего к улучшению процесса теплоподвода к рабочему телу двигателя Стирлинга;
- в разработке методики инженерного расчета по определению рациональных значений теплотехнических параметров КАБЭУ.

Основные положения диссертации, выносимые на защиту:

- разработанные технологические схемы комбинированных автономных биоэнергетических установок с одно и двухстадийными процессами сбраживания биомассы с использованием ВИЭ;
- разработанные конструкции двухсекционного мокрого газгольдера и накопителя эффлюента, выполненной в виде солнечной сушильной установки;
- аналитические зависимости по определению основных параметров технологического оборудования и составляющих теплового баланса КАБЭУ;
- разработанная конструкция топочно-горелочного устройства двигателя Стирлинга и результаты теоретических исследований теплообменных процессов в системе «топочно-горелочное устройство-нагреватель»;
- результаты экспериментальных исследований по обоснованию технологического режима анаэробного сбраживания в биоэнергетической установке с солнечным энергообеспечением.

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

Практическая значимость полученных результатов:

- предложенная методика инженерного расчета основных технологических параметров может быть использована при расчете и проектировании КАБЭУ для сельских потребителей;
- разработанная технологическая схема КАБЭУ с двухстадийным процессом сбраживания, позволяющая повысить калорийность получаемого биогаза;
- использование солнечного коллектора в технологической схеме КАБЭУ обеспечивает необходимую для мезофильного режима сбраживания температуру в метантенке;
- предложенная конструкция накопителя эффлюента выполненная в виде солнечной сушильной установки позволяет, разделить эффлюент на фракции и способствует его термическому обеззараживанию;
- применение двигателя Стирлинга в КАБЭУ позволит обеспечить потребителя автономным электроснабжением для бытовых нужд и служит в качестве дублера по обеспечению необходимого температурного режима в биореакторе;
- разработанная конструкция топочно-горелочного устройства позволяет осуществить полное сгорание биогаза, что приводит к повышению эффективности подвода теплоты к рабочему телу двигателя Стирлинга.

Личное участие автора в получении научных результатов.

Все научно-технические результаты диссертационной работы получены лично автором. Постановка задач исследований, выводы и заключения согласованы с научным руководителем диссертационной работы.

Апробация результатов диссертации. Основные положения и результаты диссертации доложены и обсуждены на: Международной конференции «Проблемы управления и информатики», посвященной к 40-летию Института автоматики (Бишкек, сентябрь 2000 г), Международной научно-технической конференции «Инновации в образовании, науке и технике» Известия КГТУ им. И. Раззакова (Бишкек 2006 г), Международной научно-практической конференции «Адышевские чтения. Современные

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

проблемы изменения климата и разрушения озонового слоя» Известия Ош[illegible] (Ош 2007 г), Международной научно-технической конференнции «Современное состояние и актуальные проблемы развития энергетики» Наука образование техника К-УУ (Ош 2008 г). Работа в полном объеме доложена на расширенном заседании кафедры «Энергетика» ОшГУ, кафедры «Энергетика и автотранспорт» К-УУ и кафедры «ВИЭ» КГТУ им. И. Раззакова.

Связь темы диссертации с научно-исследовательскими программами.

Работа выполнялась в рамках проекта SfP 972296 «Разработка энергетической установки с двигателем Стирлинга мощностью 3 кВт с комбинированным солнечно-газовым теплоподводом» Международной научной программы НАТО «Наука ради мира» и в соответствии с темами проектов, финансируемых МОиН КР: «Использование эффекта тепловой трубы в двигателях с внешним подводом теплоты» (2000-2002 гг.), «Исследование и разработка технологии создания новых источников энергии на основе местных минерально-сырьевых и природных ресурсов» (2003-2006 гг.), «Установка аэродинамического нагрева на альтернативных источниках энергии» (2008-2011 гг.), «Разработка и исследование высокоэффективных энергетических установок на основе возобновляемых видов энергии и энергосберегающих технологий» (2012-2013 гг.).

Публикации по работе. По материалам диссертационной работы опубликовано 13 научных статей, в которых отражено основное содержание диссертационной работы и получены два патента на изобретение.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, выводов, списка использованной литературы и приложения.

Работа изложена на 148 страницах основного текста, включает 42 рисунка и 9 таблиц.

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

ГЛАВА 1
АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ ВОПРОСА ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ АВТОНОМНЫХ БИОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

1.1. Проблемы энергообеспечения и экологии в отдаленных местностях республики

Обострение экологических проблем, истощение запасов и роста цен на невозобновляемые энергоресурсы, обусловили интерес в рациональном использовании всех существующих на Земле и околоземном пространстве источников топлива и энергии.

В развитии любой страны огромную роль играет наличие энергетической базы и угроза возможного энергетического кризиса в стране и в мировом масштабе, делает актуальным проблему рационального использования всех существующих на планете энергетических ресурсов, в том числе и возобновляемых источников энергии.

Возобновляемые источники энергии огромны и при наличии высокотехнологичных преобразователей доступны каждой стране. ВИЭ могут замещать уголь, нефть, газ и уран в производстве электроэнергии, теплоты и жидкого топлива.

В настоящее время, во многих странах мира активное использование ВИЭ является одним из приоритетных направлений национальной политики. Реализация программ в области производства альтернативных видов энергии осуществляются в таких развитых странах как США, Китай, Япония, Германия, Финляндия, Испания, Швейцария, Франция и др. /4–6/.

В большинстве постсоветских стран СНГ, в том числе и в Кыргызстане произошли изменения структуры сельскохозяйственного производства. В связи с переходом на новые рыночные условия хозяйствования на базе бывших колхозов и совхозов созданы мелкие частные фермерские хозяйства, которые стали играть определяющую роль в сельском хозяйстве.

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

Жители сельских местностей, знают, что самым надежным испытанным путем становления крепкого хозяйства лежит через разведение домашнего скота и выращивание сельскохозяйственных культур. Поэтому в последнее время наблюдается тенденция оседания людей в горных и высокогорных местностях республики, образуя малочисленные компактные населенные пункты.

С одной стороны эта хорошая тенденция. Люди начали осваивать орошаемые и багорные земли предгорных и горных местностей. Появилась возможность размножать скот без ограничения, питаться экологически чистыми продуктами и дышать свежим воздухом. С другой стороны, освоение людьми горных местностей приводит к нарушению экологической обстановки.

В повседневной жизни жителей отдаленных населенных пунктов одним из актуальных проблем является отсутствие элементарного комфорта, который напрямую связан с энергообеспечением.

Энергообеспечение быта сельских потребителей в основном осуществляется за счет привозных топливно-энергетических ресурсов, доставка которых представляет определенные трудности вследствие сложных природно-климатических условий и не развитой транспортной инфраструктуры.

В энергообеспечении жителей отдаленных районов Кыргызстана можно выделить следующие проблемы:

- Существующие линии электропередач (ЛЭП), трансформаторные подстанции (ТП) практически исчерпали свои ресурсы. В связи с этим возникли проблемы полного отсутствия электроснабжения или перебоев с ее подачей. Из-за нехватки бюджетных средств существуют определенные трудности на восстановление или сооружение новых ЛЭП и ТП.
- Дороги в горных и предгорных местностях Кыргызстана практически не ремонтируются и находятся в очень плохом состоянии по этой причине

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

доставка традиционных видов топлива (нефтепродуктов, угля) является трудно осуществляемой проблемой, что приводит к повышению их себестоимости.

Отсутствие или недоступность электроэнергии, привозных нефтепродуктов и угля вынуждает население отдаленных местностей прибегать к незаконной вырубке ценных пород лесонасаждений в целях использования их в качестве дров для обеспечения бытовых потребностей. Люди заготавливают дрова, уничтожая при этом, ценные породы арчевых и ореховых деревьев. Вокруг населенных пунктов образовывается мусор растительного и животного происхождения.

Поэтому одним из путей решения энергообеспечения рассредоточенных сельских потребителей в отдаленных горных районах Кыргызстана является использование имеющихся ресурсов за счет внедрения автономных энергоустановок с использованием возобновляемых источников энергии.

Использование ВИЭ в горных и предгорных местностях позволяет решить ряд проблем связанных с экологией. При этом уменьшается негативное влияние на атмосферу, гидросферу и литосферу /7/.

В настоящее время в Кыргызстане проводится большая работа по созданию соответствующего общественного мнения, решению правовых вопросов, созданию льготных условий для производства, приобретения и применения энергоустановок использующих энергию солнца, ветра и энергию биомассы.

Кыргызстан относится к странам с теплым и жарким климатом, где количество солнечных дней в году приближается к 220-280, это благопрепятствует использованию солнечной энергии в различных отраслях народного хозяйства.

Солнечную радиацию при помощи гелиоустановок преобразуют в тепловую или электрическую энергию, удобную для практического применения. Они осуществляют горячее водоснабжение, отопление и

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

кондиционирование воздуха жилых и общественных зданий, животноводческих ферм и теплиц, сушку сельскохозяйственной продукции, термообработку строительных конструкций, подъем и опреснение минерализованной воды и др. Но следует отметить, что солнечная энергетика относится к наиболее материалоёмким видам производства энергии. Крупномасштабное использование солнечной энергии влечет за собой гигантское увеличение потребности в материалах, а, следовательно, и в трудовых ресурсах для добычи сырья, его обогащения, получения материалов, изготовление гелиостатов, коллекторов, другой аппаратуры и их перевозки. Пока ещё электрическая энергия, рожденная солнечными лучами, обходится намного дороже, чем получаемая традиционными способами.

Еще одним из экономически эффективных направлений энергетики в Кыргызстане базирующихся на возобновляемых видах энергии является ветроэнергетика. Ветер является одним из наиболее мощных энергетических источников, который издавна используется человеком, и при более благоприятных условиях может быть использован значительно в больших масштабах в интересах народного хозяйства, чем это имеет место в настоящее время. На основании проведенных исследований /8/ установлено, что использование энергии ветра на юге Кыргызстана нецелесообразно в связи с изменчивостью ветропотока, невозможностью круглогодичного эффективного использования энергии ветра.

Сравнительный анализ использования различных видов ВИЭ в Кыргызстане показал, что наиболее приемлемым видом является широкое использование энергии биомассы. При этом с одновременным решением проблемы энергоснабжения отдаленных от централизованного электроснабжения локальных потребителей, можно решить и экологические проблемы, связанные с защитой окружающей среды от непрерывно поступающих в биосферу органических и тепловых загрязнений, а также проблемы повышения плодородия сельскохозяйственных угодий /7, 9/.

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

По данным /10, 11/, в результате фотосинтеза путем преобразования энергии солнечного излучения посредством конверсии CO_2 продуцируется более 200 млрд. тонн биомассы в год и в зеленых растениях аккумулируется ежегодно в 10 раз больше энергии, чем мир получает путем сжигания традиционных углеводородных видов топлива, а аккумулируемая фотосинтезом энергия превосходит потребляемую в 1000 раз.

Согласно /5/, энергетическое содержание сельскохозяйственных органических отходов составляет $93 \cdot 10^{18}$ Дж/год и если из них реально использовать только 25%, то можно обеспечить около 7% мировой энергии. Среди разнообразных способов получения твердых, жидких и газообразных топлив из различных видов биомассы особенное место занимают биогазовые технологии переработки органических отходов.

Благодаря значительному поголовью крупного рогатого скота Кыргызстан обладает огромным потенциалом для использования нетрадиционных источников энергии на основе использования биологических отходов.

Известно, что животные усваивают энергию растительных кормов не полностью и более половины солнечной энергии аккумулированной фотосинтезом в этих кормах уходит в навоз, что позволяет рассматривать последний как возобновляемый источник энергии. Например, в организме коровы в результате сложных биологических процессов 26% энергии, накопленной в растительных кормах, обеспечивают её жизнедеятельность, 16% остается в молочных продуктах, а 58% уходит в навоз /12/.

При анаэробном метановом сбраживании из навоза животных получают биогаз, теплота сгорания которого составляет в среднем 22 МДж/м^3. Биогаз, получаемый из навоза от одной коровы в течение года, в качестве топлива на тепловой электростанции может дать около 900 кВт·ч электроэнергии /13/.

Использование биогаза, позволяет обеспечить энергоснабжение быта, сокращает потребности в привозном дорогостоящем топливе.

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

Применение биогазовых технологий, в отдаленных местностях Кыргызстана приводит к улучшению экологической ситуации в республике. В первую очередь уменьшаются выбросы метана в атмосферу, т.к. метан является основным загрязнителем атмосферы, способствующего созданию парникового эффекта, а также сохранение лесных массивов от вырубки на дрова для бытовых нужд.

Согласно автора /14/, на рисунке 1.1 приведена потребность в энергии на бытовые нужды отдельно взятого фермерского хозяйства.

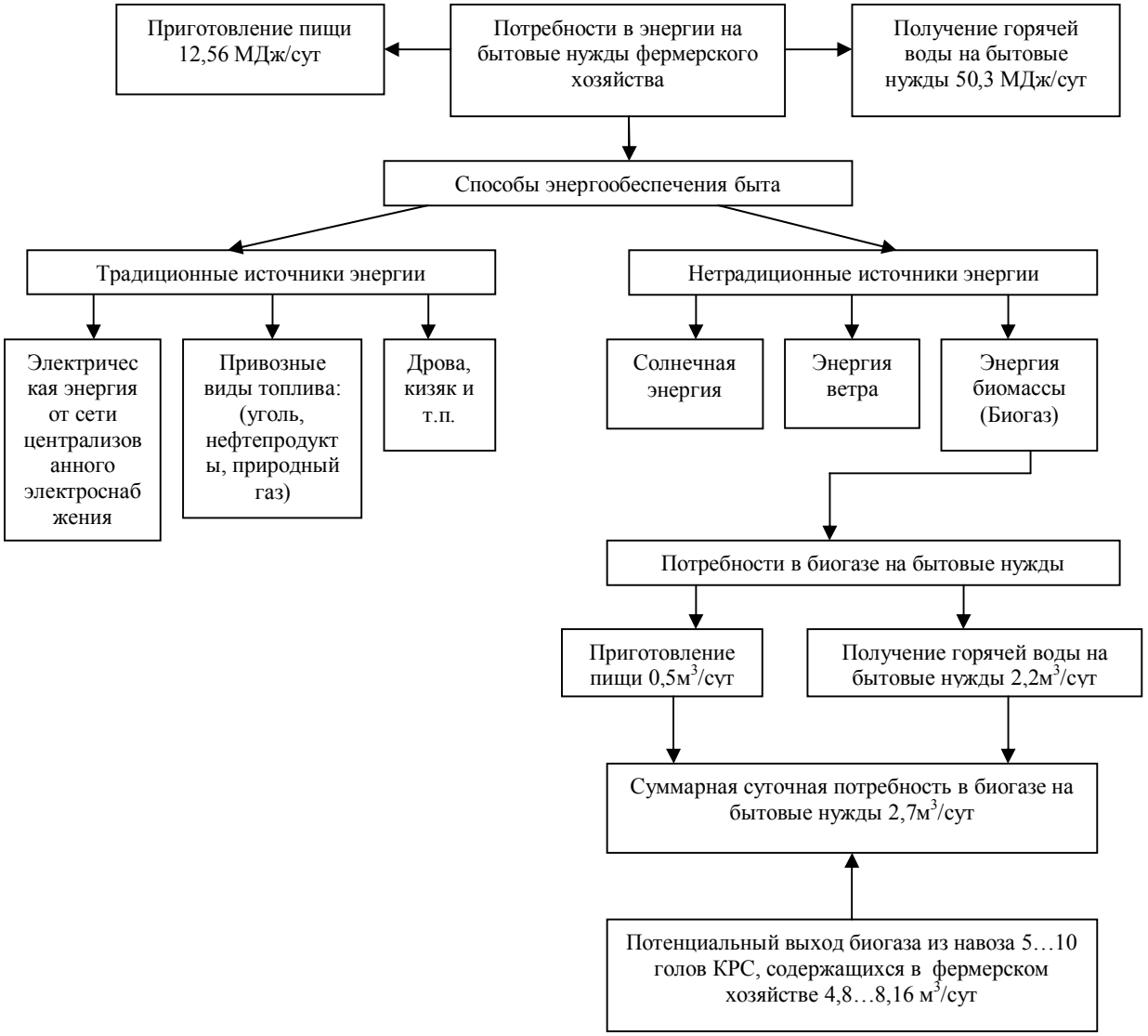

Рис.1.1. Потребности в энергии на бытовые нужды и способы энергообеспечения потребителей в сельской местности.

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

При этом установлены усредненные суточные потребности биогаза на пищеприготовлении, нагрева воды и на другие бытовые нужды.

В настоящее время кроме бытовых нужд, биогаз используется в различных целях. Однако, с учетом технологичности применения биогаза целесообразным является использование в автономных энергоустановках.

Новым эффективным способом утилизации биогаза в этом направлении могут быть двигатели Стирлинга различной модификации, которые рассматриваются в настоящей работе.

1.2. Обзор и анализ конструкций существующих биоэнергетических установок

В настоящее время разработаны и используются множество различных биоэнергетических установок (БЭУ) по производству биогаза, которые классифицируются в зависимости от их отличительных признаков.

Огромный вклад в исследования процессов получения биогаза из органических отходов внесли российские и зарубежные ученые: Т.Я. Андрюхин, С.Д. Варфоломеев, П.И. Гриднев, Л.И. Гюнтер, Г.А. Заварзин, А.Н. Захарченко, С.В. Калюжный, А.А. Ковалев, В.П. Лосяков, Р.А. Мельник, А.Н. Ножевникова, В.М. Шрамков, Е.С. Панцхава, А.Г. Пузанков, Х.А. Баркер, В. Баадер, А.М. Бусвелл, М.Е. Бекер, В. Дубровский, У. Канто, Г. Леттинга, В.К. Маслич, А. Хасимото, Д. Сингх и др. Большой вклад в развитие работ в этом направлении внесли ученые Кыргызской Республики: Обозов А.Дж., Осмонов О.М. и другие.

В нашей республике ведутся работы по разработке различных конструкций биогазовых установок. Специфические особенности природных и климатических условий Кыргызстана (особенно юга республики), пониженная влажность, повышенная годовая температура воздуха, а также формы ведения животноводства ставят перед исследователями новые задачи.

Следует отметить, что технологические показатели биогазовых установок во многом зависят от конструкции биореакторов (метантенков).

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

Конструкция существующих биореакторов пока еще не полностью удовлетворяют потребности сельских жителей. По данным /3/ в Кыргызстане имеются более 100 биогазовых установок.

Построенные в Кыргызстане биогазовые установки можно разделить на биореакторы без обогрева и изоляции (более 30 установок) и биореакторы с обогревом и изоляцией (более 70 установок).

Необходимо отметить, что более половины построенных в Кыргызстане биогазовых установок, к сожалению, не работают. Причиной этого, как показал анализ результатов обследования, являются серьезные конструктивные недоработки.

Несмотря на относительную простоту устройства и множество различных биогазовых установок разработанных в разных странах, они не находят широкого применения в большинстве фермерских хозяйств нашей республики. Основной причиной этого является то, что выбор технологической схемы осуществления процесса сбраживания в каждом случае сооружения биогазовой системы должно производиться с учетом большого количества факторов, являющихся специфическими для конкретного места предполагаемого сооружения установки.

По данным /15/ БЭУ считаются низкопроизводительными, когда интенсивность работы колеблется в пределах 0,3...1,0 $м^3$ биогаза с единицы объема камеры сбраживания в сутки, а выше - соответственно высокопроизводительными установками. При этом подразумевается, что для применения в условиях Кыргызстана, БЭУ должна быть более высокоэффективной по выработке биогаза. С этой точки зрения для условий Кыргызстана, предпочтительны установки с непрерывным режимом сбраживания, так как по сравнению с циклическим режимом сбраживания дают более равномерное производство биогаза. Равномерное производство биогаза обеспечивается за счет загрузки в реактор небольших порций свежего сырья через короткие отрезки времени, при этом удаляя соответствующий объем сброженного шлама.

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

Низкопроизводительные установки БЭУ (рис. 1.2), работающие без подвода теплоты для обогрева сбраживаемой биомассы и без перемешивающего устройства широко распространены в Китае, Индии, Сингапуре, Корее, Сенегале и других странах с теплым или жарким климатом /15–17/.

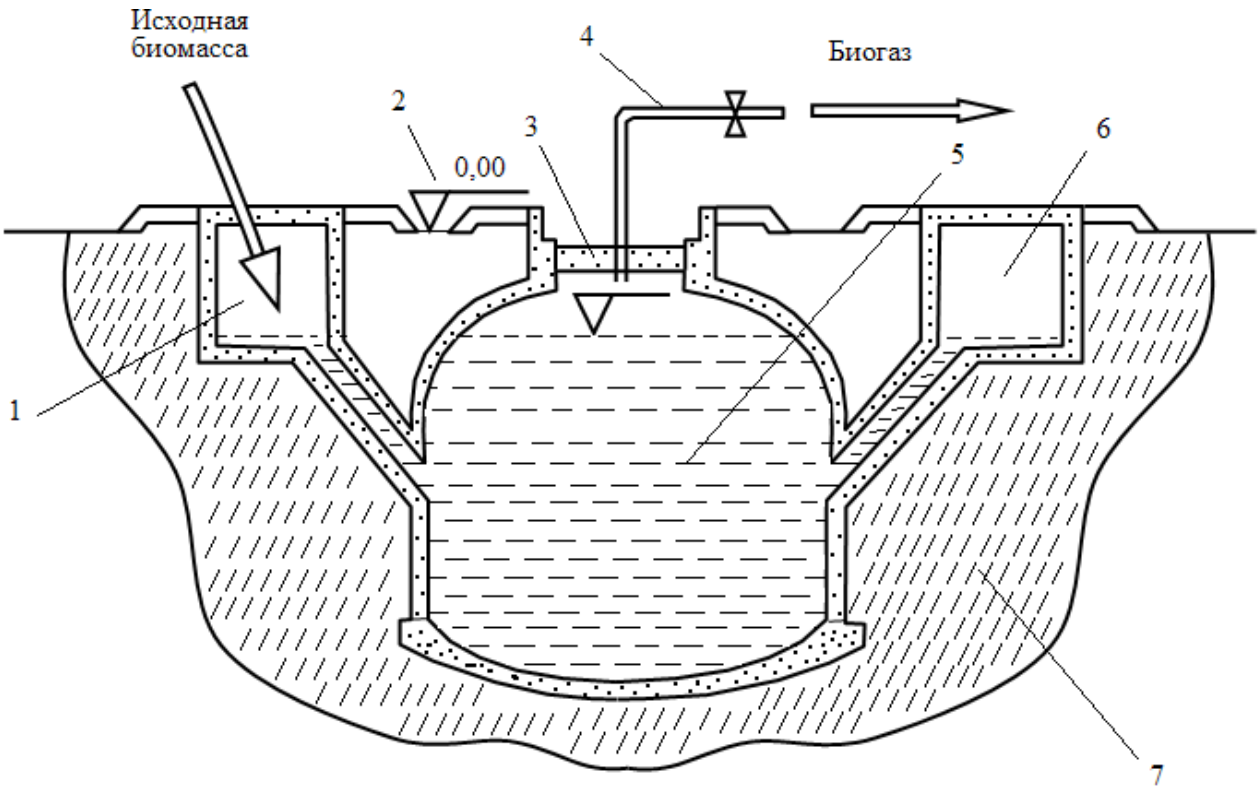

Рис. 1.2. Биоэнергетическая установка китайского типа (Фиджи): 1–ввод исходной биомассы; 2–уровень земли; 3–съемная крышка; 4–газопровод; 5–метантенк; 6–вывод переработанного материала; 7–грунт.

Низкопроизводительные установки обычно размещаются под землей. Биомассу, предназначенную для сбраживания, помещают в накопитель. Далее через заглубленную в грунт емкость из кирпича или бетона, которая представляет аккумулятивный биореактор объемом 6–10м^3, поток сбраживаемой биомассы медленно проходит в приемный бак для отработанной массы, используемой в качестве удобрения. Процесс анаэробного сбраживания органических отходов в таких установках

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

протекает стихийно и бесконтрольно, при этом цикл анаэробного сбраживания составляет от 14 до 40 суток. Температура сбраживаемого субстрата обеспечивается только за счет естественной теплоты окружающей среды вокруг пространства метантенка, в основном в пределах психрофильного режима.

Применяемые в степных условиях Монголии биогазовые реакторы (рис.1.3), в виде котла-метантенка, могут служить еще одним примером низкопроизводительных установок.

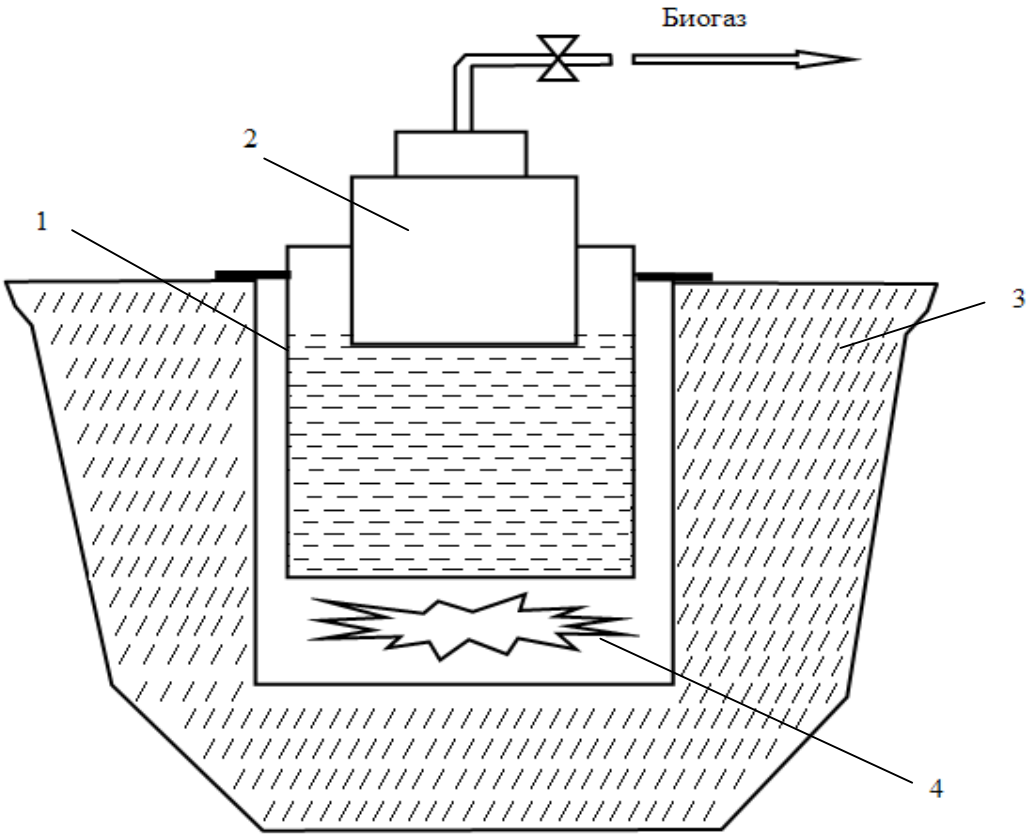

Рис.1.3. Установка для получения биогаза (Монголия): 1–котел-метантенк; 2–съемная крышка (газовый колокол); 3–грунт; 4–костер из дров или кизяка.

Процесс метанового сбраживания органических отходов протекает стихийно и бесконтрольно, отсутствует перемешивание содержимого метантенка, нагрев сбраживаемой биомассы осуществляют обычно только в начале процесса путем разжигания дров или кизяка под емкостью для

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

сбраживания. Основным недостатком данных установок является низка скорость распада органического вещества сбраживаемых отходов (интенсивность выхода биогаза от 0,3 до 0,5 м^3 на 1 м^3 бродильной емкости в сутки).

Более совершенствованным является установка по производству биогаза системы «Дармштадт» (рис. 1.4), она снабжена устройством для подогрева и перемешивания сбраживаемого субстрата.

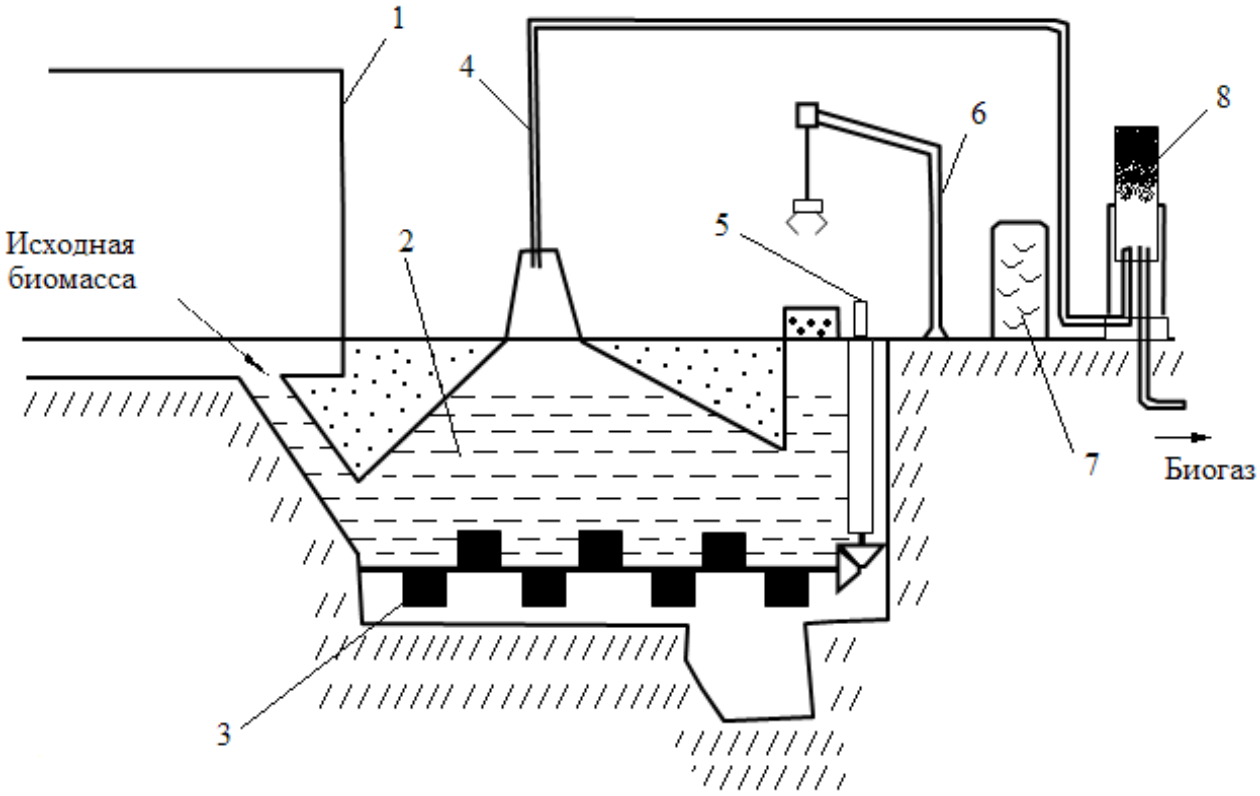

Рис.1.4. Установка по производству биогаза «Дармштадт» (ФРГ): 1–помещение для животных; 2–биореактор (метантенк); 3–механическая мешалка; 4–трубопровод биогаза; 5–электропривод мешалки; 6–грейфер для подгрузки сброженного субстрата; 7–хранилище для сброженного субстрата; 8–газгольдер.

Основу установки составляет горизонтальный бетонный реактор 2 объемом 20 м^3 установленный на ферме для 18 голов крупного рогатого скота, содержащихся на подстилке. Специальная механическая мешалка 3, приводимая в действие электродвигателем 5, расположена внутри

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

бродильной емкости в горизонтальном положении. Механическое перемешивание осуществляется 10 раз в день по одной минуте с частотой вращения 6 об/мин. Заданная температура сбраживания около 30°С поддерживается путем введения пара, получаемой с использованием электрической энергии.

Разработанная ВИЭСХом (Россия) установка по метановому сбраживанию навоза КРС может служить другим примером биоэнергетических установок с подогревом сбраживаемой биомассы за счет традиционных источников энергии (рис. 1.5).

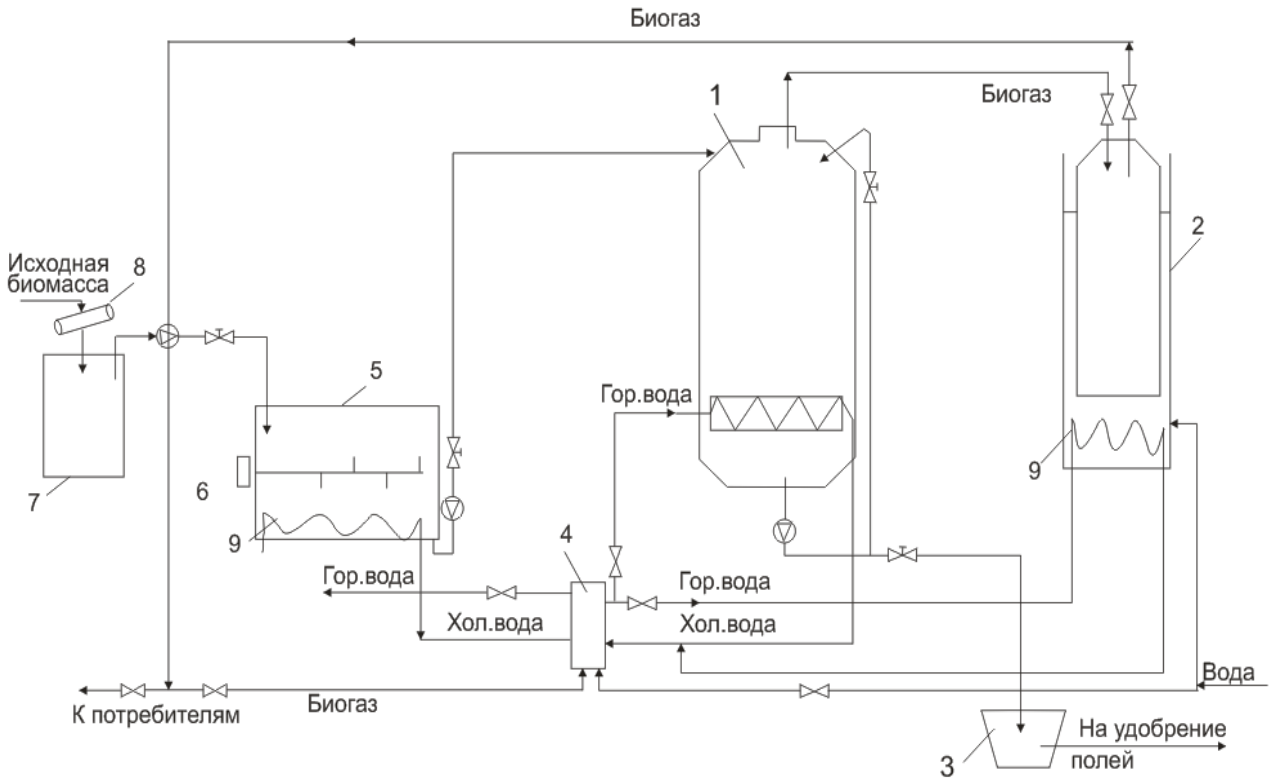

Рис.1.5. Биоэнергетическая установка по переработке отходов фермы крупного рогатого скота: 1–метантенк; 2–мокрый газгольдер; 3–хранилище сброженного субстрата; 4–водонагреватель; 5–емкость предварительного нагрева сбраживаемой биомассы; 6–мешалка; 7–накопитель исходной биомассы; 8–отделитель посторонних включений; 9–теплообменник.

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

Установка состоит из метантенка с регулируемой температурой теплоносителя в межстенном пространстве, мокрого газгольдера, нагревательной установки для предварительного нагрева навоза, системы энергоснабжения и управления /18/.

После отделения посторонних включений отделителем 8 исходная масса навоза поступает в накопитель 7. Далее навоз из накопителя исходной биомассы подается в емкость предварительного нагрева 5 с помощью насоса с измельчителем. Нагретая масса подается насосом по трубопроводу в верхнюю часть метантенка 1. Доза суточной загрузки (выгрузки) навоза регулируется специальным устройством, которое управляет работой насосов в автоматическом режиме. Весь объем сбраживаемой массы периодически перемешивается механической мешалкой. Далее сброженный навоз из метантенка выгружается насосом в хранилище 3 сброженного субстрата.

Метантенк имеет водяную систему обогрева электрическими водонагревателями ЭПВ-2 с регулируемой температурой теплоносителя.

Вместимость метантенка установки 18 $м^3$, газгольдера 20 $м^3$. Установленная мощность установки составляет 53 кВт, производительность по навозу 3 т/сут, по биогазу 3,3 $м^3$ на 1 $м^3$ объема биореактора в сутки.

Отличительная особенность данной установки заключается в применении предварительного нагрева сбраживаемого навоза, которая устраняет возможность отрицательного воздействия холодного навоза на жизнедеятельность метанобразующих бактерий в метантенке при загрузке новой дозы предназначенного к сбраживанию навоза.

Имеются сведения о разработанных биогазовых реакторах с использованием для поддерживания температурного режима биометаногенеза традиционных источников энергии, имеющих интенсивность, превосходящую интенсивность работы рассмотренных выше установок. Из источника /19/ сообщается о разработке БЭУ с расчетной интенсивностью $7м^3/м^3$-сут, однако фактически такого количества биогаза пока не получено.

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

Как видно, по интенсивности газовыделения установки с подогревом за счет традиционных источников энергии являются более производительными, чем установки без подвода теплоты для обогрева сбраживаемой биомассы. Однако такой рост производительности по выделению биогаза достигается значительным усложнением и соответственно ростом капитальных и эксплуатационных затрат на сооружение и обслуживание установки, хотя применение электрической энергии от централизованных электросетей для обеспечения температурного режима сбраживания уже делает нецелесообразным использование таких установок в рассматриваемых нами условиях.

В штате Калифорния (США) построена экспериментальная установка для получения биогаза из навоза животных с использованием солнечной энергии для подогрева сбраживаемого навоза (рис. 1.6).

Процесс производства биогаза по этой схеме осуществляется следующим образом.

Из хранилища твердый навоз конвейером подают в резервуар-накопитель 3, в котором его разбавляют водой и посредством солнечных коллекторов 14 подогревают до нужной температуры. Из накопителя стоки поступают в два метантенка 6, для обработки в анаэробных условиях. Образующийся биогаз отводится в газгольдер 7, а сброженный осадок - в резервуар 8, из которого осадок подают для обезвоживания на центрифугу 9.

Обезвоженный осадок поступает на открытую площадку для высушивания под солнцем и в дальнейшем используется в качестве кормовой добавки, а фугат отводится для удобрения полей. Во время экспериментов обрабатывали навоз от 100 голов крупного рогатого скота и ежесуточно получали 200м^3 биогаза, который сжигали в кормоцехе. Работы по проектированию установки выполнены корпорацией «Биогаз оф Колорадо» /20/.

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

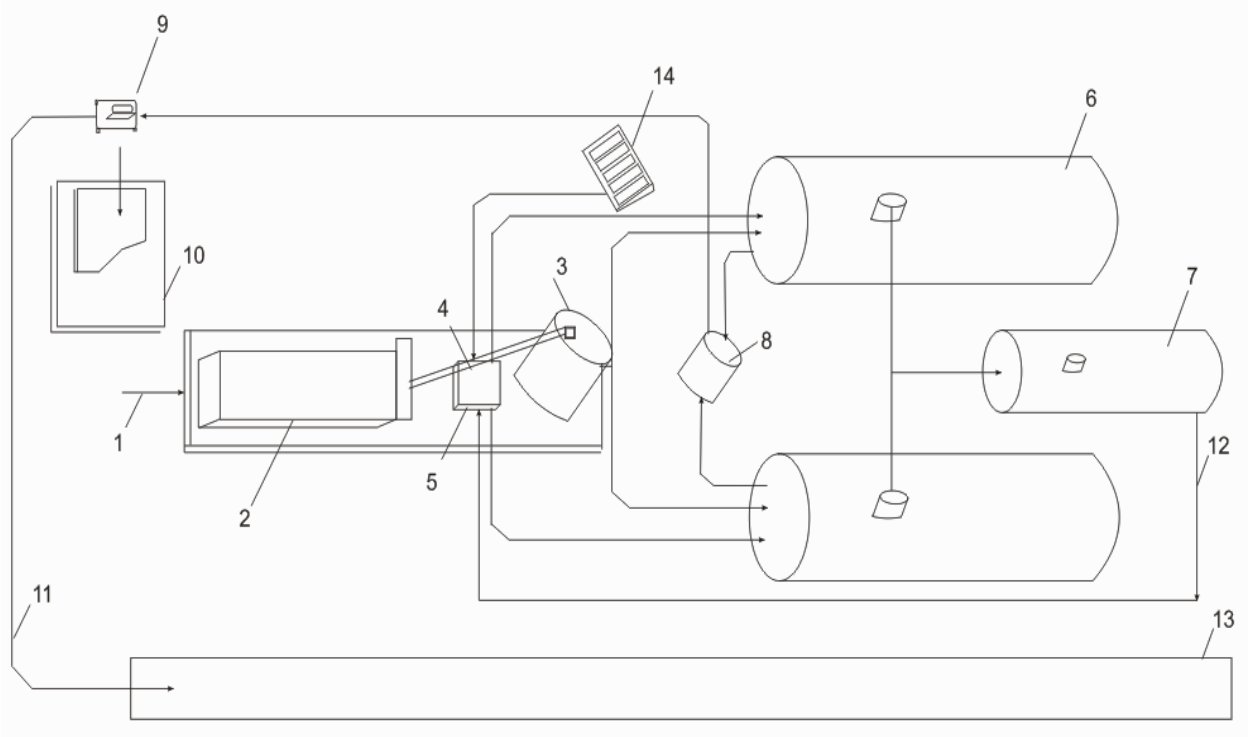

Рис. 1.6. Теплотехническая схема установки для производства биогаза с использованием солнечной энергии: 1–твердый навоз с фермы; 2–расходный склад навоза; 3–резервуар для приготовления навозных стоков; 4–конвейерная установка; 5–водонагреватель; 6–метантенк; 7–газгольдер; 8–резервуар для жидкого навоза; 9–центрифуга; 10–площадка для сушки осадка; 11–фугат; 12–биогаз для использования; 13–-земледельческие поля; 14–солнечный коллектор.

Разработанная сотрудниками ВИЭСХа биоэнергетическая установка с использованием солнечной энергии для подогрева сбраживаемого навоза сооружена в с. Митрофановка Крымской области (рис. 1.7). Где солнечный коллектор, как преобразователь энергии солнечного излучения в тепловую энергию, является основным элементом системы солнечного теплоснабжения приведенных биоэнергетических установок (рис.1.7 и 1.8).

Поскольку количество теплоты, поступающей на землю с солнечным излучением, резко колеблется в течение суток, года, а также в зависимости от местных климатических условий, то система солнечного теплоснабжения биогазового реактора включает (рис. 1.8), кроме солнечного коллектора и

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

другие конструктивные элементы (бак-аккумулятор, теплообменник, циркуляционный насос, трубопроводы и т.д.).

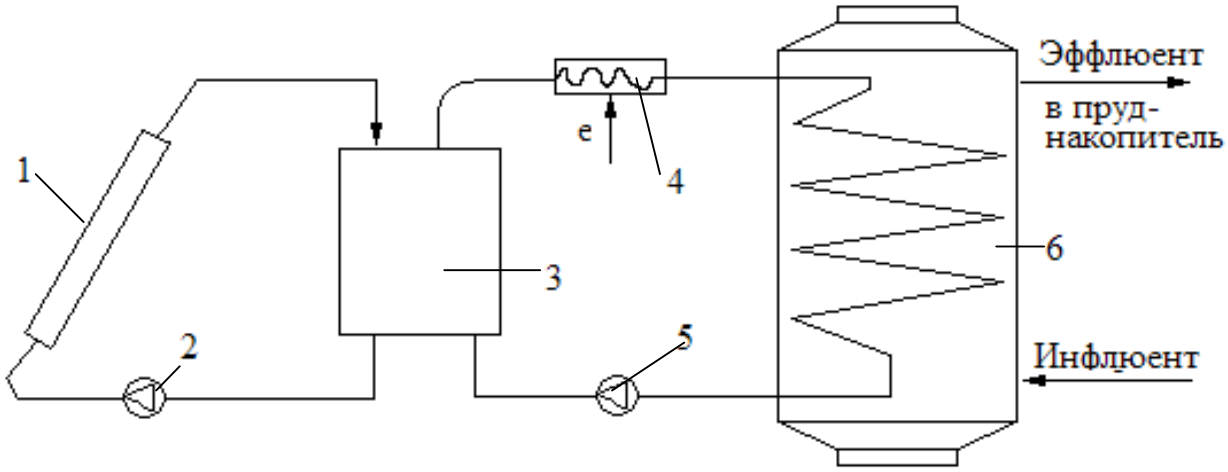

Рис.1.7. Биоэнергетическая установка с использованием солнечной энергии (Крымская область): 1–солнечный коллектор; 2–насос; 3–бак-аккумулятор; 4–котел-подогреватель; 5–насос; 6–метантенк.

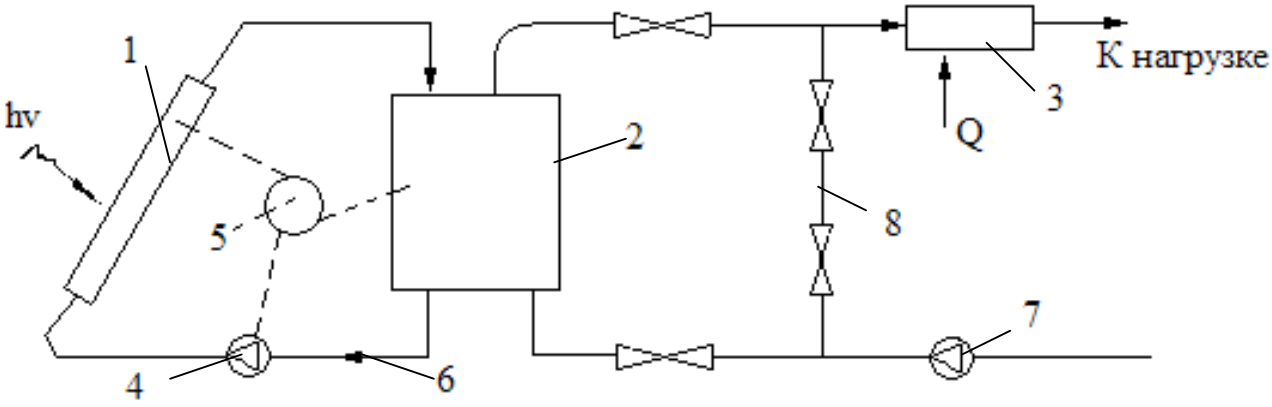

Рис.1.8. Схема солнечного теплоснабжения биогазового реактора: 1–плоский солнечный коллектор; 2–бак-аккумулятор; 3–дополнительный источник энергии; 4–насос; 5–регулятор; 6–обратный клапан; 7–циркуляционный насос; 8–байпасная линия.

Присутствие (для обеспечения рационального режима циркуляции теплоносителя в системе) циркуляционного насоса, запитываемого от централизованного источника электрической энергии делает

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

проблематичным использование такой схемы биоэнергетической установки в рассматриваемых нами условиях.

Французские ученые М.Исман и М.Дюшелье исследовали ферментацию отходов животноводства и создали технологический процесс, названный их именем. Это метод производства биогаза путем цикличного сбраживания твердых субстратов (таких как соломистый навоз), заключающийся в том, что навоз подвергается предварительной аэробной обработке, после чего поступает на анаэробное сбраживание.

Система производства биогаза Дюшелье-Исмана (рис. 1.9) состоит из трех наземных камер прямоугольного сечения с тремя постоянными стенками толщиной 15 см из армированного бетона и одной съемной стенки.

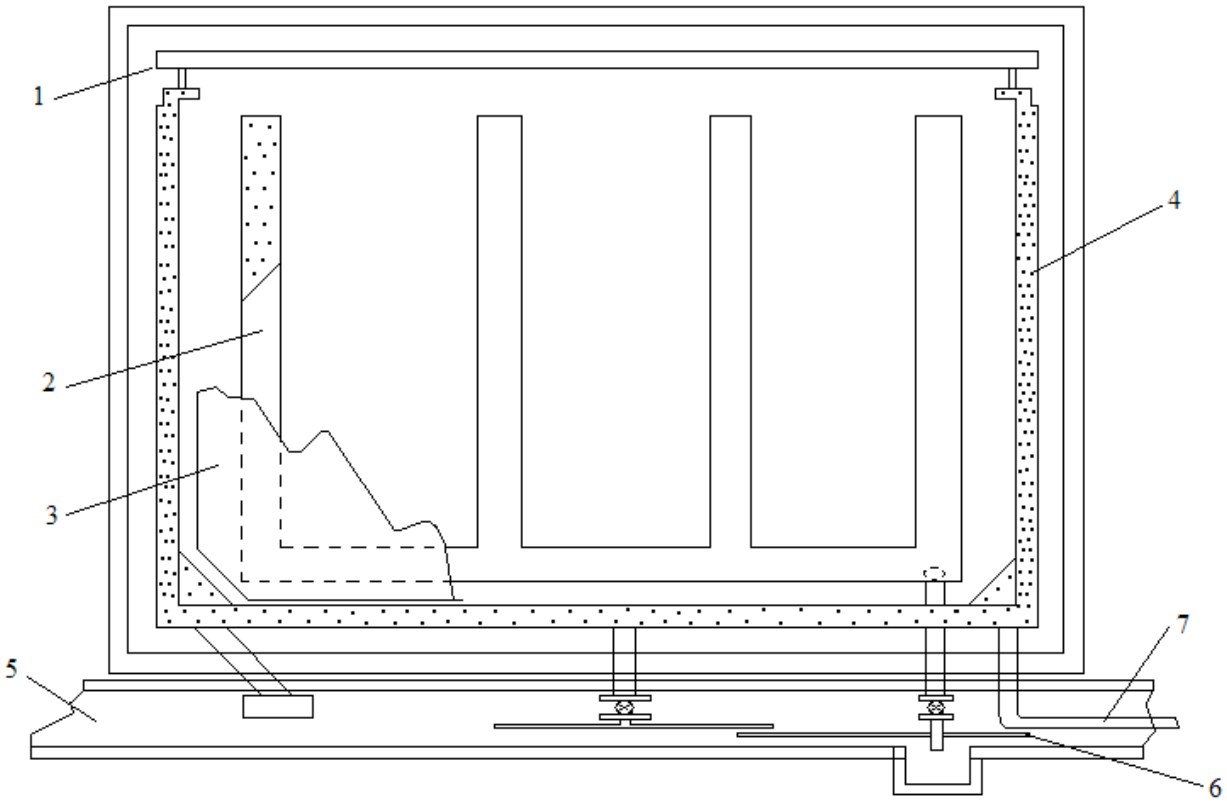

Рис.1.9. Система производства биогаза Дюшелье-Исмана (Франция): 1–съемная стенка; 2–аэрационные каналы; 3–оцинкованная металлическая решетка; 4–постоянная бетонная стенка; 5–технический канал; 6–труба для спуска эффлюента; 7–газоотвод.

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

Каждая камера имеет полезную емкость 9,6 м^3, её дном служит бетонная плита, изолированная снизу слоем полистирола. В этой плитке выдолблены каналы, закрытые сверху оцинкованной металлической решеткой, обеспечивающие циркуляцию воздуха и стекание жидкости в колодец. В ту же плитку встроен электрический нагревательный элемент мощностью 1500 Вт, управляемый автоматически с помощью датчика температуры. Съемная стенка (3,15х1,8м) во время загрузки и опорожнения реактора перемещается с помощью навесного грейферного погрузчика.

После заполнения бродильной камеры навоз аэрируется при помощи вентилятора среднего давления (2...3 кПа), который нагнетает периодически воздух в донную часть камеры. Затем на бродильную камеру накладывают колокол, который обеспечивает теплоизоляцию бродильной камеры и служит для накопления биогаза. Его перемещают при помощи портального крана с двумя лебедками (вертикальный и горизонтальный). После загрузки навоза в реактор выработка газа производится в течение трех месяцев, после чего цикл повторяется.

Выход биогаза с 1 м^3 камеры сбраживания составляет 0,3–0,7 м^3 в сутки, температура сбраживания поддерживается на уровне 20–25°С /21/.

Особенностью этой технологии является применение предварительной аэробной обработки навоза. За счет экзотермических (с выделением тепла) реакций биохимического окисления органических веществ температура навоза повышается до 60–70°С и такая температура в течение 24 часов обеспечивает пастеризацию субстрата, а также окисление в нем тех соединений, которые легко подвергаются гидролизу. В результате ускоряется начало метанового брожения и уже через сутки после создания анаэробных условий начинает выделяться биогаз. В благоприятных климатических условиях, как отмечается, достаточно соответствующей теплоизоляции для поддержания в бродильной камере необходимого температурного режима сбраживания /16/.

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

В Чехии применяют способ производства биогаза и органических удобрений, технологическая схема которого показана на рис. 1.10. По этой схеме биогаз получают из твердого навоза, который сбраживают в специальных емкостях-корзинах 4. Навоз постепенно загружают в корзины 4, после нагревания массы до 55°С за счет теплоты аэробного разложения органического вещества навоза емкость с навозом прикрывают колоколом 1 с помощью крана 2 и создают анаэробные условия сбраживания. Выделившийся в процессе анаэробного сбраживания биогаз собирается в газгольдере 3 и идет для использования к потребителю /22/.

В кооперативе Руде Армада (Чехия), реализована такая технология, где установка с циклической организацией технологического процесса служит для переработки твердого навоза КРС от фермы с поголовьем 1000 коров, содержащихся на привязи с использованием соломенной подстилки.

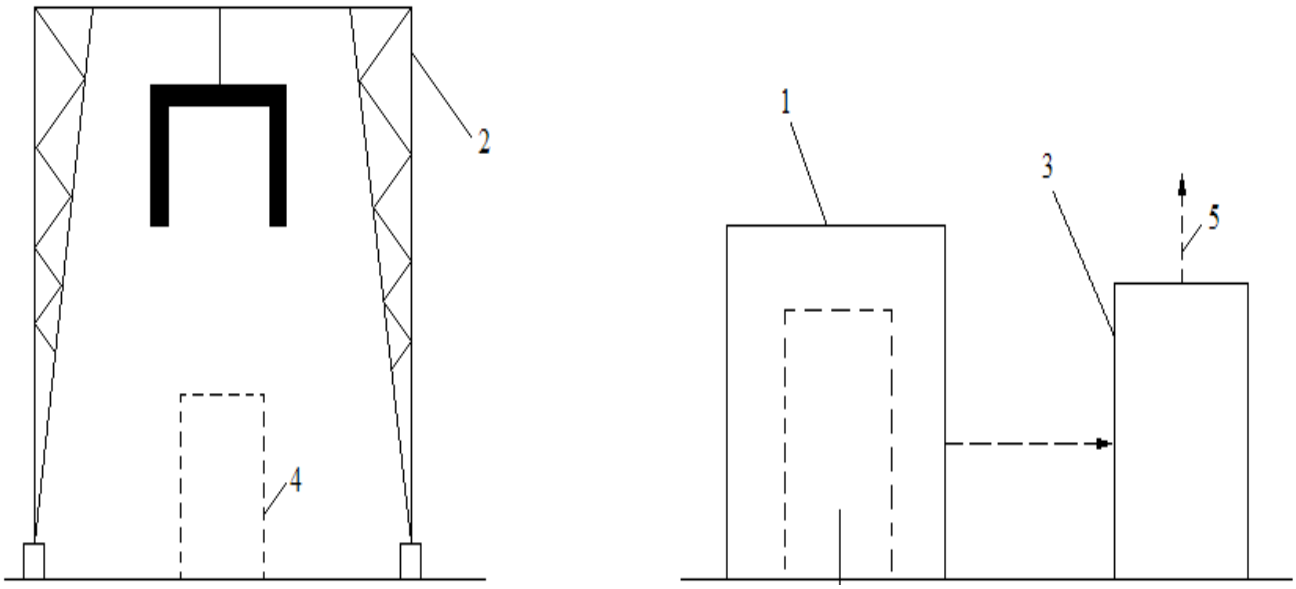

Рис.1.10. Технология производства биогаза с использованием теплоты аэробного разложения биомассы (Чехия): 1–колокол; 2–оборудование манипуляции; 3–газгольдер; 4–корзина; 5–использование биогаза; 6–использование сброженного субстрата.

Установка включает систему для подачи и загрузки в реактор твердого соломистого навоза с влажностью не более 22%. Биореакторы в количестве

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

восьми единиц представляют собой вертикальные цилиндры диаметром [illegible] высотой по 6м и объемом около 170м^3. Оригинальным здесь является схема загрузки биореактора, включающая загрузку внутреннего решетчатого цилиндра твердым навозом, герметизацию его внешним цилиндром-колпаком и проведение процесса с использованием теплоты саморазогрева бродящей биомассы, происходящего при начальной микроаэрофильной фазе процесса.

Сообщается, что фактическая суточная выработка биогаза составила 1300 м^3, срок окупаемости установки (при стоимости 2 млн сом) предполагается около 8 лет /23/. Отличительной особенностью этой технологии получения биогаза является то, что здесь не применяют дополнительный источник теплоты, кроме использования теплоты аэробного разложения биомассы самого навоза. Однако, эксплуатация таких установок с циклической организацией технологического процесса связана со значительными затратами на строительство вспомогательного оборудования для загрузки и выгрузки биореакторов.

Анализ технологических схем биогазовых установок разработанных и применяемых в различных странах мира, в том числе и в нашей республике, показывает, что повышение интенсивности газовыделения при соизмеримой полноте разложения органической составляющей навоза связано эффективностью обеспечения теплового режима сбраживания с затратами значительного количества энергии.

Общие затраты энергии на производство биогаза путем анаэробного метанового сбраживания органических отходов, согласно /24–28/, состоят из затрат тепловой энергии для поддержания необходимого температурного режима в метантенке и затрат механической энергии, главным образом на загрузку, перемешивание и выгрузку сбраживаемого субстрата.

Потребности в тепловой энергии для поддержания необходимого температурного режима в метантенке, в свою очередь, складываются из: количества энергии, необходимого для подогрева до температуры

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

сбраживания субстрата подаваемого в метантенк, и энергии, идущей на компенсацию тепловых потерь через ограждающие поверхности метантенка, вызванных радиацией и теплопроводностью /14, 24, 25/.

По данным /29/, на анаэробное метановое сбраживание в мезофильном режиме (38°С) 1м^3 жидкого навоза необходимо затратить около 206 МДж энергии. Наибольшая доля (78,4%) потребной энергии затрачивается (рис. 1.11) на подогрев навоза до температуры сбраживания и на компенсацию теплопотерь метантенка.

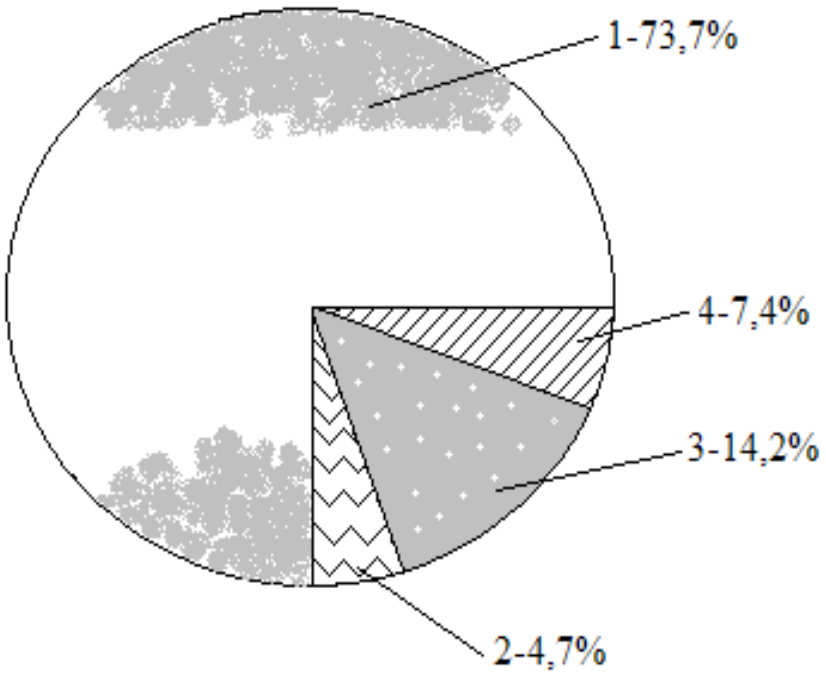

Рис. 1.11. Диаграмма удельных затрат энергии на работу биогазовой установки (мезофильный режим): 1–затраты энергии на подогрев сбраживаемого навоза; 2–затраты энергии на компенсацию теплопотерь метантенка; 3–эквивалентный удельный расход на электропривод (перемешивание); 4–удельные затраты энергии на внутрицеховые нужды.

Анализ удельных затрат энергии на обеспечение процесса анаэробного сбраживания по данным работы /26/ также показывает, что основная часть энергии (более 70%) расходуется на подогрев субстрата до температуры выбранного режима сбраживания (мезофильный режим) и компенсацию тепловых потерь (табл. 1.1).

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

Таблица 1.1. Затраты энергии на анаэробное сбраживание

Виды затрат энергии	Расход энергии, МДж/м^3 в сутки
Загрузка свежего навоза	0,03
Перемешивание в метантенке	0,17...0,35
Сжатие биогаза	0,90
Подогрев сбраживаемого навоза в метантенке и компенсация теплопотерь	5,5...15,0
Утилизация сброженного навоза	0,60
Всего затрат энергии	7,2...16,88

Для малогабаритного биогазового реактора, предназначенного к обеспечиванию потребностей в биогазе на бытовые нужды локальных потребителей в сельской местности, можно обойтись механической загрузкой, перемешиванием и выгрузкой сбраживаемого субстрата и основную трудность представляет, как видно из представленных данных, обеспечение необходимого теплового режима внутри камеры анаэробного сбраживания (метантенка).

Потребность в теплоте для компенсации теплопотерь через стенки метантенка может быть снижена путем применения соответствующей теплоизоляции ограждающих поверхностей метантенка, следовательно, общая потребность в теплоте для биогазового реактора определяется главным образом затратами на подогрев субстрата до температуры сбраживания /14/.

Для этой цели, как известно, возможно получение из имеющихся в наличии местных сельскохозяйственных отходов 15000 кДж теплоты в расчете на 1кг кислорода в результате процессов жизнедеятельности аэробных мезофильных и термофильных бактерий /30–32/.

Проведенные ранее исследования, в этом направлении, непосредственно не касаются условий районов с отсутствием централизованного электроснабжения. По имеющимся данным разработать

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

технологические и технические решения биоэнергетических установок с автономным теплоснабжением процесса метанового сбраживания органических отходов затруднительно и возникает необходимость проведения дополнительных теоретических и экспериментальных исследований.

При этом в ходе решения вопросов по обоснованию структуры и параметров технологического оборудования, учитывая условия функционирования фермерских хозяйств в регионах с децентрализованным энергоснабжением придерживались концепции создания малогабаритных мобильных автономных биоэнергетических установок, позволяющих обеспечить гарантированный минимум энергоснабжения быта в фермерском хозяйстве.

1.3. Обоснование и целесообразность использования двигателя Стирлинга в технологической схеме утилизации биогаза

Разработка автономных когенерационных энергетических установок с использованием ВИЭ, в последнее время привлекают повышенный интерес исследователей.

Это объясняется тем обстоятельством, что использованию автономных энергетических установок на базе местных ресурсов ВИЭ для энергообеспечения локальных потребителей в зонах с отсутствием централизованного электроснабжения в большинстве случаев нет альтернативы.

При этом, например, как уже подчеркивалось в настоящей работе, подвод или сооружение новых линий электропередач с трансформаторными подстанциями для потребителей в отдаленных районах, невозможно по финансовым и техническим причинам.

Автономное же энергообеспечение с использованием дизель - или бензогенераторов оказывает отрицательное воздействие на окружающую среду и требует завоза дорогостоящего топлива.

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

Поэтому в целях преобразования тепловой энергии получаемого при сбраживании органических отходов биогаза в механическую, и далее в электрическую энергию, по предлагаемой нами технологической схеме выбран двигатель Стирлинга /33, 34/.

Выбор двигателя Стирлинга (ДС), как преобразователя тепловой энергии в механическую (электрическую) энергию был обоснован следующими его достоинствами /35/: безразличность к источнику тепловой энергии (использование газообразного, жидкого или твердого топлива, солнечный источник теплоты и др.); имеет замкнутый рабочий процесс, следовательно, не отравляет окружающую среду выхлопными газами; бесшумность работы и широкий диапазон мощностей.

ДС, представляет собой тепловой двигатель с внешним подводом теплоты, принцип работы которой заключается в попеременном нагреве и охлаждении заключенного в изолированном пространстве рабочего тела (в качестве рабочего тела обычно используется воздух, гелий или водород).

При этом преобразование тепловой энергии в механическую происходит посредством сжатия постоянного количества рабочего тела при низкой температуре и последующего (после периода нагрева) его расширения при высокой температуре.

Поскольку работа, затрачиваемая поршнем на сжатие рабочего тела, меньше работы, которую поршень совершает при расширении рабочего тела, двигатель вырабатывает полезную механическую энергию.

В настоящее время известны следующие основные модификации ДС.

Двигатель Стирлинга α - модификации (рис. 1.12.) представляет собой V–образный двигатель, поршни которого имеют общий коленчатый вал. Объемы сжатия и расширения размещены в полостях над поршнями и связаны между собой через регенератор и дополнительные теплообменники.

Характерной особенностью двигателей α - модификации является отсутствие специального поршня-вытеснителя. Каждый поршень

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

размещается в отдельном цилиндре и выполняет функции, как рабочего поршня, так и вытеснителя. Двигатель, имеет угол развала цилиндров 90^0.

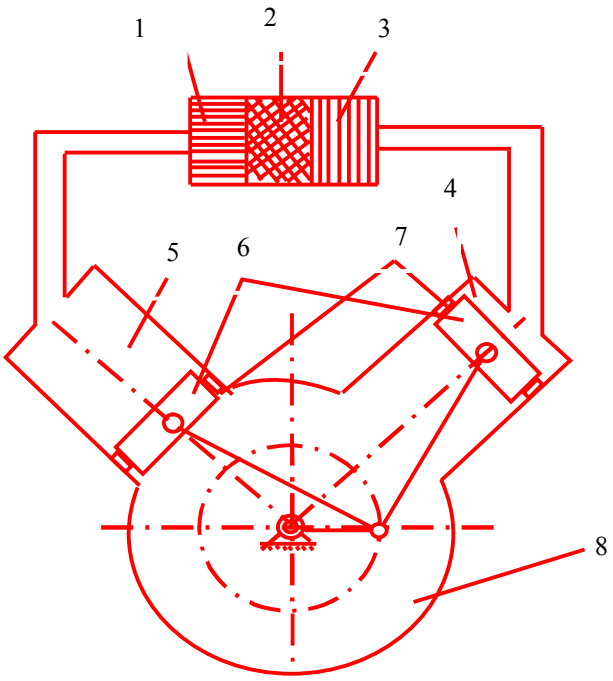

Рис. 1.12. Двигатель Стирлинга α- модификации: 1–нагреватель; 2–регенератор; 3–холодильник; 4–холодная полость; 5–горячая полость; 6–рабочая и вытеснительная поршни; 7–уплотнительные и направляющие кольца; 8–картер двигателя.

В холодном 4 и в горячем 5 цилиндрах установлены поршни 6. На поршнях установлены комплекты направляющих и уплотнительных колец 7. Возвратно-поступательное движение поршней при помощи кривошипно-шатунного механизма преобразуется во вращательное движение коленчатого вала.

Горячая и холодная полости сообщаются через тракт нагревателя 1, регенератора 2 и холодильника 3. В качестве подшипников для коленчатого вала и головках шатунов используются подшипники качения. Картер двигателя находится под давлением и выходной носок коленчатого вала на месте выхода из картера уплотняется втулочным подвижным уплотнительным устройством.

Конструкция двигателей типа β (рис. 1.13), была предложена Стирлингом еще 1816 году, и оказалось очень жизнеспособной.

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

В современных двигателях этого типа сохранились основные элементы первого двигателя Стирлинга.

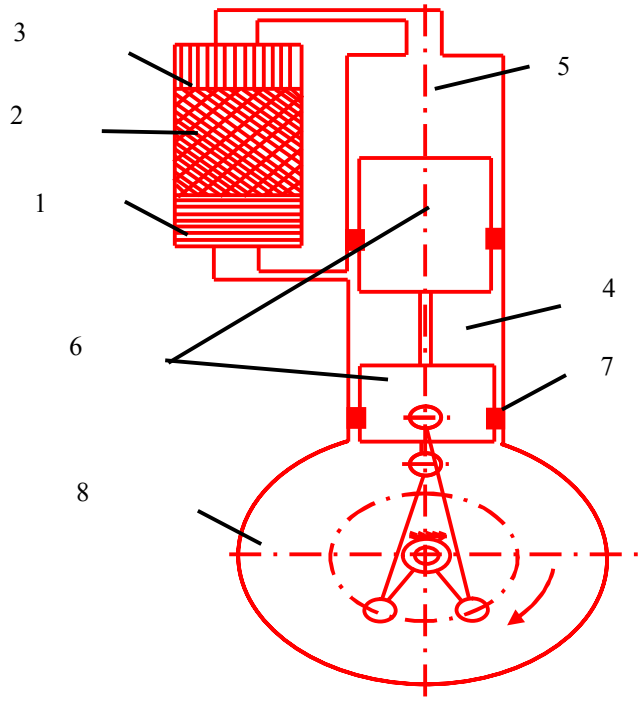

Рис. 1.13. Двигатель Стирлинга β–модификации: 1–нагреватель; 2–регенератор; 3–холодильник; 4–холодная полость; 5–горячая полость; 6–рабочая и вытеснительная поршни; 7–уплотнительные и направляющие кольца; 8–картер двигателя.

Поршень-вытеснитель и рабочий поршень в этом типе двигателей находятся в одном цилиндре, причем поршень-вытеснитель циклически перекачивает рабочий газ из горячего объема в холодный и обратно, а рабочий поршень производит процессы сжатия и расширения рабочего газа.

К двигателям Стирлинга типа γ относятся двигатели, в которых поршень-вытеснитель и рабочий поршень расположены в разных цилиндрах. Конструктивная схема такого типа двигателей изображена на (рис. 1.14).

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

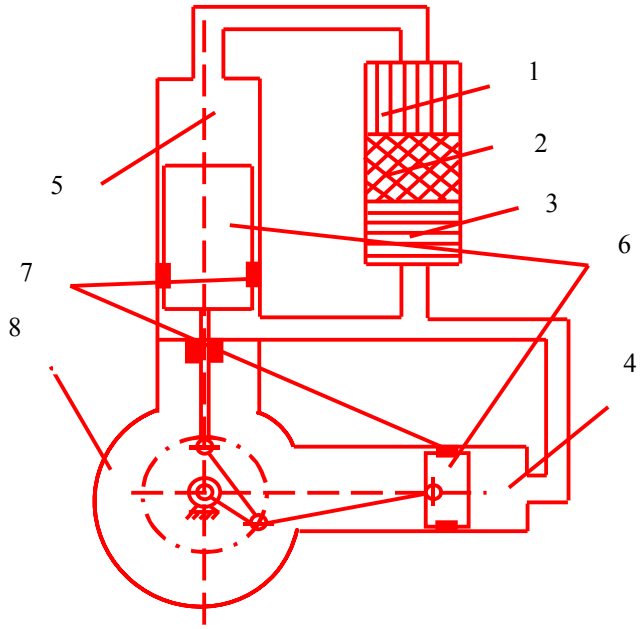

Рис. 1.14. Двигатель Стирлинга γ–модификации: 1–нагреватель; 2–регенератор; 3–холодильник; 4–холодная полость; 5–горячая полость; 6–рабочая и вытеснительная поршни; 7–уплотнительные и направляющие кольца; 8–картер двигателя.

Размещения поршня - вытеснителя и рабочего поршня в разных цилиндрах увеличивает мертвый объем двигателя и ухудшает параметры цикла по сравнению с двигателем β - модификации.

Энергетические установки с ДС, разработанные на сегодняшний день, в зависимости от функционального назначения, в состоянии вырабатывать электрическую мощность от нескольких Ватт до нескольких сот кВт. В настоящее время в разработках по созданию энергетических установок с ДС участвует большое количество фирм различных стран, в том числе "Foster Miller Corp" (США), "Wrede Ky" (Франция), "Dornier" (ФРГ), "Sofretes" (Франция) и др. Эти работы направлены на повышение эффективности и на упрощение и удешевление энергоустановок с двигателем Стирлинга /36/.

В настоящее время, будущее двигателей Стирлинга, представляется более перспективным. Низкий уровень шума, малая токсичность отработавших газов, возможность работы на различных топливах, большой ресурс, сравнимые размеры и масса, хорошие характеристики в режимах

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

частичной нагрузки и благоприятные характеристики крутящего момента все эти параметры дают возможность «бросить вызов» двигателям внутреннего сгорания. Однако двигатели с искровым зажиганием и дизели с их большим разнообразием будут являться еще достаточно сильными конкурентами до тех пор, пока высококачественные очищенные топлива (бензин и дизельное топливо) остаются доступными при их относительном избытке на рынке. По мере истощения природных ресурсов стремление к всеобщей экономии в энергетике станет неизбежным. Естественно, что при таких обстоятельствах двигатель Стирлинга в сочетании подзаряжаемой теплоаккумулирующей системой может оказаться доминирующим в двигательных установках для автомобилей.

Можно гарантировать использование двигателей Стирлинга для стационарных энергетических систем в широком диапазоне мощностей.

Двигатель, работающий от ВИЭ – это неиссякаемый, но в то же время нерегулярный источник энергии, который в последнее время вновь привлек внимание исследователей, использующих для самых различных его применений различные устройства. Обычно конечной целью является выработка электрической энергии.

Идеальный термодинамический цикл двигателя Стирлинга обладает термическим КПД, равным максимально возможному теоретическому и составляет 30-40%. КПД двигателя остается почти постоянным в широком диапазоне условий его работы. Но следует учитывать, что двигатель Стирлинга может работать с высоким КПД только при наличии эффективного регенератора. Наиболее эффективно двигатель работает при постоянных значениях скорости и мощности.

Нагрев, охлаждение и регенерация рабочего тела в двигателе осуществляется с помощью встроенных теплообменников, которые должны работать в среде, не содержащей масел, что предотвращает их засорение. В двигателе расходуется довольно малое количество смазочных материалов. Среднее давление в цилиндре, как правило, находится в пределах 10...20

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

МПа. При таких колебаниях давления требуется совершенная систем уплотнений для предотвращения утечки рабочего тела в картер, а также попадания смазочных материалов в рабочие полости, что может вызвать увеличение потери давления и снижение выходной мощности.

В настоящее время в большинстве установок с двигателями Стирлинга применяется жидкое топливо из-за простоты его использования и из-за требований, обусловленных конкретным назначением установки.

Для нагрева рабочего тела применяют непрерывный процесс горения, что позволяет сжигать различные виды топлива, которые, эффективно сгорая, не создают опасности попадания твердых частиц из топлива, окислителя или окружающего пространства в рабочие цилиндры.

При использовании для сжигания жидкого топлива непрерывное горение можно легко регулировать, в результате чего резко снижается уровень выбросов, особенно несгоревших углеводородов и окиси углерода. Отсутствие клапанов в основном корпусе двигателя Стирлинга и работа без периодических взрывов в цилиндрах означают, что устранены основные источники шума, как газодинамического, так и механического. Это делает двигатель Стирлинга существенно менее шумным, чем другие устройства.

Отношение мощности к массе у двигателя Стирлинга сопоставимо с аналогичным показателем дизельного двигателя с турбонаддувом.

Удельная мощность на выходе такая же, как и у дизельного двигателя. Крутящий момент практически не зависит от скорости.

Двигатель Стирлинга реагирует на изменения нагрузки аналогично дизелю, но требует более сложной системы регулировки, он более сложен, чем обычные тепловые двигатели. Стоимость его изготовления выше стоимости изготовления ДВС, однако, расходы на эксплуатацию гораздо меньше.

Стоимость является одной из немаловажных вопросов, возникающих при создании автономных энергоустановок с ДС.

Оценка стоимости ДС всегда затруднительна, а её прогноз с учетом будущих разработок весьма неточен. Стоимость энергоустановок

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

определяется различными факторами, как: затраты труда, материалы, разработка конструкции, эксплуатация и техническое обслуживание. Этот список не является исчерпывающим. Многие составляющие стоимости зависят от массовости производства. Зависимость стоимости продукции от массовости производства означает, что при мелкосерийном производстве продукция одного типа дороже продукции того же типа, выпускаемого крупносерийно.

По мере того, как энергоустановка становиться более массовым и менее исследовательским, то ее стоимость будет резко падать. Например, если установка малой мощности (до 5 кВт) будет выпускаться 1000 единиц в год, то ее стоимость по сравнению с ее стоимостью при индивидуальном изготовлении может уменьшиться в 30 раз.

Сравнительный анализ (табл. 1.2) стоимости изготовления и продажной цены различных двигателей показывает, что двигатели Стирлинга дороже других двигателей. Однако, если учитывать увеличение в перспективе годового объема выпуска и расширение области применения, они могут стать экономически все более конкурентоспособными.

Таблица 1.2. Стоимость изготовления и продажные цены ДВС и ДС /36/.

Тип двигателя	Мощность двигателя 75 кВТ при годовом объеме выпуска на уровне 400000 шт.			
	Удельная стоимость, долл/кВт	Доля материала и оборудования, %	Удельная цена, долл/кВт	Разница в цене по отношению к бензиновым ДВС, %
Бензиновый двигатель	12,06	59,7	25,25	-
Дизельный двигатель	12,49	60,5	26,53	+5,1
Двигатель Стирлинга	19,89	69,7	39,74	+57,4

Примечание: Здесь, объем выпуска для двигателей Стирлинга конечно, завышенные, но для двигателей внутреннего сгорания они обычные.

Для исследований в рамках Международной научной программы НАТО «Наука ради мира» SfP Project 972296 «Разработка энергетической

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

установки с двигателем Стирлинга мощностью 3 кВт с комбинированным солнечно-газовым теплоподводом» нами был использован экспериментальный образец двигателя Стирлинга α–модификации /37/ с встроенным электрогенератором, в котором в качестве источника тепловой энергии был использован биогаз.

При использовании в ДС газообразного топлива, эффективность подвода теплоты к рабочему телу зависит от эффективности работы топочно-горелочного устройства, что в конечном итоге определяет эффективность работы ДС как преобразователя тепловой энергии в целом.

1.4. Постановка задач исследования

В связи с переходом Кыргызстана на новые рыночные условия хозяйствования на базе бывших колхозов и совхозов созданы мелкие частные фермерские хозяйства, которые стали играть определяющую роль в сельском хозяйстве.

Жители сельских местностей Кыргызстана, знают, что самым надежным и испытанным путем становления крепкого хозяйства лежит через разведение домашнего скота и выращивание сельскохозяйственных культур. Поэтому в последнее время наблюдается тенденция оседания людей в горных и высокогорных местностях республики, образуя малочисленные компактные фермерские хозяйства.

При этом особой проблемой является энергообеспечение быта значительного количества фермерских хозяйств в горных и предгорных районах республики.

Энергообеспечение фермерского быта, из-за перебоев либо отсутствия возможностей подключения к централизованным электросетям, обеспечиваются за счет вырубки лесонасаждений, приводящей к нарушению экологического баланса и опустыниванию пастбищных угодий с усилением процессов эрозии почвы.

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

Возникшие проблемы вызывают необходимость изыскан... альтернативных путей энергоснабжения быта рассредоточенных потребителей в горных районах Кыргызстана за счет местных ресурсов возобновляемых источников энергии, в том числе биогаза, получающегося в процессе анаэробной конверсии органических отходов сельского хозяйства.

Наличие больших массивов высокогорных пастбищ и сенокосов, способствует значительному увеличению поголовья крупного рогатого скота, благодаря чему Кыргызстан обладает огромным потенциалом для использования нетрадиционных источников энергии на основе использования биологических отходов.

С технологической точки зрения переработка органических отходов с получением биогаза может быть представлена как двухстадийный процесс, требующий обеспечения необходимого температурного режима сбраживания за счет подвода теплоты от внешнего источника энергии.

Анализ удельных затрат энергии на процесс анаэробного сбраживания в биогазовых реакторах показывает, что основная часть энергии (более 75%) расходуется на подогрев субстрата до температуры выбранного режима сбраживания и на компенсацию тепловых потерь через ограждающие конструкции реактора.

Для малогабаритного биогазового реактора, предназначенного к обеспечению потребностей в топливе на бытовые нужды локальных потребителей (потребности в переводе на биогаз составляют 3–5 $м^3$/сутки), можно обойтись механической загрузкой, перемешиванием и выгрузкой сбраживаемого субстрата и основную трудность представляет создание необходимого теплового режима внутри камеры анаэробного сбраживания (метантенка).

В большинстве работ по исследованию биогазовых систем для этой цели рассматриваются способы подогрева сбраживаемого субстрата с использованием электрической энергии от централизованных электросетей.

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

Анализ потенциала возобновляемых источников энергии в Кыргызской Республике и предварительные теоретически-экспериментальные исследования по созданию комбинированной автономной биоэнергетической установки с использованием теплоты анаэробного разложения биомассы показали, что в целях создания комбинированной автономной биоэнергетической установки с эффективным непрерывным режимом сбраживания наиболее подходящим источником энергоснабжения биогазового реактора является энергия солнечного излучения. Использование солнечных коллекторов, фотоэлектрической системы и двигателя Стирлинга в технологической схеме увеличивает технические возможности одновременного получения и тепловой и электрической энергии и тем самым приводит к увеличению КПД установки в целом.

Исследования, проведенные ранее в этом направлении, непосредственно не касаются условий рассредоточенных потребителей в горных районах.

На основании вышеприведенных сведений можно сделать вывод что, для автономного энергоснабжения потребителей горных и предгорных местностях Кыргызстана целесообразно использовать энергию биогаза, получаемого анаэробным сбраживанием органических отходов в биоэнергетических установках.

Отсутствие научно-обоснованных технических решений биогазовых реакторов применительно к условиям расположения потребителей в местностях с недостаточно развитой инфраструктурой и отсутствием централизованного электроснабжения, требует разработки технологий производства биогаза (с учетом рассматриваемых нами условий локальных потребителей в районах с децентрализованным энергоснабжением) на основе анализа теоретических аспектов осуществления биогазовой технологии переработки органических веществ.

В частности, необходимо решение вопросов: выбора рациональной технологической схемы комбинированной автономной биоэнергетической

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

установки с учетом энергоснабжения быта в фермерском хозяйстве; обоснования параметров технологического оборудования при использовании для поддержания необходимого температурного режима в метантенке местных ресурсов возобновляемых источников энергии; применения новых технических решений, позволяющих достичь повышения эффективности утилизации биогаза.

Целью диссертационной работы является исследование и разработка новых научно-технических решений по созданию комбинированных автономных биоэнергетических установок для фермерских хозяйств расположенных в отдаленных районах.

Задачи исследования:

- проведение теоретических исследований для определения основных параметров технологического оборудования и выбора технологической схемы комбинированной автономной биоэнергетической установки ;
- разработка технологической схемы биоэнергетической установки с двухстадийным процессом анаэробного сбраживания биомассы;
- анализ процесса утилизации продуктов анаэробной конверсии органических отходов и разработка прогрессивных технических решений с использованием возобновляемых источников энергии;
- обоснование целесообразности применения двигателя Стирлинга в технологической схеме автономной биоэнергетической установки, для обеспечения потребителей электрической энергией и дополнительного обогрева биореактора;
- разработка топочно-горелочного устройства для обеспечения полного сгорания биогаза и улучшения процесса теплоподвода к рабочему телу двигателя Стирлинга;
- проведение экспериментальных исследований по обоснованию технологического режима анаэробного сбраживания органических отходов в биореакторе.

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

ВЫВОДЫ ПО ПЕРВОЙ ГЛАВЕ

1. Проведен анализ ресурсов возобновляемых источников энергии в Кыргызской Республике. Установлено, что одним из перспективных направлений использования нетрадиционных источников энергии является использование энергии биомассы.
2. Проведен обзор конструкций существующих биогазовых установок в Кыргызстане и за рубежом. Установлено что из построенных в Кыргызской Республике биогазовых установок более 70 с обогревом и изоляцией метантенка, при этом все они предусматривают подогрев за счет стационарно подведенной электрической энергии.
3. На основе проведенного анализа обоснована целесообразность использования двигателя Стирлинга в технологической схеме комбинированной автономной биоэнергетической установки в качестве оборудования для выработки электрической энергии.

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

ГЛАВА 2
РАЗРАБОТКА И АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ АВТОНОМНЫХ БИОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

2.1. Физическая сущность тепломассообменных процессов в метантенке

Процесс биометаногенеза осуществляется в герметически закрытой емкости – метантенке (МТ), в которой создаются оптимальные условия для жизнедеятельности метанобразующих бактерий. Метантенк является основой любой БЭУ по производству биогаза, где общее устройство и принцип работы всех биогазовых систем одинаков.

После доведения сырья до нужной кондиции по влажности и фракционному составу в специальной емкости, оно подается в метантенк (рис. 2.1). Посредством подогревающего и перемешивающего устройств метантенка создаются условия для оптимизации анаэробного процесса сбраживания. Средства контроля и автоматизации процесса сбраживания в метантенке предусматриваются в наиболее совершенных установках.

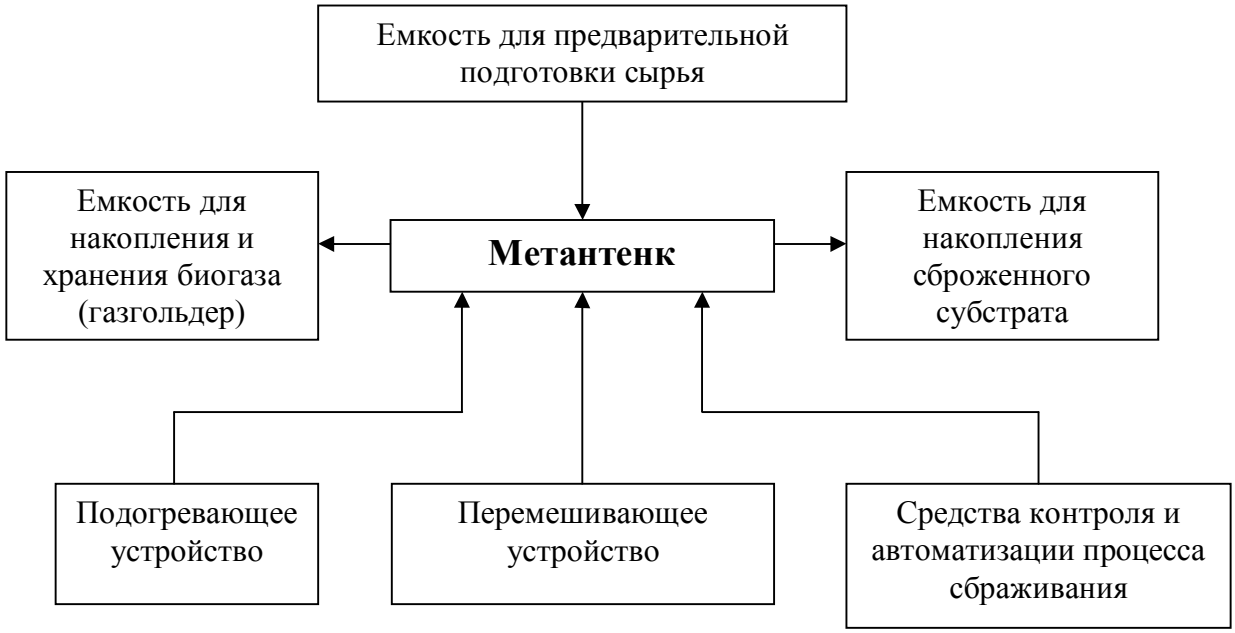

Рис.2.1. Общее устройство биогазовой системы для анаэробной переработки органических отходов сельскохозяйственного производства.

С точки зрения статической прочности и создания условий для биогазовыделения предпочтительны метантенки яйцеобразной формы (рис. 2.2.а), однако высокая стоимость изготовления таких резервуаров существенно ограничивает их применение /14/. Поэтому из-за относительно простой технологии изготовления, в качестве намечаемых к применению в сельском хозяйстве реакторов малой вместимости наиболее широко применяются стальные и пластиковые конструкции цилиндрической формы (рис. 2.2.б).

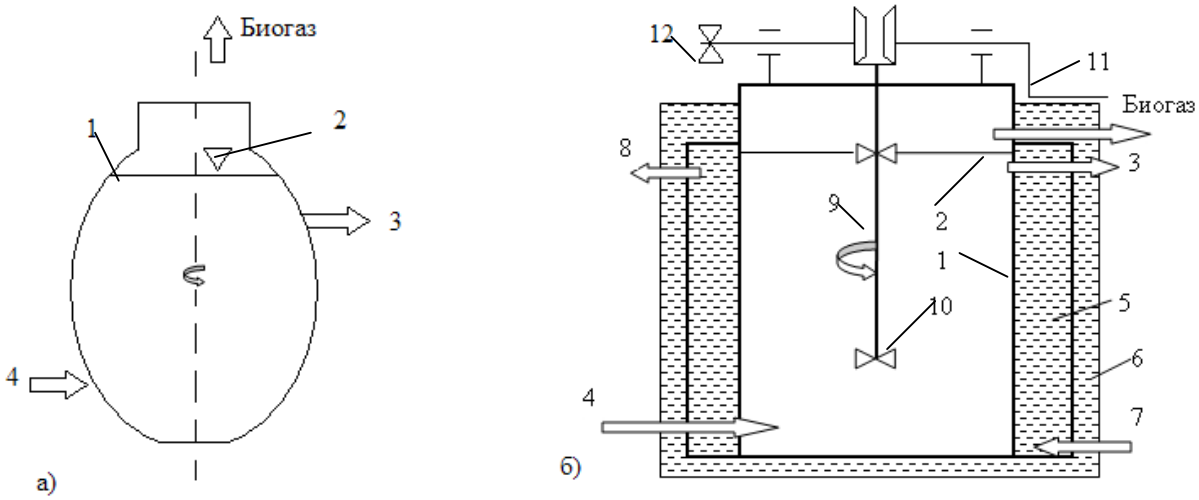

Рис. 2.2. Варианты конструктивного выполнения метантенка: 1–герметичный резервуар; 2–плавающая горка; 3, 4–вход и выход сбраживаемой биомассы; 5–водяная рубашка метантенка; 6–тепловая изоляция; 7, 8–вход и выход теплоносителя; 9, 10–вал и лопасти мешалки; 11–ручной привод мешалки; 12–ветряное колесо.

Для достижения и поддержания необходимого температурного режима сбраживания в метантенке предусматривают подогревающее устройство в различных конструктивных исполнениях, учитывая что, температура теплоносителя непосредственно соприкасающейся со сбраживаемой биомассой не превышала 60–70°С. Более высокая температура повышает риск налипания взвешенных частиц на поверхности теплообменника.

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

В целях теплоснабжения метантенка цилиндрической формы небольшой вместимости нами рекомендуется выполнение подогревающего устройства в виде водяной рубашки метантенка. При такой компоновке боковые стенки метантенка можно изготовить из материала с хорошей теплопроводностью, улучшая теплопередачу к сбраживаемой биомассе, а необходимая теплоизоляция наносится с внешней стороны стенки (из материала с низкой теплопроводностью) водяной рубашки.

Расчет теплообменных процессов, в таком случае, производится используя методику расчета рекуперативного теплообменника с перекрестным током, где наибольшую трудность представляет определение коэффициента теплоотдачи от сбраживаемой биомассы к стенке метантенка.

Величина этого коэффициента зависит от гидродинамических факторов (скорости и характера движения биомассы), физических факторов (вязкости, плотности, теплоемкости и теплопроводности сбраживаемой биомассы), а также от геометрических параметров поверхности теплообмена. Поэтому для его определения обычно применяют теорию подобия, учитывая механизм переноса тепла и интенсивность теплообмена.

Перенос теплоты внутри метантенка осуществляется одновременным действием теплопроводности, конвекции, а также за счет движения сбраживаемой биомассы, происходящего в результате выделения биогаза.

Явление теплопроводности определяется коэффициентом теплопроводности и температурным градиентом. Иначе обстоит дело с явлением конвекции. Здесь процесс переноса теплоты неразрывно связан с переносом самой среды и имеет место свободное движение, происходящее вследствие разности плотностей нагретых и холодных частиц в поле тяжести, т.е. движение, возникает без внешнего побуждения в результате самого процесса теплообмена. Возникновение и интенсивность свободного движения определяется тепловыми условиями процесса, зависит от рода теплоносителя (сбраживаемой биомассы), разности температур,

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

напряженности гравитационного поля и объема пространства, в котором происходит процесс теплообмена.

Механизм теплоотдачи при перемешивании сбраживаемой биомассы происходящего в результате выделения биогаза можно представить следующим образом. Зарождающиеся по всему объему сбраживаемой биомассы частицы биогаза, прорываясь на поверхность, выталкивают по всему периметру пристенного слоя порции биомассы, которые вызывают вынужденное движение.

Таким образом, критериальное уравнение для теплоотдачи при совместном свободно-вынужденном движении теплоносителя имеет вид /38/:

$$\mathrm{Nu} = \mathrm{f}(\mathrm{ReGrPr}) \qquad (2.1)$$

где Nu – критерий Нуссельта, характеризующий условия теплообмена на границе между стенкой метантенка и сбраживаемой биомассой; Gr – критерий Грасгофа, характеризующий гидродинамический режим свободного движения теплоносителя; Pr –критерий Прандтля, характеризующий теплофизические свойства теплоносителей; Re – критерий Рейнольдса, характеризующий гидродинамический режим вынужденного движения теплоносителя.

При этом зависимости определяющие безразмерные критерии теории подобия имеют вид:

$$\mathrm{Nu} = (\alpha d)/\lambda \qquad (2.2)$$

$$\mathrm{Gr} = g l^3 \beta \Delta t / \nu^2 \qquad (2.3)$$

$$\mathrm{Pr} = \nu / a \qquad (2.4)$$

$$\mathrm{Re} = \omega l / \nu \qquad (2.5)$$

где α–коэффициент теплоотдачи, Вт/(м^2·К); λ–коэффициент теплопроводности Вт/(м·К); l,d–определяющие (характерные) линейные размеры поверхности теплообмена (высота цилиндрического метантенка или его диаметр), м; g– ускорение силы тяжести, м/с^2; β –коэффициент объемного расширения, l/К; Δt–разность температур теплоносителя и стенки, К; α–

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

коэффициент температуропроводности, м^2/с; *ν*–коэффициент кинематической вязкости, м^2/с; ω– скорость теплоносителя, м/с.

Если учесть, что максимальная скорость сбраживаемой биомассы в виде навоза животных в результате выделения биогаза не превышает $3 \cdot 10^{-4}$ м/с /25/, можно считать вынужденное движение несущественным, в силу этого критерий Рейнольдса перестает быть определяющим и может быть опущен из уравнения (2.1) (допущение) /38, стр.57/. Следовательно, для определения коэффициента теплоотдачи от сбраживаемой биомассы к стенке метантенка используется критериальная зависимость, справедливая для процесса теплоотдачи при совместном свободно-вынужденном движении теплоносителя, при условии, что вынужденное движение несущественно /25/:

$$\mathrm{Nu} = c(\mathrm{GrPr})n \qquad (2.6)$$

где *c, n*–коэффициенты, значения которых зависят от режима движения сбраживаемой биомассы и определены экспериментально в работе /25/ в зависимости от содержания сухого вещества в исходной биомассе в виде навоза КРС и дозы суточной загрузки метантенка (табл. 2.1).

Таблица 2.1. Значения коэффициентов «*c*» и «*n*» в критериальном уравнении

Наименование коэффициентов	Доза загрузки метантенка, в процентах			
	5	10	20	25
c	1,008	0,996	1,021	1,001
n	-0,102	-0,09	-0,089	-0,108

2.2. Выбор технологической схемы биоэнергетической установки

Несмотря на относительную простоту устройства и множество различных биогазовых установок разработанных в разных странах, они не находят широкого применения в большинстве фермерских хозяйств нашей республики. Основной причиной этого является то, что выбор технологической схемы осуществления процесса сбраживания в каждом случае сооружения биогазовой системы должно производиться с учетом

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

большого количества факторов, являющихся специфическими для конкретного места предполагаемого сооружения установки.

Специфическими факторами являются: наличие достаточного количества определенного вида сырья для сбраживания, наличие соответствующей инфраструктуры для обеспечения оптимальных условий проведения процесса и фактор обеспеченности техническими и финансовыми средствами для сооружения установки у потенциальных потребителей биоэнергетических установок в сельской местности.

Необходимо также учитывать особенности сельских рассредоточенных потребителей, обусловленных низким качеством или отсутствием централизованного энергоснабжения.

Основным требованием к технологическим схемам и конструктивным решениям при проектировании комбинированных автономных БЭУ, является обеспечение эффективного энергоснабжения полностью на основе использования ВИЭ, в частности энергии солнца.

При этом необходимого результата нужно добиться на основе комплексного подхода, суть которого заключается в одновременном обеспечении потенциальных потребностей в энергии биогазового реактора и гарантированного минимума энергоснабжения фермерского хозяйства с соблюдением экономических и экологических требований.

Рис.2.3. Схема математического моделирования биоэнергетической установки.

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

Таким образом, математическое моделирование с целью оптимизации технологических и конструктивных параметров БЭУ должно проводиться с учетом того, что одним из ключевых вопросов создания автономных биогазовых систем для рассредоточенных сельских потребителей является выбор рациональной технологической схемы БЭУ в соответствии с особенностями конкретного места сооружения установки (рис. 2.3).

Разработанные нами технологические схемы КАБЭУ для потребителей в районах с отсутствием централизованного электроснабжения представлены на рис. 2.4, при этом были учтены опыт создания и эксплуатации биогазовых установок в различных странах мира.

Согласно представленным схемам автономных биоэнергетических установок, для осуществления процесса анаэробного сбраживания предварительно подготовленных в емкости 1 органических отходов животноводства с получением биогаза используется энергия солнечного излучения. В результате циркуляции теплоносителя (нагретой воды в плоском солнечном коллекторе 4) обеспечивается необходимый температурный режим процесса анаэробного метанового сбраживания биомассы загружаемой в метантенк 2. В процессе анаэробной бактериальной деструкции органических веществ биомассы в метантенке выделяется биогаз, который накапливается в газгольдере 6 для дальнейшей утилизации (после очистки в узле 7) на бытовые нужды. Сброженный субстрат из метантенка через накопительную емкость 5 поступает на сельскохозяйственные угодья в качестве органического удобрения.

Для обеспечения работы КАБЭУ в периоды отсутствия поступления солнечного излучения предназначен аккумулятор теплоты 3. Кроме того, для этих же целей предназначен также водонагреватель 8, работающий от сжигания биогаза или от электроэнергии, получаемой посредством батареи фотоэлектрических преобразователей 9 через аккумуляторную батарею 10 и инвертор напряжения 11 (рис. 2.4, а) или посредством использования двигателя Стирлинга с электрогенератором 12 (рис. 2.4, б).

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

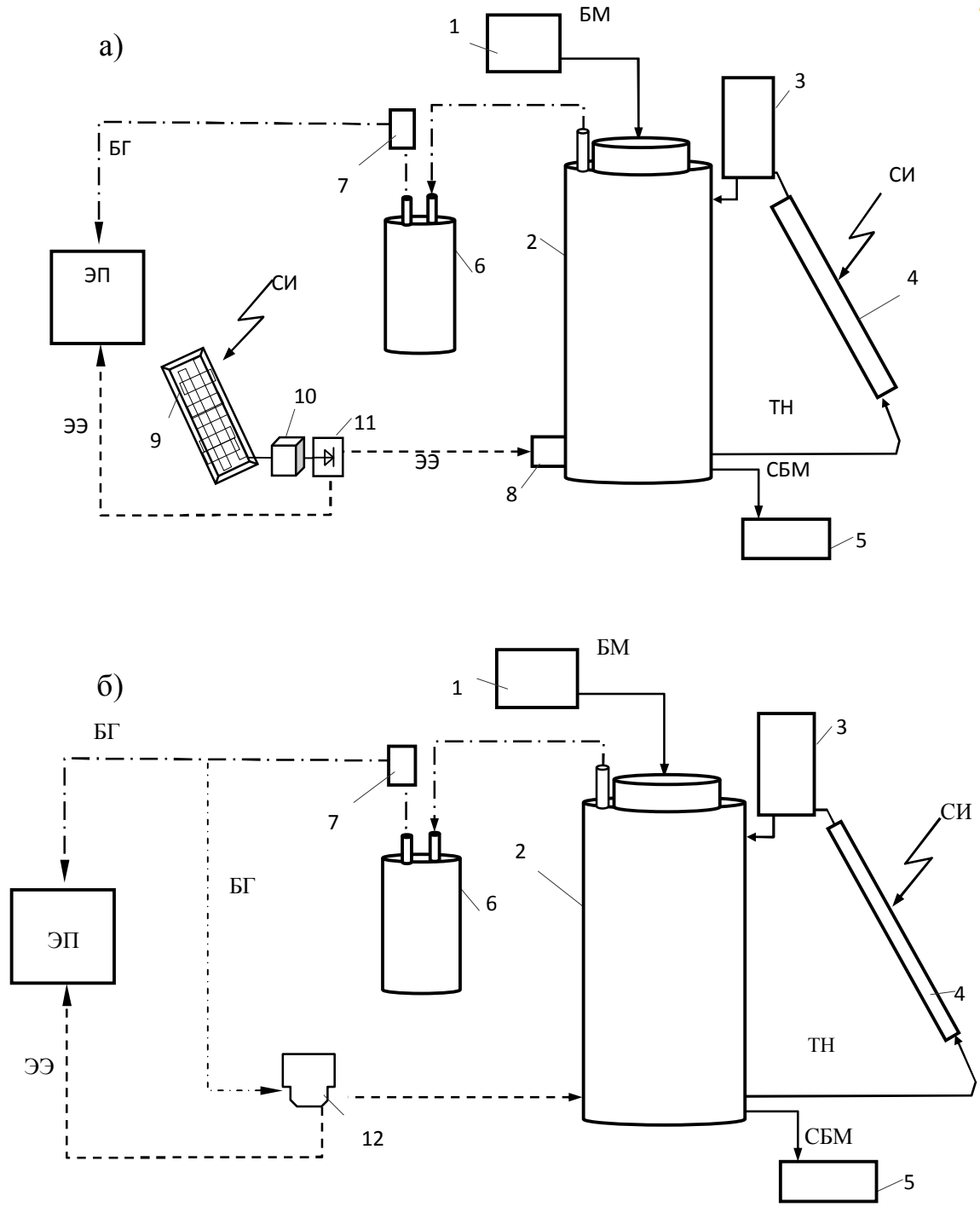

Рис. 2.4. Технологические схемы автономных биоэнергетических установок: а) с использованием фотоэлектрических преобразователей (ФЭП); б) с использованием двигателя Стирлинга. 1–емкость предварительной подготовки сырья; 2–метантенк; 3–аккумулятор теплоты; 4–солнечный коллектор; 5–накопительная емкость для эффлюента; 6–газгольдер; 7–узел очистки биогаза; 8–водонагревательный котёл; 9–солнечная батарея; 10–аккумуляторная батарея; 11–инвертор, 12–двигатель Стирлинга. Сокращения в схеме: СИ– солнечное излучение; БМ–биомасса; СМ–сброженная биомасса (эффлюент); ТН–теплоноситель; БГ–биогаз; ЭЭ–электроэнергия; ЭП–энергопотребитель.

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

Утилизация получаемого и накапливаемого в газгольдере 6 биога... предусматривает, что часть биогаза используется путем непосредственного сжигания в бытовых отопительных газовых приборах; часть идет по мере необходимости, по трубопроводу для сжигания в водогрейном котле или в топочно-горелочном устройстве двигателя Стирлинга.

Применение КАБЭУ, выполненных по предложенным технологическим схемам, может обеспечить гарантированный минимум энергоснабжения сельских локальных потребителей за счет комплексного использования энергии биомассы и энергии солнечного излучения.

Необходимо подчеркнуть, что, несмотря на отсутствие технических и финансовых возможностей приобретения потребителем двигателя Стирлинга, связанных с очевидными обстоятельствами, необходимость рассмотрения возможностей преобразования энергии биогаза в электрическую энергию с учетом экологических требований бесспорна. В результате же использования двигателя Стирлинга появляется возможность получения электрической энергии путем преобразования тепловой энергии биогаза, сжигаемого в топочно-горелочном устройстве без загрязнения окружающей среды.

Дальнейший выбор технологической схемы КАБЭУ в целях практической реализации осуществляется на базе возможных вариантов (рис. 2.4) с учетом функционального назначения установки и технических, технологических и экономических возможностей ее сооружения в предполагаемом месте использования.

Учитывая наличие материально-технической базы для сооружения установки, для математического моделирования рассматривается более приспособленный к практической реализации вариант КАБЭУ с использованием ФЭП (рис. 2.4, а). Приспособленность к реализации заключается в том, что основные компоненты БЭУ могут быть изготовлены на месте сооружения установки (компоненты 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7) или освоено их промышленное серийное производство (солнечный коллектор 4,

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

водонагреватель 8, фотоэлектрические преобразователи 9, аккумуляторная батарея 10, инвертор напряжения 11).

Производительность метантенка КАБЭУ по биогазу определяется как объем ($м^3$) образовавшегося биогаза за единицу времени (обычно за сутки). Производительность метантенка КАБЭУ по удобрениям представляет собой количество (кг) сброженного и удаляемого с метантенка субстрата за единицу времени (сутки). Интенсивность работы метантенка установки определяется как отношение производительности по биогазу к полезному объему метантенка (объему биомассы в метантенке).

Математическое моделирование по обоснованию структуры и параметров технологического оборудования КАБЭУ на основании комплексного подхода к их созданию в условиях рассредоточенных сельскохозяйственных объектов производится применительно к метантенку с известными геометрическими параметрами. Поэтому необходимо предварительное определение потребного объема метантенка ($V_{мт}$) учитывая, что обоснованное уменьшение $V_{мт}$ является одним из факторов приводящих к снижению затрат на сооружение установки.

Это объясняется тем обстоятельством, что капитальные затраты на сооружение установки растут пропорционально с увеличением объема метантенка (увеличение объема метантенка приводит к росту энергопотребления, это приводит к созданию соответствующей системы энергообеспечения и т.д.). С другой стороны, в соответствии с концепцией построения малогабаритной мобильной КАБЭУ, также целесообразно применение метантенка с минимально необходимой вместимостью, предусматривая возможность кратного наращивания мощности (размеров) на основе модульного варианта изготовления.

В идеальном случае, производительность метантенка по биогазу ($м^3$/сут) должна обеспечивать баланс между потребностью в энергии в конкретном хозяйстве и выходом биогаза при анаэробном сбраживании органических отходов /39/:

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

$$V_{\text{бг}} = V_{\text{пг.сут}} \qquad (2.7)$$

где $V_{\text{бг}}$ – производительность метантенка по биогазу, (м^3/сут); $V_{\text{пг.сут}}$ – потребность в газообразном топливе на бытовые нужды данного конкретного объекта (фермерского хозяйства) в сельской местности м^3/сут.

Очевидно, что такого соответствия добиться трудно и для выравнивания колебаний в потреблении и выработке газа в технологической схеме КАБЭУ обязательным компонентом является газгольдер.

Суточная потребность в газообразном топливе ($V_{\text{пг.сут}}$, м^3) конкретного объекта в сельской местности может быть определена в свою очередь на основании удельных норм расхода природного газа на хозяйственно-бытовые нужды по формуле:

$$V_{\text{пг.сут}} = (N_{\text{уд.г}} m_{\text{пг}}) / k_c \qquad (2.8)$$

где $N_{\text{уд.г}}$ –удельная норма расхода природного газа для хозяйственно-бытовых нужд, м^3/чел·сут.; величина $N_{\text{уд.г}}$ принимается с учетом того, что годовая удельная норма расхода природного газа, предусматривающая использование газа на приготовление пищи и горячей воды составляет при наличии в жилище газовой плиты 138 м^3/год на одного потребителя /40/; $m_{\text{пг}}$ –количество потребителей газа, чел., (величина $m_{\text{пг}}$ принимается равной числу работающих на данном конкретном объекте людей или числу членов семьи фермера и составляет в среднем 3...5 человек); k_c –коэффициент, учитывающий соотношение теплотворных способностей природного газа и биогаза, в зависимости от содержания в последнем метана (CH_4); с учетом теплоты сгорания природного газа (33,5 МДж/м^3) для биогаза содержащего 56% CH_4 и имеющего теплоту сгорания 20,0 МДж/м^3 рекомендуется значение этого коэффициента принимать k_c =0,60 /41/.

Геометрический объем метантенка ($V_{\text{мт}}$ м^3) может быть определен по формуле:

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

$$V_{мт} = [G_{бм}\tau_{сбр}(1+\beta)]/(\rho_{бм}\varepsilon_{г}) \qquad (2.9)$$

где $G_{бм}$ –количество биомассы подлежащей к сбраживанию, кг/сут; $\tau_{сбр}$ –продолжительность сбраживания, сут.; β –коэффициент объемного расширения сбраживаемой биомассы; $\rho_{бм}$ –плотность исходной биомассы, кг/м^3; $\varepsilon_{г}$ –коэффициент, учитывающий долю объема метнтанка занимаемую выделяющимися при анаэробном сбраживании органических отходов газами, (м$^3_{биомассы}$/ м$^3_{метантенка}$).

Равенство (2.7) должно обеспечиваться в течение времени анаэробного сбраживания ($\tau_{сбр}$, сут) определяемого выражением /25/:

$$\tau_{сбр} = V_{бг}\rho_{бм}/(u_{бг}G_{бм}) \qquad (2.10)$$

где $u_{бг}$ - интенсивность (скорость) газовыделения с единицы объема сбраживаемой биомассы при анаэробном сбраживании по разрабатываемой (выбранной) технологической схеме, (м$^3_{биомассы}$/ м$^3_{метантенка*}$сут).

После подстановки значения «$\tau_{сбр}$» из выражения (2.10) в формулу (2.9) с учетом равенств (2.7 и 2.8) зависимость, позволяющая определить необходимый минимальный объем метантенка для обеспечения потребностей в биогазе конкретного объекта в сельской местности имеет следующий вид:

$$V_{мт} = [N_{уд.г}m_{пг}(1+\beta)]/(k_{с}\varepsilon_{г}u_{бг}) \qquad (2.11)$$

Здесь подразумевается, что размеры фермерского хозяйства учитываются количеством людей, работающих в фермерском хозяйстве (числом членов семьи фермера), для энергообеспечения быта которых и предназначается сооружаемая биоэнергетическая установка.

Как видно, одним из основных величин влияющих на размеры метантенка является коэффициент объемного расширения сбраживаемой биомассы β , величина которого зависит от содержания сухого вещества в составе биомассы. В целях расчета при проектировании установки могут быть

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

использованы экспериментально определенные в работах /25, 42/ данные по коэффициенту объемного расширения (рис. 2.5) навоза крупного рогатого скота (КРС), являющегося в нашем случае основным сырьем для сбраживания в метантенке.

Анализ научных источников /16, 43, 44, 45/ показывает, что аналитического метода определения значения скорости газовыделения с единицы объема сбраживаемой биомассы «$u_{бг}$» не существует, и в практике исследований и разработки биогазовых реакторов для этой цели используются эмпирические зависимости, основанные на уравнениях микробной кинетики и теории хемостата /46, 47/.

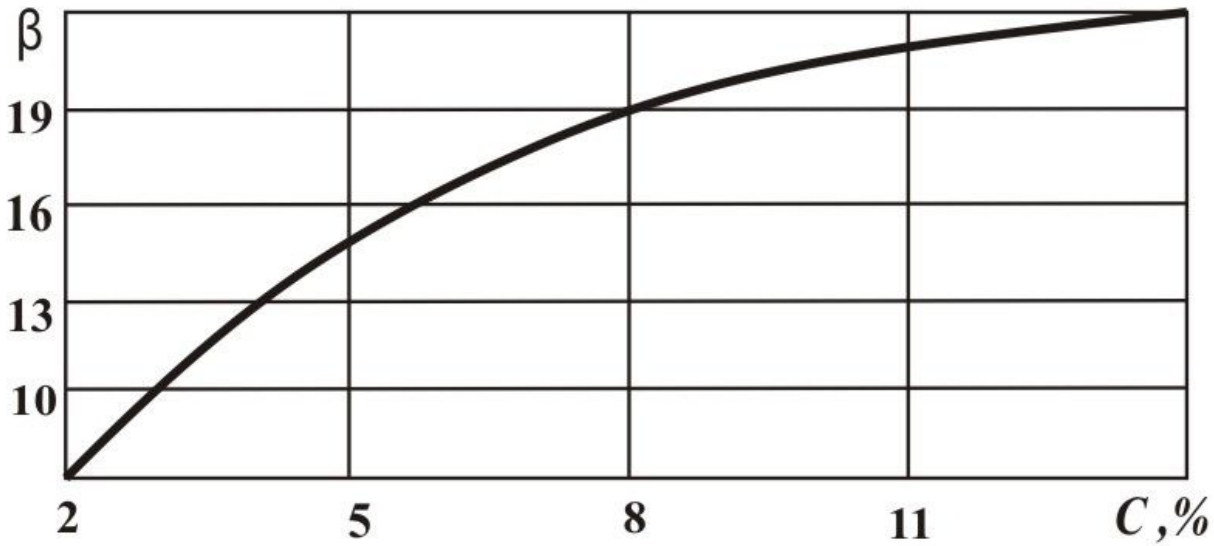

Рис. 2.5. Зависимость коэффициента объемного расширения β от содержания в биомассе сухого вещества *(C, %)*.

Из существующих кинетических моделей используются зависимости для практического использования при рассмотрении процесса анаэробного сбраживания органических отходов животноводства наиболее удобным считается модель, предложенная А.Г. Хашимото и И.Р. Ченом на основе анализа большого количества эмпирических данных с широким диапазоном исходных субстратов.

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

Согласно этой модели скорость выхода биогаза с единицы объема сбраживаемого субстрата определяется по следующей функциональной зависимости /16, 43/:

$$u_{\text{бг}} = (B_0 S_0 / \tau)\{1 - K(\mu_{\text{m}}\tau - 1 + K)\} \qquad (2.12)$$

где B_0 –предельный выход биогаза из единицы органического вещества заданного состава при бесконечной времени экспозиции, м^3/кг; S_0 – исходная концентрация органического вещества в субстрате, кг/м^3; τ – время экспозиции (время полного обмена субстрата в реакторе), сут.; $K = f(S_0)$ – кинетический параметр процесса (не имеет размерности); μ_{m} – максимальная удельная скорость роста микроорганизмов в заданном процессе ферментации, сут$^{-1}$.

В свою очередь, величина «μ_{m}» определяется по эмпирической зависимости

$$\mu_{\text{m}} = 0{,}013\ \ t - 0{,}129 \qquad (2.13)$$

где t –температура сбраживания, °С.

Видно, что согласно представленной модели, скорость газовыделения с единицы объема сбраживаемой биомассы определяется концентрацией органического вещества S_0 в исходном субстрате, которая зависит от влажности W, зольности A и объемной плотности среды $\rho_{\text{об}}$ в следующем соотношении:

$$S_0 = \rho_{\text{об}}(100 - W)(100 - A) \qquad (2.14)$$

Кроме представленных в зависимости (2.12) параметров на интенсивность газовыделения оказывают влияние также рабочая температура в метантенке (положительная корреляция), размер частиц субстрата (отрицательная корреляция), и необходимо отметить, что пока не существуют адекватных уравнений учитывающих эти факторы /47/.

Использование зависимости (2.12) для практических целей возможно в случае, когда если известны численные значения кинетических констант и параметров роста и отмирания биомассы. К настоящему времени значения

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

этих констант известны только для ряда отдельных субстратов, таких как глюкоза, уксусная кислота, пропионовая и масляная кислоты и др. Для случаев анаэробного сбраживания отходов животноводства в виде навоза, представляющего из себя вещество со сложным химическим составом, применение известных констант должно быть связано с предварительным определением химического состава навоза и содержанием в нем указанных субстратов, что в свою очередь вызывает определенные трудности. Поэтому для определения величины скорости газовыделения «$u_{бг}$» как функции нескольких переменных, использованы результаты экспериментальных исследований на специально разработанной установке с теплоснабжением за счет местных ресурсов возобновляемых источников энергии.

2.3. Разработка технологической схемы биоэнергетической установки с двухстадийным процессом анаэробного сбраживания

При теоретически и экспериментально обоснованных значениях объема метантенка, дозы его суточной загрузки и температуры сбраживания повышение эффективности биогазовой технологии может быть достигнуто рациональным использованием ее выходных продуктов в виде биогаза и сброженного эффлюента.

Основным способом применения биогаза является превращение его в тепловую энергию с использованием различных газосжигающих устройств, в том числе преобразовывая теплоту сжигания биогаза в электрическую энергию, обеспечивая создание собственной энергетической базы хозяйства.

Направления совершенствования технологии биоконверсии органических отходов в биогаз и удобрения сформулированы в работе /48/, где подчеркивается особая роль многостадийного анаэробного сбраживания отходов с пространственным разделением отдельных стадий процесса биометаногенеза. Наиболее характерными фазами процесса биометаногенеза являются кислотогенная и метаногенная.

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

Придерживаясь этого направления, в целях повышения эффективности утилизации биогаза разработан и исследован вариант технологической схемы КАБЭУ (рис. 2.6), где в качестве преобразователя тепловой энергии биогаза в механическую, и далее в электрическую энергию, используется ДС.

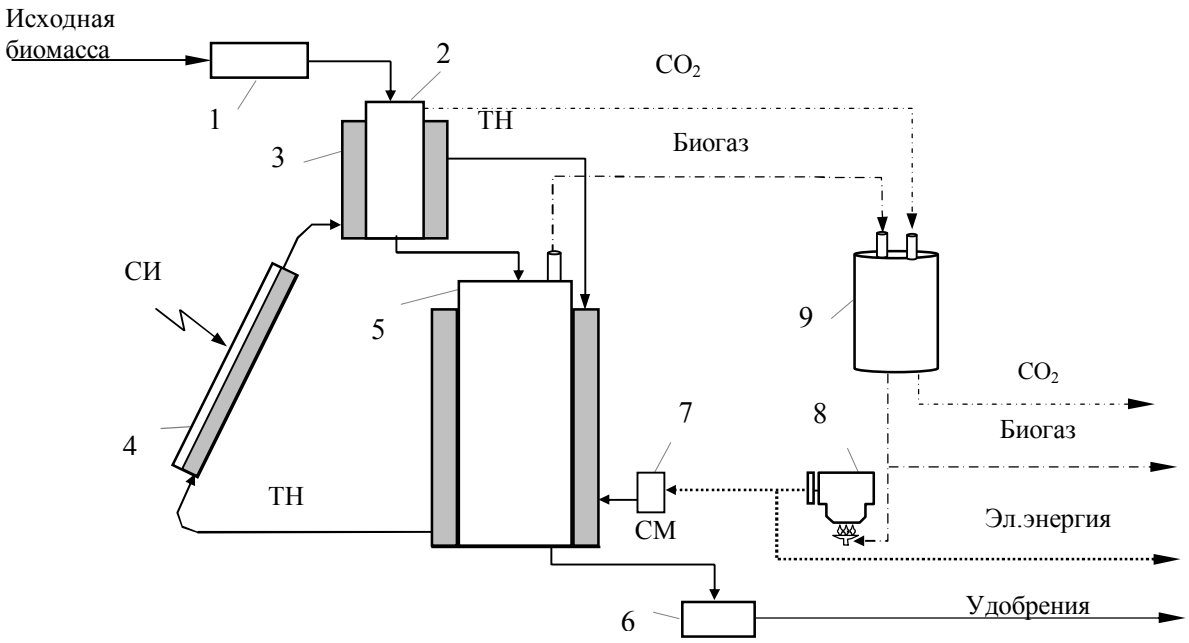

Рис. 2.6. Технологическая схема КАБЭУ с двухстадийным процессом сбраживания: 1–емкость предварительной подготовки биомассы; 2–гидролизный реактор (ГР); 3–аккумулятор теплоты в виде водяной рубашки ГР; 4–солнечный коллектор; 5–метантенк с водяной рубашкой и теплоизоляцией; 6–накопительная емкость эффлюента; 7–электроводонагреватель; 8–двигатель Стирлинга со встроенным электрогенератором и биогазовой горелкой; 9–газгольдер. СИ–солнечное излучение, СМ–сброженная биомасса, ТН–теплоноситель.

Технологическая схема предусматривает применение прогрессивной двухстадийной технологии анаэробного сбраживания в раздельных реакторах, основанной на выделении характерных стадий кислото- и метанообразования. В первой стадии кислотогенные бактерии из органических кислот создают исходные продукты для образования метана (уксусную кислоту, двуокись углерода и углерод). На второй стадии в

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

результате жизнедеятельности исключительно анаэробных метаногенных бактерий происходит образование метана, преимущественно из уксусной кислоты (около 70%).

При этом учитывается, что кислотогенные и метаногенные бактерии работают не с одинаковой скоростью. Так, кислотогены, являясь преимущественно аэробными при достаточном питании удваивают свою массу на протяжении в пределах 0,3–10 часов. Строго анаэробные метаногенные бактерии значительно медленно размножаются и им для удвоения своей массы требуется 3–5 дней. Поэтому при сбраживании биомассы в реакторе без пространственного разделения характерных стадий зачастую происходит накопление кислот (результат быстрой деятельности кислотогенов). В результате этого может наступить слишком резкое падение уровня pH (до 4,5–5) сбраживаемой среды, которое является губительным для метаногенных микроорганизмов с требуемым оптимальным уровнем pH=7 /49/.

Основой обеспечения теплового режима в метантенке является энергия солнечного излучения, и в целом рабочий процесс установки, аналогичен работе ранее изложенных КАБЭУ (рис. 2.3), отличительные особенности заключаются в конструктивном выполнении отдельных узлов установки. Аккумулятор теплоты 3 совмещен (в виде водяной рубашки) с гидролизным реактором 2, куда поступает предварительно подготовленная в емкости 1 исходная биомасса, подвергаемая кислотному брожению с преимущественным выделением двуокиси углерода (CO_2). Выделяемый в результате кислотного брожения в гидролизном реакторе двуокись углерода накапливается в отельной секции двухсекционного газгольдера 9 и может быть использован на технические нужды. Отметим, что двуокись углерода - бесцветный нетоксичный газ, является основным источником углерода для растений, его используют в сельскохозяйственных силосных установках, теплицах, овощехранилищах, пищевой промышленности (как консервант, или для газированной воды).

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

Использованный в качестве удобрения CO_2 обеспечивает на 20% боль… высокую урожайность и соответственно более короткое время вегетации растений.

Кроме этого, здесь необходимо отметить, что гидролизный реактор выполняет функции устройства для предварительного нагрева дозы суточной загрузки сбраживаемой биомассы за счет подвода теплоты от солнечного коллектора 4. Этим самым в метантенк 5 поступает навоз с температурой равной температуре сбраживаемого субстрата и исключается возможность отрицательного воздействия холодной исходной биомассы на жизнедеятельность метанобразующих бактерий.

В разработанном /50/ специально для применения в двухстадийной технологии анаэробного сбраживания отходов в раздельных реакторах двухсекционном мокром газгольдере (рис. 2.7), внешняя секция 10 газгольдера предназначена для сбора биогаза и сообщена трубопроводом с газовой полостью метантенка, а внутренняя секция 11 газгольдера предназначена для сбора двуокиси углерода и сообщена трубопроводом с газовой полостью гидролизного реактора.

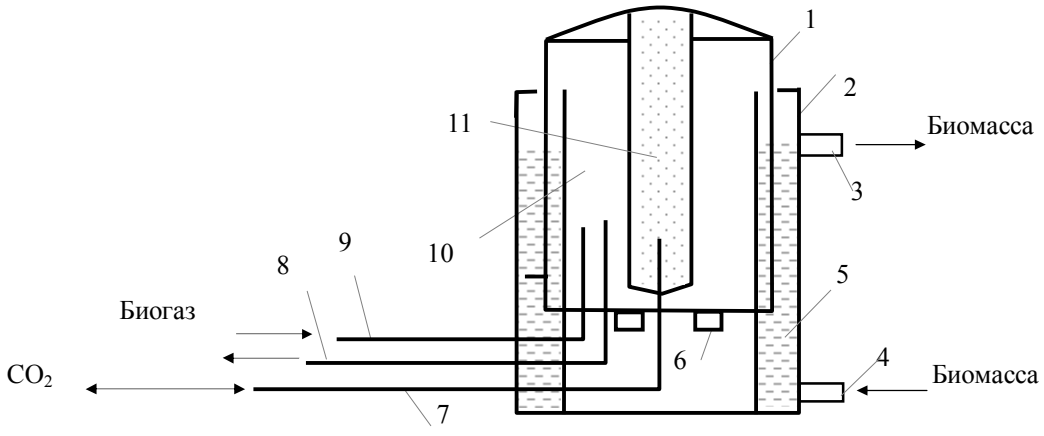

Рис. 2.7. Энергосберегающий двухсекционный мокрый газгольдер: 1–плавающий колокол; 2–цилиндрический резервуар (емкость с двойными боковыми стенками); 3, 4–патрубки заполнения и опорожнения резервуара затворной жидкостью; 5–гидрозатворная жидкость (сброженный субстрат); 6–съемные грузы; 7–патрубок подвода и отвода двуокиси углерода; 8, 9–патрубки подвода и отвода биогаза; 10–внешняя секция; 11–внутренняя секция (концентрическая перегородка с закрытым днищем).

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

Образовавшиеся газы направляются по патрубкам 7 и 9 в соответствующие секции газгольдера, что сопровождается всплытием колокола 1. Необходимость дополнительного подогрева гидрозатворной жидкости данного газгольдера при его использовании и условиях низких температур окружающей среды приводит к повышенным затратам энергии, решить указанную проблему предлагается /51/ за счет обогрева газгольдера сброженным субстратом (для циркуляции сброженного субстрата предусмотрены патрубки 3 и 4).

Основным эффектом использования предлагаемого технического решения является существенное повышение калорийности биогаза за счет повышения концентрации метана в его составе. При двухступенчатой ферментации отходов животноводства в гидролизном реакторе происходит кислотное брожение, при котором образуется до 45...60% диоксида углерода, а в метантенке - щелочное брожение, при котором образуется 26-31% диоксида углерода и 72 - 77% метана /51/.

Для повышения эффективности утилизации сброженного субстрата (эффлюента) накопительная емкость эффлюента выполнена в виде солнечной сушильной установки (рис. 2.8).

Эффлюент, в объеме суточной дозы загрузки метантенка поступает в отдельную секцию со сменной перфорированной перегородкой 8. Получаемая осадочная фракция биомассы с пониженной концентрацией влаги посредством открытия шарнирной перегородки 9 перемещается в секцию сушки твердой фракции. Парниковый эффект, вызванный воздействием поступающего через прозрачное покрытие 2 солнечного излучения, способствует интенсивному выделению влажного пара с поверхности эффлюента.

При этом кроме фракционирования сброженной биомассы, происходит ее дополнительное термическое обеззараживание. Твердая фракция становится удобным для хранения, транспортировки и нанесения в качестве удобрений, жидкая фракция возвращается в хозяйственный оборот для

дальнейшего использования (на полив), а дистиллят (вода) может быть использована для других технических потребностей.

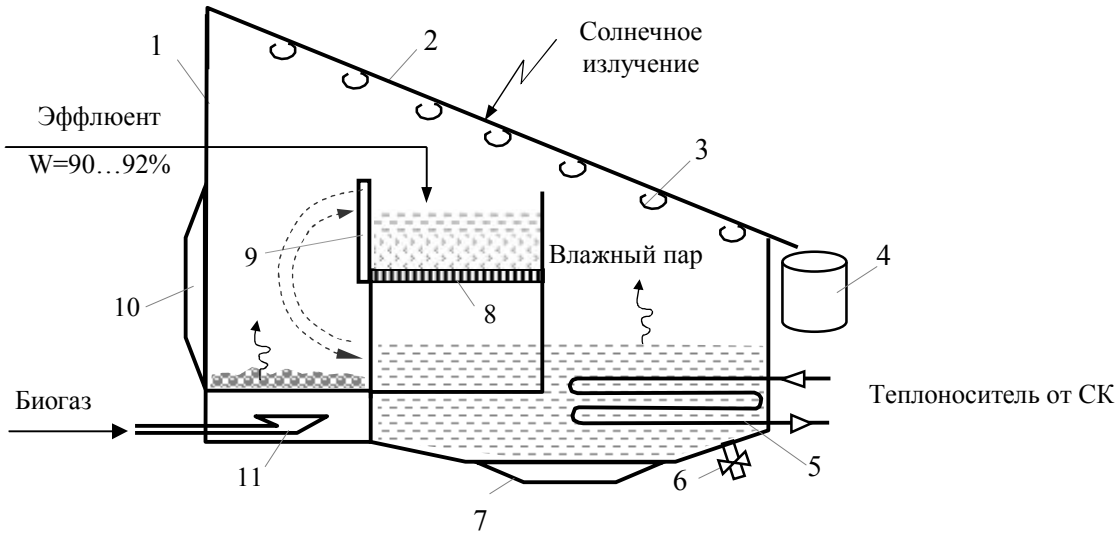

Рис. 2.8. Солнечная сушилка–накопительная емкость эффлюента: 1–накопительная емкость; 2–прозрачное покрытие; 3–желоб для конденсата; 4–резервуар дистиллята; 5–теплообменник; 6– ран слива жидкой фракции; 7–люк выгрузки осадочной фракции; 8–сменная перфорированная перегородка; 9–шарнирная перегородка; 10–окно выгрузки твердой фракции; 11–инфракрасная горелка.

При этом кроме фракционирования сброженной биомассы, происходит ее дополнительное термическое обеззараживание. Твердая фракция становится удобным для хранения, транспортировки и нанесения в качестве удобрений, жидкая фракция возвращается в хозяйственный оборот для дальнейшего использования (на полив), а дистиллят (вода) может быть использована для других технических потребностей.

Производительность примененного технического решения по фракционированию эффлюента обусловлена скоростью испарения влаги из сброженного субстрата, которая в свою очередь зависит от температуры внутри накопительной емкости. Поэтому в конструкции предусматривается возможный подвод теплоты от солнечной системы энергоснабжения БЭУ, посредством теплообменника 5. а также возможность интенсификации

процесса сушки твердой фракции применением инфракрасной биогазовой горелки 11.

2.4. Расчет и анализ составляющих тепловой баланс КАБЭУ

Согласно технологическим схемам КАБЭУ (рис. 2.4), теплоноситель (вода), проходящая через плоский солнечный коллектор и нагреваемая солнечным излучением, используется для подогрева содержимого метантенка.

Поскольку эффективность работы биогазового реактора (метантенка) с солнечным теплоснабжением связана с вероятностным характером поступления солнечной энергии, неотъемлемой частью системы теплоснабжения биогазового реактора наряду с солнечным коллектором является аккумулятор теплоты.

Сущность применения аккумулятора теплоты заключается в рациональном использовании дневного избытка солнечной энергии в ночное время и пасмурные дни. Поэтому при проектировочных расчетах системы солнечного теплоснабжения биогазового реактора после определения потребной площади солнечного коллектора для подогрева содержимого метантенка необходимо определить оптимальную емкость аккумулятора теплоты. Оптимальная емкость аккумулятора теплоты в свою очередь определяет эффективную работу биогазового реактора в зависимости от режима поступления солнечной энергии.

При этом интегральной характеристикой солнечной системы теплоснабжения биогазового реактора является коэффициент замещения тепловой нагрузки $k_{зам}$ (доля энергии производимой солнечным коллектором в покрытии тепловой нагрузки метантенка за определенный временной промежуток). Его величина зависит от двух групп факторов: количества полезно используемой энергии солнечного излучения и количества энергии, необходимой для создания благоприятных для процесса анаэробного сбраживания температурных условий в метантенке.

Если рассмотреть гипотетический процесс покрытия тепловой нагрузки биогазового реактора ($Q_{тп}$) за счет производимой солнечным коллектором энергии ($Q_{ск}$) в течение определенного промежутка времени (рис. 2.9) видно, что в одни периоды времени получаемая посредством солнечного коллектора энергия превышает нагрузку, а в другие периоды ее количество недостаточно для покрытия нагрузки.

Основная задача при проектировании системы солнечного теплоснабжения биогазового реактора заключается в обеспечении рационального использования дневного избытка солнечной энергии в ночное время и пасмурные дни, за счет аккумулирования избыточной энергии, когда $Q_{ск} > Q_{тп}$ и возврата ее при $Q_{ск} < Q_{тп}$.

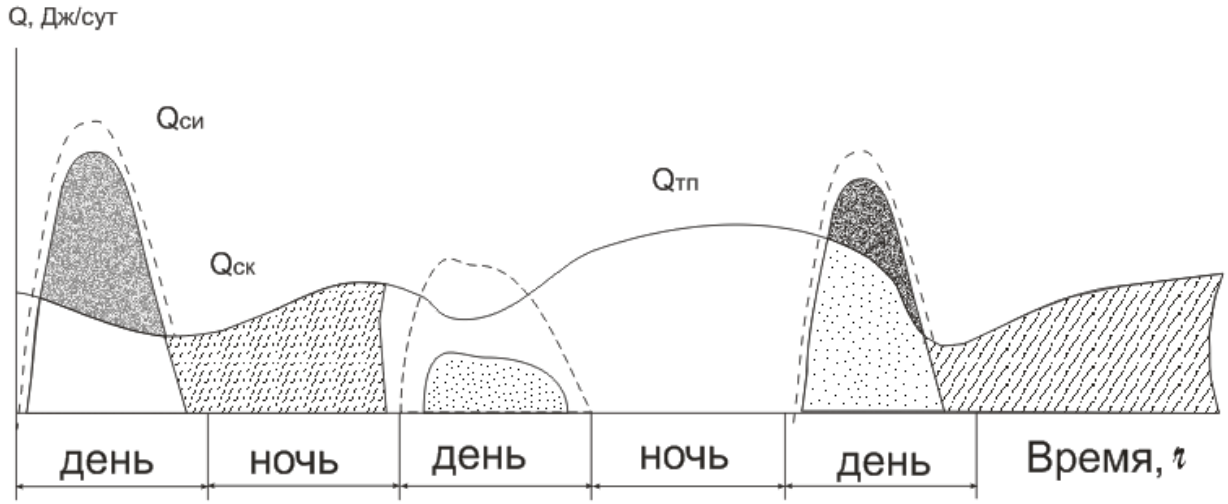

Рис.2.9. Процесс использования солнечной энергии для покрытия тепловой нагрузки (МТ) для трехсуточного времени.

Задача может быть решена путем установления оптимальной емкости аккумулятора теплоты при заранее определенных значениях объема метантенка с биомассой и его потребности в теплоте для поддержания температурного режима сбраживания, площади лучевоспринимающей поверхности солнечного коллектора (СК) с учетом режима поступления солнечной энергии.

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

В расчетах, согласно методике изложенной в работе /52/, опр… деляющими показателями будут максимально возможная тепло-производительность и продолжительность работы системы солнечного теплоснабжения.

В течение солнечного дня, с учетом того, что при отсутствии солнечной радиации и полной разрядке аккумулятора теплоты возникает необходимость применения отопительного дублера.

Предполагаем, что в ходе процесса сбраживания в МТ при отсутствии солнечной радиации и полной разрядке аккумулятора теплоты возникает необходимость применения отопительного дублера (в нашем случае электроводонагревателя, работающей от электроэнергии, получаемой посредством солнечной батареи).

Записываем уравнение теплового баланса для метантенка, солнечного коллектора и отопительного дублера за произвольный (суточный, недельный и т.д.) промежуток времени (τ) работы установки в виде /53/:

$$Q_{\text{тп}(\tau)} = Q_{\text{ск}(\tau)} + Q_{\text{д}(\tau)} \qquad (2.15)$$

где $Q_{\text{тп}(\tau)}$ – теплопотребность процесса анаэробного сбраживания в МТ за промежуток времени τ, Дж; $Q_{\text{ск}(\tau)}$ и $Q_{\text{д}(\tau)}$ – теплопроизводительность СК и отопительного дублера за тот же промежуток времени, Дж.

В свою очередь

$$Q_{\text{ск}(\tau)} = Q_{\text{си}(\tau)} F_{\text{ск}} \eta_{\text{ск}} \qquad (2.16)$$

где $Q_{\text{си}(\tau)}$ – энергия или поток солнечного излучения поступающего на поверхность СК за промежуток времени τ, Дж/м^2; $F_{\text{ск}}$ –площадь лучевоспринимающей поверхности СК, м^2; $\eta_{\text{ск}}$ –коэффициент полезного действия СК.

После введения обозначений $\left(b = Q_{\text{тп}(\tau)} / Q_{\text{ск}(\tau)}\right) u \left(\psi_d = Q_{\text{д}(\tau)} / Q_{\text{тп}(\tau)}\right)$ (с учетом выражения (2.16) уравнение теплового баланса (2.15) можно записать в виде:

$$\psi_d = 1 - b^{-1} = 1 - \left[Q_{\text{си}(\tau)} \, \eta_{\text{ск}} \left\{ F_{\text{ск}} / Q_{\text{тп}(\tau)} \right\} \right] \qquad (2.17)$$

В правой части выражения (2.17) отношение $F_{\text{ск}} / Q_{\text{тп}(\tau)}$ является одним из основных показателей для эффективной работы МТ с солнечным теплоснабжением и для конкретных случаев определяется с учетом динамики теплопотребности МТ и газовыделения при анаэробном сбраживании.

В результате экспериментальных исследований установлено, что для МТ с непрерывным режимом сбраживания характерно наличие трех эксплуатационных периодов (рис. 2.10).

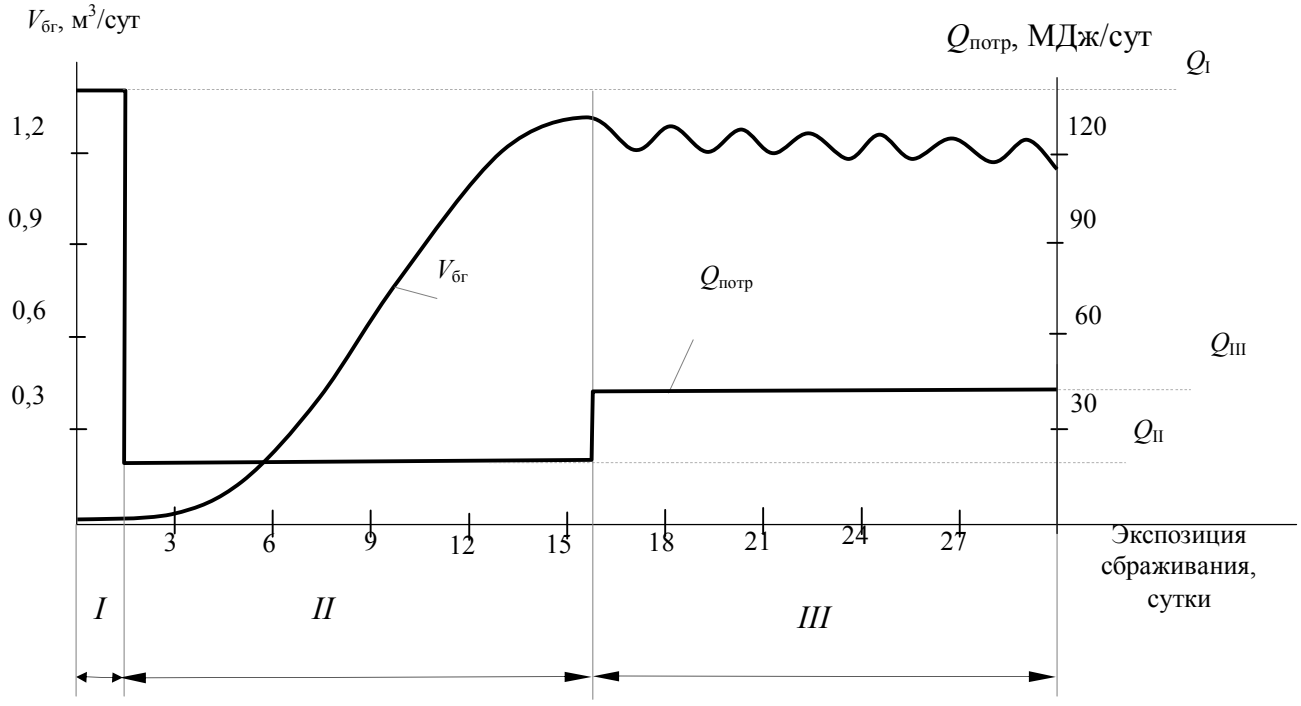

Рис. 2.10. Теплопотребность ($Q_{\text{потр}}$) на процесс сбраживания и динамика выделения биогаза ($V_{\text{бг}}$) метантенка с непрерывным режимом сбраживания: I–период первоначального нагрева биомассы; II–период циклического сбраживания без загрузки новой дозы биомассы; III–период непрерывного сбраживания с загрузкой/выгрузкой суточной дозы биомассы.

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

При этом период нагрева биомассы в МТ до температуры режима сбраживания (период запуска установки) является наиболее энергоемким (кривая $Q_{тп}$ суточной теплопотребности), кроме того, в течение этого периода биогаз не выделяется (кривая $V_{бг}$ суточного газовыделения).

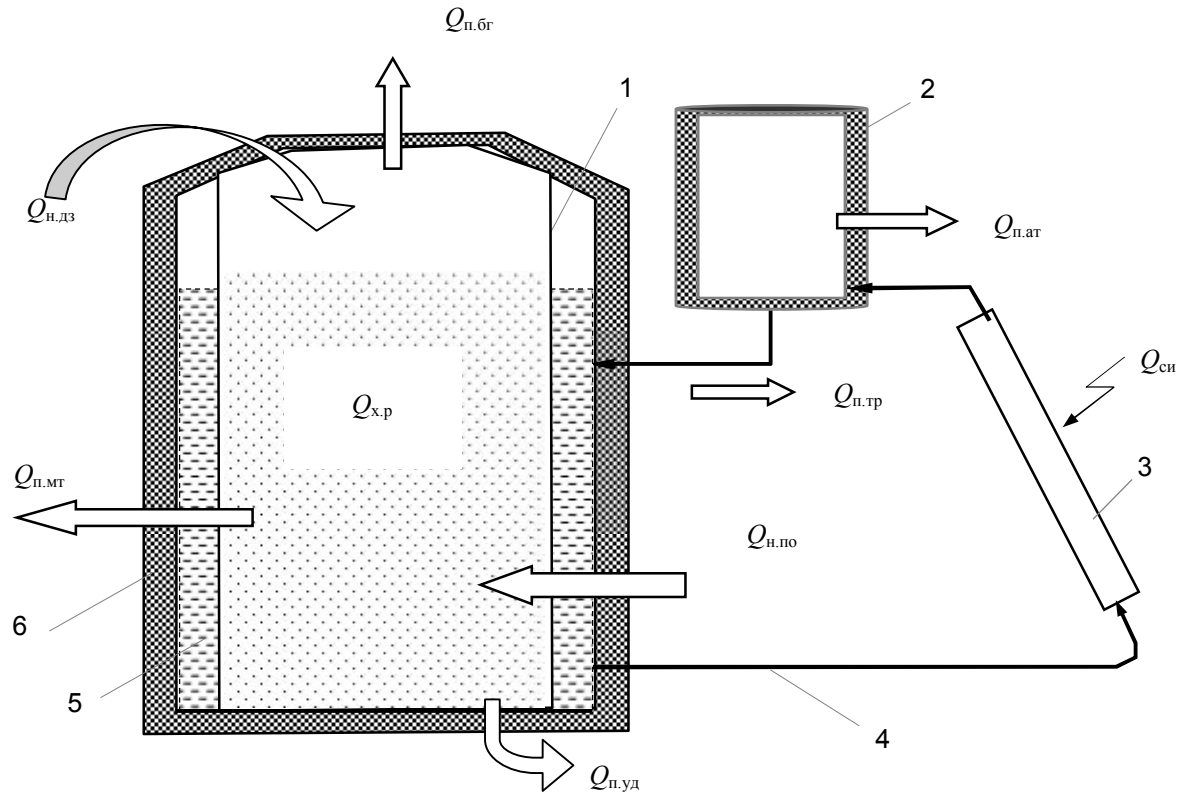

Рис. 2.11. Расчетная схема тепловой нагрузки метантенка: 1–метантенк; 2–аккумулятор теплоты; 3–солнечный коллектор; 4–трубопровод теплоносителя; 5– водяная рубашка метантенка; 6–теплоизоляция; $Q_{си}$–энергия солнечного излучения, поступающая на поверхность коллектора в течение дня.

Представленные (рис. 2.10) графические зависимости основываются на следующих уравнениях теплового баланса для каждого из периодов работы МТ, согласно расчетной схеме тепловой нагрузки (рис. 2.11):

для периода ($\tau_н$) нагрева биомассы в МТ до температуры выбранного режима сбраживания

$$Q_{тп(и)} = Q_{н.по} + Q_{п.мт} + Q_{п.ат} + Q_{п.тр} + Q_{х.р} \qquad (2.18)$$

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

для периода ($\tau_{цс}$) циклического сбраживания биомассы в МТ

$$Q_{тп(цс)} = Q_{п.мт} + Q_{п.ат} + Q_{п.тр} + Q_{-х.р} + Q_{п.бг} \quad (2.19)$$

для периода ($\tau_{нс}$) непрерывного режима сбраживания биомассы в МТ:

$$Q_{тп(нс)} = Q_{п.дз} + Q_{п.мт} + Q_{п.ат} + Q_{п.тр} + Q_{х.р} + Q_{п.бг} + Q_{п.уд} \quad (2.20)$$

где $Q_{тп(и)}, Q_{тп(цс)}$ и $Q_{тп(нс)}$ –теплопотребность МТ за промежуток времени τ (в нашем случае за сутки) соответственно для периода ($\tau_{н}$) нагрева биомассы до температуры выбранного режима сбраживания; в период работы в циклическом ($\tau_{цс}$) и непрерывном ($\tau_{нс}$) режимах сбраживания, Дж; $Q_{н.по}$ – количество теплоты, необходимое для нагрева полного объема биомассы в МТ до температуры сбраживания, Дж; $Q_{п.мт}, Q_{п.ат}$ и $Q_{п.тр}$ –количество потерь теплоты, через ограждающие поверхности МТ, АТ и трубопроводов теплоносителя, соответственно, Дж; $Q_{х.р}$ –теплота химических реакций сбраживания, Дж; $Q_{п.бг}$ –потери теплоты с выделяемым биогазом, Дж; $Q_{н.дз}$ – количество теплоты, необходимое для нагрева суточной дозы загрузки до температуры сбраживания, Дж; $Q_{п.уд}$ –количество потерь теплоты с удаляемой дозой суточной выгрузки сброженного субстрата, Дж.

Для МТ цилиндрической формы с известным, заранее рассчитанным по зависимости (2.11) объемом $V_{мт}$, составляющие уравнений теплового баланса (2.18–2.20) определяются следующим образом.

Количество теплоты $Q_{н.по}$, необходимое для нагрева полного объема биомассы в метантенке до температуры выбранного режима сбраживания:

$$Q_{н.по} = V_{мт} \varepsilon_{г} c_{бм} \rho_{бм} (t_{сбр} - t_{исх}) \quad (2.21)$$

где $c_{бм}$–средняя удельная массовая теплоемкость сбраживаемой биомассы в рассматриваемом интервале температур, Дж/(кг·К); $t_{сбр}$– температура сбраживания, К; $t_{исх}$–температура подаваемой на сбраживание исходной биомассы, К.

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

Потери теплоты через ограждающие конструкции аккумулятора теплоты (АТ) ($Q_{\text{п.ат}}$) с учетом теплопотерь в технологических трубопроводах ($Q_{\text{п.тр}}$) для предварительных расчетов при проектировании можно принять равным ($Q_{\text{п.мт}}$). Тогда, суммарные потери теплоты через ограждающие поверхности биогазового реактора в окружающую среду ($Q_{\text{п.сум}}$) могут быть определены, по уравнению теплопроводности следующего вида:

$$Q_{\text{п.сум}} = 2Q_{\text{п.мт}} = \left\{2F_{\text{мт}}\tau_{\text{сут}}\left(t_{\text{вмт}} - t_{\text{ос}}\right)\right\} / R_{\text{т}} \qquad (2.22)$$

где $F_{\text{мт}}$–площадь ограждающих поверхностей МТ, м^2; $\tau_{\text{сут}}$–время, за которое определяются потери теплоты (в нашем случае, за сутки), с; $t_{\text{вмт}}$ и $t_{\text{ос}}$–средние значения, соответственно, температуры теплоносителя в водяной рубашке МТ и температуры окружающей среды, К; $R_{\text{т}}$–термическое сопротивление ограждающей поверхности МТ с водяной рубашкой и теплоизоляцией, (м^2·К)/Вт.

В свою очередь $R_{\text{т}} = 1/\left\{\left(1/\alpha_1\right) + \left(\delta_{из}/\lambda_{из}\right) + \left(1/\alpha_2\right)\right\}$

где α_1–коэффициент теплоотдачи от теплоносителя к наружной стенке водяной рубашки МТ, Вт/(м^2·К); α_2–коэффициент теплоотдачи от теплоизоляционного слоя в окружающую среду, Вт/(м^2·К); $\delta_{из}$, $\lambda_{из}$–толщина (м) и коэффициент теплопроводности (Вт/(м·К)) теплоизоляционного слоя МТ.

Потери теплоты ($Q_{\text{п.бг}}$) определяются в зависимости от суточного объема выделившегося биогаза:

$$Q_{\text{п.бг}} = V_{\text{бг}} c^{/} T_{\text{бг}} \qquad (2.23)$$

где $V_{\text{бг}}$–суточный объем выделившегося биогаза, м^3; $c^{/}$–объемная теплоемкость биогаза, Дж/(м^3·К); $T_{\text{бг}}$–температура биогаза на выходе из МТ, численное значение которой можно принять равной температуре выбранного режима сбраживания, К.

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

Величина суточного объема выделившегося биогаза определяется из выражения:

$$V_{\text{бг}} = u_{\text{бг}} \cdot V_{\text{бм}}$$

где $V_{\text{бм}} = V_{\text{мт}} \cdot \varepsilon_{\text{г}}$ – объем сбраживаемой биомассы в МТ, м^3.

Количество теплоты, необходимое для нагрева суточной дозы загрузки биомассы до температуры сбраживания:

$$Q_{\text{н.дз}} = V_{\text{дз}}\, c_{\text{бм}}\, \rho_{\text{бм}} \left(t_{\text{сбр}} - t_{\text{исх}}\right)_{\text{г}} \qquad (2.24)$$

где $V_{\text{дз}}$–объем суточной дозы загружаемой в МТ биомассы, м^3.

Количество потерь теплоты с удаляемой дозой суточной выгрузки сброженного субстрата:

$$Q_{\text{п.уд}} = V_{\text{дз}}\, c_{\text{бм}}\, \rho_{\text{бм}}\, t_{\text{сбр}} \qquad (2.25)$$

Теплота химических реакций сбраживания ($Q_{\text{х.р}}$), учитывая, что часть химических реакций (экзотермические реакции) происходят с выделением теплоты, а часть (эндотермические реакции) с поглощением теплоты, не оказывает значительного влияния на тепловой баланс установки, поэтому ее расчетом в данном случае можно пренебречь.

Предварительные теплотехнические расчеты с использованием представленных аналитических зависимостей показывают (рис. 2.6), что энергообеспечение наиболее энергоемкого и относительно кратковременного периода ($\tau_{\text{н}}$) нагрева биомассы в МТ до температуры выбранного режима сбраживания (период запуска установки) целесообразно осуществить за счет совместного применений основной и дублирующей систем энергообеспечения.

Тогда расчет параметров основной системы теплоснабжения целесообразно производить для периода ($\tau_{\text{нс}}$) установившегося непрерывного режима сбраживания.

Исключим из выражения (2.17) отношение ($F_{\text{ск}} / Q_{\text{тп(т)}}$) путем составления уравнения теплового баланса обогреваемого метантенка, СК и

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

аккумулятора теплоты (АТ) для ясного солнечного дня (за промежуток времени $\tau = \tau_a$):

$$Q_{ск(\tau.д)} = Q_{тп(\tau.д)} + Q_{ак} \qquad (2.26)$$

где $Q_{ск(\tau.д)}$, $Q_{тп(\tau.д)}$ и $Q_{ак}$ –количество соответственно; производимой СК, потребляемой для обогрева МТ и аккумулированной в АТ энергии в течение ясного солнечного дня, Дж.

Для $Q_{ск(\tau.д)}$ аналогично выражению (2.16), запишем:

$$Q_{ск(\tau.д)} = Q_{си\,(\tau.д)} F_{ск} \eta_{ск} \qquad (2.27)$$

Значение $Q_{ак}$ вычисляется по формуле:

$$Q_{ак} = G_{ак} c_{ак} \Delta t_{ак} \qquad (2.28)$$

где $G_{ак}, c_{ак}$–масса (кг) и удельная массовая теплоемкость (Дж/(кг·К)) аккумулирующей среды (воды) в АТ теплоты; $\Delta t_{ак}$–разность температур в начале и конце зарядки или разрядки АТ, К.

После преобразования уравнения теплового баланса (2.26), с учетом значения $Q_{ск(\tau.д)}$ из выражения (2.27) и предполагая, что суточная теплопотребность метантенка $Q_{тп(т)}$ должна обеспечиваться за счет дневного солнечного излучения, получаем:

$$F_{ск} / Q_{тп(\tau)} = \left(Q_{си(\tau.д)} \eta_{ск} - f_{ак} \Delta t_{ак}\right)^{-1} \qquad (2.29)$$

где $f_{ак} = \left(G_{ак} \cdot c_{ак}\right) / F_{ск}$ – аккумулирующая способность аккумулятора теплоты, отнесенная на единицу поверхности солнечного коллектора, Дж/(м^2·К).

После подстановки ($F_{ск} / Q_{тп(\tau)}$) из выражения (2.29) уравнение (2.17) примет вид $\phi_d = 1 - \left[Q_{си(\tau)} \eta_{ск} / \left(Q_{си(\tau.д)} \eta_{ск} - f_{ак} \Delta t_{ак} \right) \right]$.

Используя это уравнение можно определить значение $f_{ак}$ при заданной величине ψ_d (доли тепловой нагрузки метантенка замещаемой отопительным дублером):

$$f_{ак} = \left[Q_{си(\tau.д)} \eta_{ск} - \left\{ Q_{си(\tau)} \eta_{ск} / \left(1 - \psi_{d}\right) \right\} \right] / \Delta t_{ак} \qquad (2.30)$$

Зависимость (2.30) с учетом уравнения (2.17) может быть записан в виде $f_{ак} = \eta_{ск} \left(Q_{си(\tau.д)} - Q_{си(\tau)} b \right) / (\Delta t_{ак})$ – и упрощен, учитывая, что

$$Q_{си(г)} = n_{сут} \; Q_{си(\tau.д)}$$

где $n_{сут}$ – количество суток за рассматриваемый промежуток времени т.

Значение ($n_{сут}$) составляет для дневного промежутка времени ($\tau = \tau_{д}$ =8ч.): $n_{сут} = \tau_{д} / \tau_{сут} = 8/24 = 1/3$.

Отсюда для рассматриваемого нами промежутка времени получим:

$$f_{ак} = \left[Q_{си(\tau.д)} \eta_{ск} \left\{ 1 - (b/3) \right\} \right] / \Delta t_{ак}, \qquad (2.31)$$

Предполагая, что основная система теплоснабжения МТ за счет дневной тепловой производительности СК должна обеспечить суточную тепловую нагрузку в установившемся непрерывном режиме сбраживания без применения отопительного дублера (при $\psi_{d} = 0$), с учетом уравнения (2.17) имеем:

$$f_{ак} = 2 Q_{си(\tau.д)} \eta_{ск} / (3 \Delta t_{ак}), \text{ а также } \left(Q_{си(\tau.д)} \eta_{ск} f_{ск} \right) / Q_{тп(ис)} = 1 \qquad (2.32)$$

Для этого случая, с учетом выражений (2.20, 2.22–2.25), площадь лучевоспринимающей поверхности СК, обеспечивающая тепловой режим процесса анаэробного сбраживания в МТ за промежуток времени $\tau_{сут}$ определяется по выражению:

$$F_{ск} = \left[V_{дз} c_{бм} \rho_{бм} \left(2 t_{сбр} - t_{исх} \right) + 2 \left\{ F_{мт} \tau_{сут} \left(t_{вмт} - t_{ос} \right) / R_{\tau} \right\} + V_{бг} c^{/} T_{бг} \right] / \left(Q_{си(\tau.д)} \eta_{ск} \right) \qquad (2.33)$$

При известном (рассчитанном по выражению (2.33) значении $F_{ск}$ объем бака-аккумулятора теплоты ($V_{ат}$, м^3) солнечной системы теплоснабжения МТ с объемом $V_{мт}$ может быть определен по формуле:

$$V_{ат} = f_{ак} F_{ск} / \left(c_{ак} \rho_{ак} \right) = 2 Q_{си(\tau.д)} F_{ск} \eta_{ск} / \left(3 \Delta t_{ак} c_{ак} \rho_{ак} \right) \qquad (2.34)$$

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

где $\rho_{ак}$ – плотность аккумулирующей среды (воды в баке-аккумуляторе теплоты), кг/м^3.

Зависимости (2.33) и (2.34) позволяют взаимосвязанное определение параметров основной системы теплоснабжения метантенка КАБЭУ, в зависимости от дневного количества поступающей солнечной радиации.

Как видно из выражения (2.34), при рассчитанном значении $F_{ск}$ автономное теплоснабжение метантенка энергией, выработанной солнечным коллектором (фактический коэффициент замещения тепловой нагрузки) зависит от значения величины «$f_{ак}$».

Для определения влияния $f_{ак}$ на величину фактического коэффициента замещения тепловой нагрузки метантенка используется графоаналитический метод /52/.

С учетом уравнений (2.17) и (2.32), критерий оценки степени автономности работы метантенка КАБЭУ в виде фактического коэффициента замещения тепловой нагрузки $k_{зам.ф}$ процесса анаэробного сбраживания, выражается следующей зависимостью:

$$k_{зам.ф} = (1/3)\left[1 - f_{ак}\Delta t_{ак} / \left(Q_{си(\tau.\partial)}\eta_{ск}\right)\right] \qquad (2.35)$$

Построим график зависимости $k_{зам.ф}$ от $f_{ак}$ для разных значений $\Delta t_{ак}$ при прочих равных условиях (равных значениях поступающей за день солнечной радиации, эффективности СК), в предположении, что величина доли дублирующего источника энергии составляет 25% общей тепловой нагрузки биогазового реактора, т.е. ψ_d=0,25.

Тогда граничным условием применимости выражения (2.35) является $k_{зам.ф} \le k_{зам.расч} = 1 - \psi_d = 0{,}75$.

На рис. 2.12 видно, что $k_{зам.ф}$ при отсутствии АТ составляет 0,33, т.е. более чем в два раза меньше расчетной величины.

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

Применение же АТ обеспечивает в зависимости от величины $\Delta t_{ак}$ существенное повышение коэффициента замещения при той же площади поверхности СК.

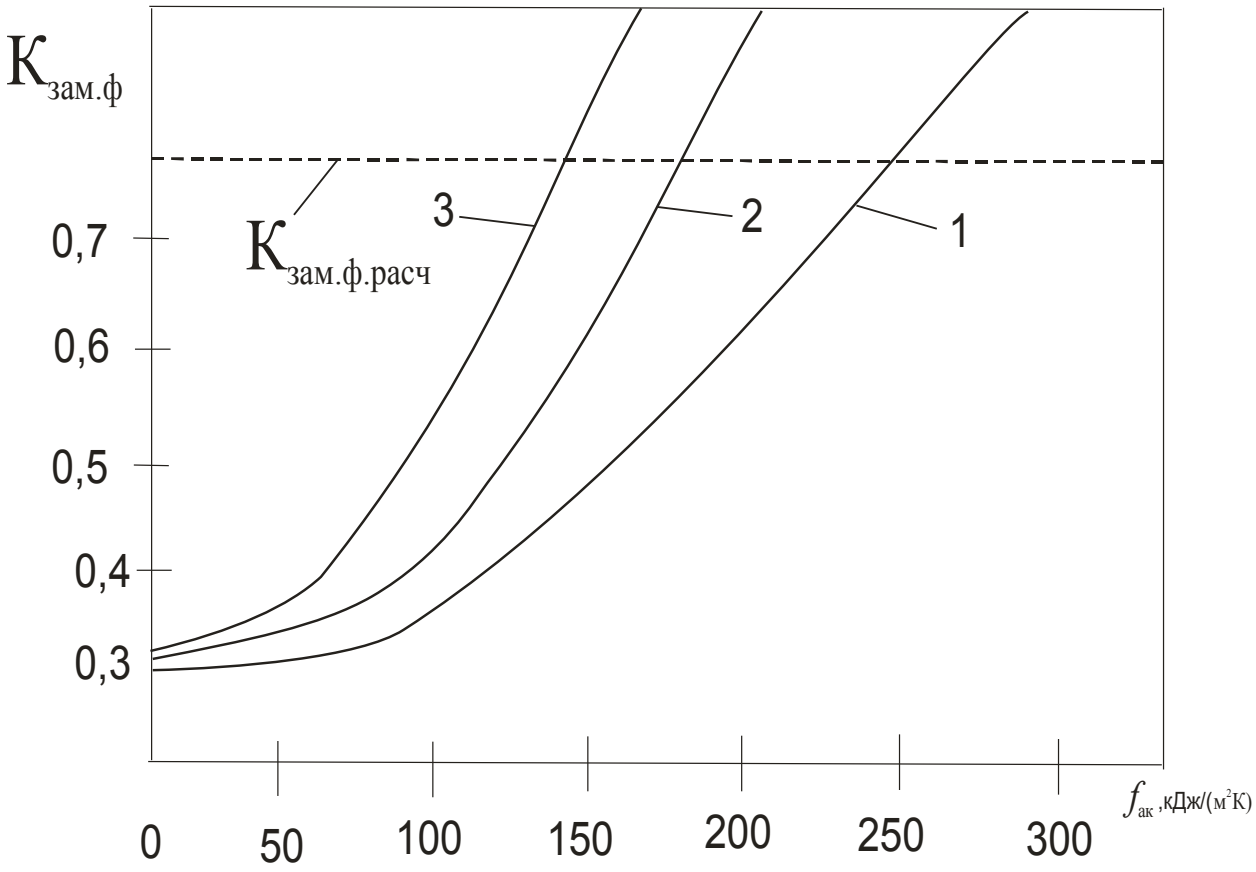

Рис. 2.12. Зависимость фактического коэффициента $k_{зам.ф.}$ замещения тепловой нагрузки МТ от удельной энергоемкости аккумулятора теплоты $f_{ак}$.

Например, для $\Delta t_{ак}$ = 10°С при увеличении удельной энергоемкости АТ $f_{ак}$ от 50 до 350 кДж/(м^2·К) (что эквивалентно теплоаккумулирующей способности воды от 12 до 84 л на 1 м^2 поверхности СК), значение $k_{зам.ф}$ возрастает от 0,33 до 0,75.

Дальнейшее увеличение $f_{ак}$ не имеет смысла, так как расчетная поверхность СК не может обеспечить значений $k_{зам.ф} \le k_{зам.расч}$.

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

При этом проекция точки пересечения кривой $k_{зам.ф}$ для эксперимен-тально установленной величины $\Delta t_{ак}$ с прямой $k_{зам.расч}$ на ось абсцисс определяет оптимальную величину $f_{ак}$, обеспечивающей автономность теплоснабжения МТ за счет тепла вырабатываемой СК.

В целях расчета по представленным аналитическим зависимостям, могут быть применены значения теплоемкости (рис. 2.13) используемого для анаэробного сбраживания навоза КРС, экспериментально определенные в работах /25, 42/.

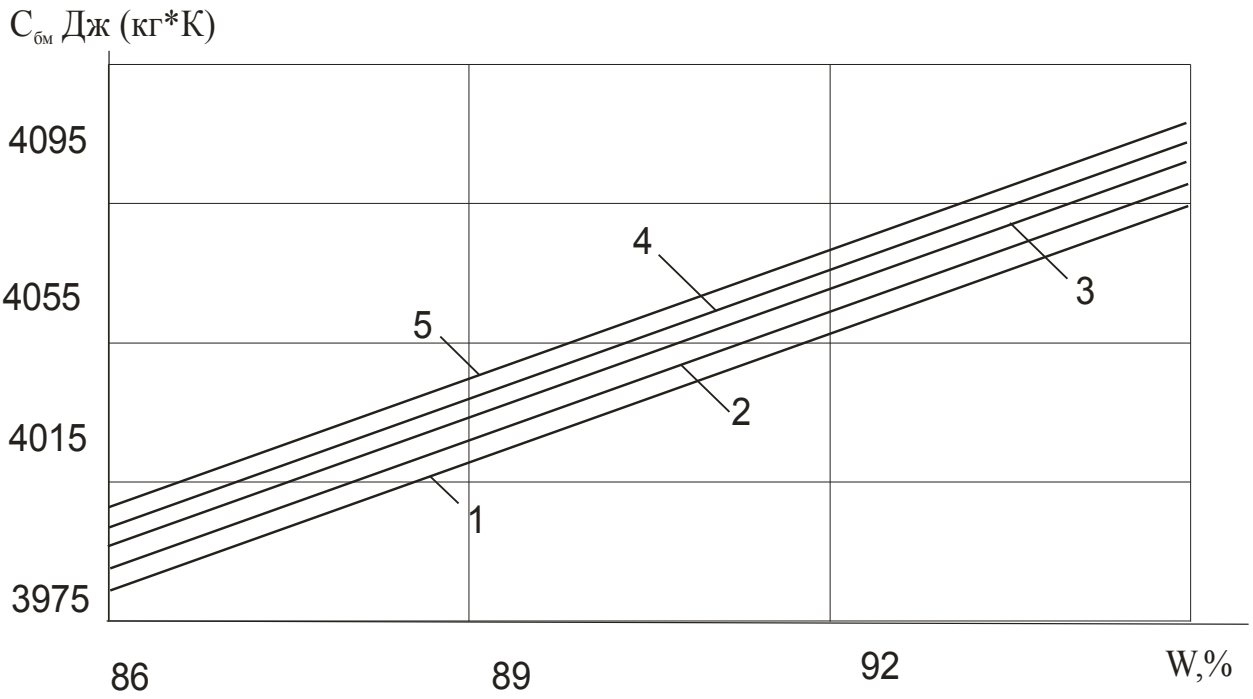

Рис.2.13. Зависимости теплоемкости Сбм навоза КРС от его влажности W,%: 1–Т=293К; 2–Т=303–313К; 3–Т=323К; 4–Т=333К; 5–Т=343К.

Величины дозы суточной загрузки биомассы в непрерывном режиме сбраживания, средних температур теплоносителя: в водяной рубашке МТ, АТ, разности температур в начале и конце зарядки (разрядки) АТ ($\Delta t_{ак}$) определяются по результатам представленных экспериментальных исследований.

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

2.5. Анализ процессов утилизации биогаза в качестве топлива и характеристика процесса горения

Система энергообеспечения от биоэнергетической установки должна обеспечивать подачу газа потребителям в необходимом объеме и требуемых параметров.

Обычно биогаз выходит из метантенка неравномерно и с малым давлением (до 4 кПа), и с учетом гидравлических потерь в газопроводах этого давления недостаточно для нормального функционирования газосжигающих устройств. К тому же объем газа, вырабатываемого реактором, не соответствует объему газа, расходуемого потребителем в каждый данный момент времени, поэтому обязательным компонентом в КАБЭУ являлся газгольдер.

В зависимости от рабочего давления накапливаемого в них биогаза существуют /54/ газгольдеры низкого (рабочее давление 1,7–4,0 кПа), среднего (от 5 кПа до 0,3 Мпа) и высокого (от 0,3 до 1,8 МПа) давления.

Принципиальное различие между газгольдерами низкого и высокого давления заключается в том, что рабочий объем первых является переменным, а давление газа в процессе наполнения или опорожнения остается неизменным или изменяется незначительно (обеспечивается подвижностью конструкций), изометрический объем газгольдеров высокого давления остается постоянным, а давление при наполнении изменяется от начального до рабочего в заранее заданных пределах, определяемых параметрами технологического процесса использования газа.

В практике применения биогаза используются газгольдеры низкого давления, которые в свою очередь, бывают мокрые и сухие. По причине простоты в изготовлении и обслуживании, а также эксплуатационной надежности в технологической схеме КАБЭУ применяется мокрый газгольдер низкого давления (рис. 2.7), в котором биогаз скапливается под плавающим колоколом, края которого погружены в жидкость, образуя гидравлический затвор.

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

Давление газа под колоколом определяется весом жидкости, вытесненной из-под колокола газом или весом самого колокола, и не превышает 5 кПа.

При использовании биогаза в качестве энергоносителя, главным горючим компонентом которого является метан (табл. 2.2), должна предусматриваться его очистка перед подачей к потребителю.

Очистка биогаза состоит, в основном, в удалении от него сероводорода (H_2S), а также в необходимых случаях влаги и углекислого газа.

Процесс очистки от влаги состоит в охлаждении биогаза. Это достигается, например, при выполнении части газопроводного тракта в виде подземной трубы. При прохождении биогаза в подземной части трубопровода температура около 10°С является достаточной для конденсации влаги, и когда газ вновь подогревается, содержание влаги в нем существенно уменьшается. Предусматриваемые в нижних точках газового тракта сборники конденсата, рассчитываются на максимально возможное количество жидкости.

Таблица 2.2. Усредненный состав биогаза из метантенка

Компоненты биогаза	Химическая формула компонента	Содержание компонентов, %
Метан	CH_4	40…75
Углекислый газ	CO_2	25…55
Водяной пар	H_2O	0…10
Сероводород	H_2S	0...1
Азот	N_2	0…5
Кислород	O_2	0…2
Водород	H_2	0…1

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

Сероводород, содержащийся в биогазе, смешиваясь с водяными парами, образует серную и сернистую кислоты, вызывающие коррозию металлических поверхностей газоиспользующего оборудования (скорость коррозии может достигать 0,5...1 мм в год).

Кроме того, при сжигании биогаза H_2S переходит в оксиды серы, и учитывая высокотоксичность H_2S, SO_2 и SO_3, это является серьезным ограничением использования биогаза в газоиспользующих устройствах.

Наиболее простым и экономичным способом очистки биогаза от сероводорода является каталитический сухой метод (с использованием в качестве катализатора $Fe(OH)_3$), выражаемый формулой /14/:

$$2Fe(OH)_3 + 3H_2S = Fe_2S_3 + 6H_2O + 61{,}92 \text{ Дж} \qquad (2.36)$$

Пример практического применения сухой очистки в специальном фильтре приводится в работе /3/. В качестве абсорбера применяется металлическая "губка", состоящая из смеси окиси железа и деревянной стружки. С помощью 0,035 $м^3$ металлической губки из биогаза можно извлечь 3,7 кг серы. Если содержание сероводорода в биогазе составляет 0,2%, то этим объемом металлической губки можно очистить от сероводорода около 2500 $м^3$ газа. Для регенерации губки ее необходимо подержать некоторое время на воздухе.

Минимальная стоимость материалов, простота эксплуатации фильтра и регенерация абсорбера делают этот метод надежным средством для защиты газгольдера, трубопроводов от коррозии и для обеспечения функциональной и эксплуатационной безопасности газоиспользующих устройств.

Отделение CO_2, представляющего инертный компонент биогаза (не препятствует сжиганию биогаза) может быть осуществлен методом абсорбции в промывочном растворе (в абсорбере при избыточном давлении около 1 МПа CO_2 поглощается водой), и применяется только в крупных установках с высоким объемом выхода газа и утилизации CO_2.

Расчет процесса горения очищенного от балластов биогаза заключается в определении: количества теоретически и действительно необходимого

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

расхода воздуха; состава и объемов продуктов сгорания; температур горения биогаза как топлива.

Теоретически необходимое количество воздуха ($V_{в(т)}, м^3$) для полного сжигания 1м^3 биогаза может быть рассчитана по уравнениям реакций горения метана (как основного горючего компонента биогаза) /55/:

$$CH_4 + 2(O_2 + (79/21)N_3) = CO_2 + 2H_2O + 7{,}52\,N_2 \qquad (2.37)$$

И составляет $V_{в(т)} = 2(1 + (79/21)) = 9{,}52 м^3$.

Действительный расход воздуха $V_{в(д)}, м^3$ определяется величиной коэффициента избытка воздуха (α), и при $\alpha > 1$ составит $V_{в(д)} = \alpha V_{в(т)}$.

Из уравнения (2.37) следует, что при сжигании 1 м^3 СН. образуется 1 м^3 CO_2, 2 м^3 водяного пара (H_2O) и 7,52 м^3 азота. Таким образом, при сгорании газа с коэффициентом избытка воздуха α=1 получается 10,52 м^3 продуктов сгорания, из них сухих газов - 8,52м^3.

Состав продуктов сгорания (в % объема) определяется в расчете на сухие газы. Так, содержание CO_2 при α=1 составит (1/8,52)·100=11,7%.

Полученная величина называется максимальным содержанием CO_2 и обозначается CO_{2max}. Очевидно, что в условиях сжигания при α>1 содержание CO_2, в продуктах сгорания снизится.

Величину коэффициента избытка воздуха можно найти по результатам измерения содержания CO_2 в продуктах сгорания из соотношения:

$$\alpha = \frac{79/CO_2}{79/CO_{2\,max}} = \frac{CO_{2\,max}}{CO_2} \qquad (2.38)$$

Действительный объем продуктов сгорания биогаза ($V_{пг}$, м^3) при α>1 определяется по зависимости

$$V_{пг} = V_{пг(т)} + (\alpha - 1)V_{в(т)} \qquad (2.39)$$

где $V_{пг(т)}$ – объем газов при теоретических условиях сжигания, м^3.

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

Смесь горючего газа и воздуха, состав которой соответствует уравнению реакции горения, называется стехиометрической. Содержание воздуха в стехиометрической смеси определяется по выражению:

$r_{возд} = (\alpha V_{в(т)}) / (1 + \alpha V_{в(т)})$, и равна $r_{возд} = 89{,}5\%$, а содержание газа $r_{газа} = 100 - r_{возд} = 10{,}5\%$.

Теоретическая температура горения ($T_г$,К) газовоздушной смеси метана (калориметрическая или максимальная температура горения) определяется при условии отсутствия отвода теплоты в окружающую среду по формуле /55/:

$$T_г = H_u / \left\{ c_p \left(1 + \alpha V_{в(т)} \right) \right\} \qquad (2.40)$$

где H_u –низшая теплота сгорания горючего газа, величина которой для метана равна 36 МДж/м^3; c_p –удельная изобарная теплоемкость газов, принимаемая для данной температуры дымовых газов, Дж/(м^{3}К).

Основой большинства бытовых приборов, в которых можно использовать биогаз, являются инжекционные горелки низкого давления с частичной инжекцией первичного воздуха в количестве 50–60% от теоретически необходимого. По сравнению с другими газами биогазу нужно меньше воздуха для горения. Следовательно, газовые приборы нуждаются в более широких жиклерах для прохождения биогаза.

По данным /3/, для полного сгорания 1 литра биогаза необходимо около 5,7 литров воздуха, в то время как для пропана – 23,8 литра. При этом согласно /55/ теоретическая температура горения газовоздушной смеси метана составляет 2065°С.

Перед использованием бытовой газовой плиты горелки должны быть отрегулированы для достижения компактного голубоватого пламени с самопроизвольной стабилизацией, т.е. негорящие участки горелки должны самостоятельно загораться в течение 2–3 секунд.

Перспективно применение инжекционных горелок беспламенного типа (рис. 2.14), называемых горелками инфракрасного излучения.

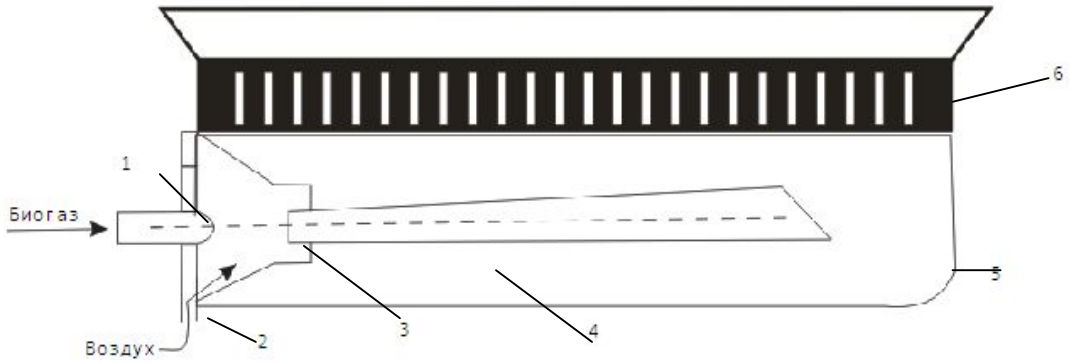

Рис. 2.14. Биогазовая горелка инфракрасного излучения: 1–сопло горелки; 2–камера всасывания (конфузор); 3–горловина; 4–диффузор; 5–распределительная камера; 6–керамическая насадка горелки.

При течении смеси через многочисленные каналы перфорированной керамической насадки 6, температура смеси повышается до 600–800°С, благодаря чему процесс горения протекает практически мгновенно. При этом поверхность керамической пластины раскаляется до 900–1000°С, излучая до 60% лучистой энергии в инфракрасной области спектра. Использование инфракрасной горелки мощностью до 1–2 кВт для сушки плодов и овощей, а также сброженного эффлюента биогазового реактора являются вполне приемлемыми вариантами эффективной утилизации биогаза в фермерском хозяйстве.

В течение десятилетий производство тепловой энергии из биогаза было почти единственной технической возможностью для применения биогаза.

В последнее время эта возможность применения биогаза успешно вытесняется комбинированным использованием тепловой и электрической энергии.

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

ВЫВОДЫ ПО ВТОРОЙ ГЛАВЕ

1. Обоснована последовательность математического моделирования БЭУ;
2. Разработаны технологические схемы биоэнергетических установок с использованием фотоэлектрических преобразователей и с использованием ДС;
3. Установлена динамика выделения биогаза $V_{бг}$ метантенка с непрерывным режимом сбраживания и теплопотребности процесса сбраживания $Q_{потр}$;
4. Разработана расчетная модель теплового баланса КАБЭУ и анализ его составляющих при использовании солнечного излучения и отопительного дублера, для периодов: нагрева, циклического и непрерывного сбраживания биомассы в метантенке в отдельности;
5. Разработана и исследована технологическая схема биоэнергетической установки с двухстадийным процессом анаэробного сбраживания в раздельных реакторах с учетом характерных фаз процесса биометаногенеза (кислотогенная и метаногенная);
6. Разработана оригинальная конструкция накопительной емкости эффлюента выполненная в виде солнечной сушилки позволяющая разделить эффлюент на фракции и способствует его термическому обеззараживанию.

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

ГЛАВА 3
ПРИМЕНЕНИЕ ДВИГАТЕЛЯ СТИРЛИНГА В ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЕ КАБЭУ

3.1. Разработка топочно-горелочного устройства для сжигания биогаза в энергетической установке с двигателем Стирлинга

В автономной биоэнергетической установке, предназначенной для эксплуатации в отдаленных от централизованного электроснабжения районах, теплота к рабочему телу ДС подводится за счет биогаза, поступающего от метантенка через газгольдер (рис. 3.1). Обычно при сжигании газообразного топлива в камере сгорания тепловая энергия, содержащаяся в продуктах горения, не полностью передается рабочему телу ДС, и часть теплоты уходит в атмосферу. В частности, для биогаза это связано с многокомпонентностью его состава (в основном метан и углекислота, а также в небольших количествах сероводород, вода, азот, аммиак, этан, пропан, бутан, пентан, этилен), и часть компонентов не успевают войти в реакцию с кислородом в процессе горения.

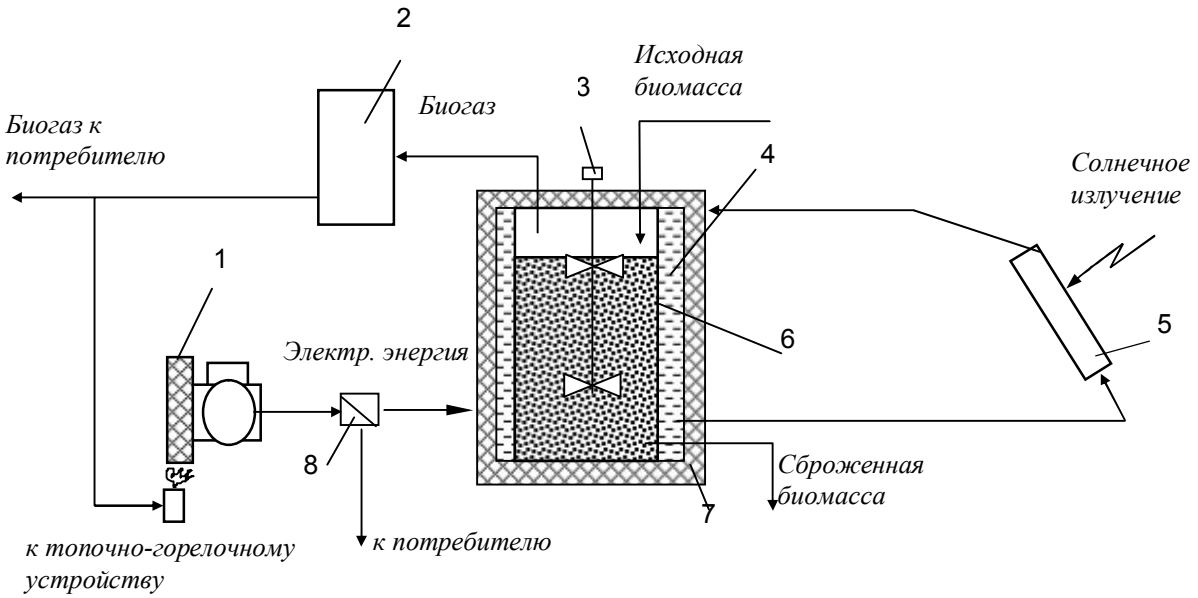

Рис. 3.1. Технологическая схема автономной энергетической установки: 1– двигатель Стирлинга с электрогенератором; 2–газгольдер; 3–мешалка; 4–водяная рубашка метантенка; 5–гелиоколлектор; 6–метантенк; 7–теплоизоляция метантенка; 8– инвертор.

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

Для обеспечения полного сгорания топлива и повышени эффективности подвода теплоты к рабочему телу ДС через теплоприемник нами было усовершенствовано топочно-горелочное устройство (ТГУ) ДС (рис. 3.2). Новизна представленного ТГУ защищена патентом на изобретение /56/.

Рис. 3.2. Общий вид экспериментального ДС с ТГУ: 1–двигатель Стирлинга α–модификации; 2–топочно-горелочное устройство.

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Безруких П.П., Стребков Д.С. Состояние, перспективы и проблемы развития возобновляемых источников энергии // Малая энергетика, 2005, №1-2 (2-3). - с. 6–13.
2. Стребков Д.С. Возобнавляемая энергетика в третьем тысячелетии. // Энергетическая политика, 2001, №2. - с. 23–27
3. Веденев А.Г., Веденеева Т.А. Биогазовые технологии в Кыргызской Республике // Бишкек «Евро». 2006.- с. 90.
4. Безруких П.П. Нетрадиционная энергетика.// Российский химический журнал, 1997. - Том XI, №6. - с. 82–91.
5. Панцхава Е.С., Кошкин Н.Л.,Пожарнов В.А. Биомасса-реальный источник коммерческих топлив и энергии. Ч.1. Мировой опыт. // Теплоэнергетика, 2001, №2, - с. 21–25.
6. Биоэнергетика: мировой опыт и прогноз развития: Научно- аналитический обзор. // - М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2007. - с. 204.
7. Осмонов О.М. Биогазовая технология и сохранение плодородия почвы в Кыргызской Республике. // Сборник докладов международной научно-практической конференции. «Агроэкологические проблемы использования органических удобрений на основе отходов промышленного животноводства». - М., Россельхозакадемия - ГНУ ВНИПТИОУ, 2006. -с. 116–120.
8. Обозов А.Дж., Ботпаев Р.М. Возобновляемые источники энергии: Учебное пособие для вузов // - Б., КГТУ, 2010. – с. 175–207.
9. Осмонов О.М., Мурзубраимов Б. Анаэробная биоконверсия отходов животноводства-рациональный путь охраны окружающей среды. // Сборник научных трудов Ошского технологического университета. Вып.1. - Ош, ОшТУ,1997. -с. 38–44.
10. Беккер М.Е. и др. Трансформация продуктов фотосинтеза. // - Рига, Зинатне, 1984. – с. 252.

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

11. Панцхава Е.С., Березин И.В. Техническая биоэнергетика. 1. Биомасса как дополнительный источник топлива. Получение биогаза. // Биотехнология, 1986, №2. -с. 1–12.
12. Ананиашвили Г.Д. Основы биоэнергетики и биоэнергетического строительства в сельском хозяйстве. // Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук. - М., 1959. -с. 32.
13. Прищеп Л.Г., Якименко А.П. и др. Проектирование комплексной электрификации. // - М., Колос,1983. - с. 271.
14. Баадер В., Доне Е., Брендерфер М. Биогаз: теория и практика. // -М., Колос, 1982. - с. 148.
15. Келов К. Разработка научных основ технологии метанового сбраживания отходов животноводства и создание биогазовых установок с использованием солнечной энергии. // Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук.- Ашхабад, 1990. - с. 330.
16. Калюжный С.В., Пузанков А.Г. Варфоломеев С.Д. Биогаз Проблемы и решения. // Итоги науки и техники. Сер. Биотехнология. -М., ВИНИТИ АН СССР, 1988. т.21.- с. 178.
17. Шаробаро И.Д. Состояние и перспективы развития биогазовых установок. // Обзорная информация. - М., ЦНИИТЭИ, 1986.- с. 38.
18. Ковалев А.А., Лосяков В.П. Результаты исследований экспериментальной биогазовой установки. // Механизация и электрификация сельского хозяйства, 1987, №11. – с. 60–62.
19. Новые технические разработки сельско-хозяйственных биогазовых установок. // Technische Neuentwicklungen landwirtschaftlicher Biogasanlagen. // Korrespandenz Abwasser - 1983, №6, - p. 406–414.
20. Фокина В.Д., Хитров А.Н. Переработка навоза в биогаз. // М., ВАСХНИЛ, ВНИИТЭИ сельхоз, 1981.- с. 51.
21. Гура Б. Производство биогаза из жидкого и твердого навоза на сельхозпредприятиях. // - Варшава, 1987.- с. 110.
22. Отто Адамец. Концепция биогазовых станций. - Прага, 1987. - с. 6–9.

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

23. Кормановский Л.П., Марченко О.С. Опыт ЧСФР по производству биогаза из твердого навоза. // Механизация животноводческих ферм. Научно-технический информационный сборник Информагротех.- 1990.- Выпуск 4. -с. 1–5.
24. Гура Б. Основы технологии производства биогаза.// Обзор МС. Агроинформ. - Варшава, 1984. -с. 128.
25. Гриднев П.И. Исследование процесса и обоснование параметров технологического оборудования для переработки навоза крупного рогатого скота в анаэробных условиях. // Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. - М., ВИЭСХ, 1982. -с. 168.
26. Фокина В.Д. Опыт утилизации навоза с получением биогаза и удобрений. // Свиноводство, 1989, №1. –с. 43–45.
27. Sweeten J. Methane production from livestock waste. // Texas Agricultural Progress, 1978, v.24, №3, - p. 19–22.
28. Гриднев П.И., Шрамков В.М., Лосяков В.П. Тепловой баланс процесса переработки навоза в анаэробных условиях.// НБТ по электрификации сельского хозяйства. Вып.(37). -М., ВИЭСХ, 1979.- с. 93.
29. Богданов П.В. Система подогрева жидкого свиного навоза в технологиях анаэробного сбраживания. // Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук. -М., 1990. - с. 168.
30. Кормановский Л.П. Энергосбережение - первостепенная задача в настоящем столетии. // Техника в сельском хозяйстве, 1999, №4
31. Мишустин Е.Н. Термофильные микроорганизмы в природе и практике. - М., Издательство АН СССР, 1971. -с. 189.
32. Мишустин Е.Н. Ассоциация почвенных микроорганизмов. // -М., Наука, 1975. - с. 105.
33. Осмонов О.М. Автономная гелиобиоэнергетическая установка. // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2006, №11.-с. 16–17.

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

34. Осмонов О.М. Двигатель Стирлинга как преобразователь возобновляемой энергии в автономной энергетической установке. // Вестник ФГОУ ВПО МГАУ «Электротехнологии, электрификация и автоматизация сельского хозяйства», Выпуск №3 (13), 2005.-с. 158–161.
35. Ридер Г., Хупер Ч. Двигатели Стирлинга. -М., Мир,1986.- с. 464.
36. Кенжаев И.Г., Турсунбаев И.А., Обозов А.Дж. Энергоустановки на базе двигателя Стирлинга. // Бишкек, Изд-во «Илим», 2006.- с. 149.
37. Kenjaev I.G., Osmonov O.M. Ismanjanov A.L. Analyze of process of gas fuel in furnace and burning unit of energetic unit with Stirling engine.// Proceedings of the in Central Asia and Europe. 5-6 November, 2004, Tashkent. -p. 159–162.
38. Михеев М.А. Михеева И.М. Основы теплопередачи. -М., Энергия, 1973. -с. 319.
39. Осмонов О.М., Ковалев А.А. Биогазовая установка для малоэнергоемких объектов отгонного животноводства. // Инженерно-техническое обеспечение АПК.-М., 1994. №3. -с. 15–16.
40. Шварцман А., Рабинович Г. И др. Инженерное оборудование индивидуального дома. Справочное пособие. М., Стройиздат, 1993.- с. 134.
41. Сельскохозяйственная биотехнология. // Под редакцией академика РАСХН. В.С. Шевелухи. -2-е изд., перераб. и. доп.- М., Высшая школа, 2003. -с.297–317.
42. Ковалев А.А., Гриднев П.И. Перспективы применения анаэробного сбраживания для переработки навоза. // Механизация и электрификация сельского хозяйства, 1985. №8. -с.38–39.
43. Chen Y.R., Hashimoto A.G. Substrate utilization kinetic model for biological treatment process/- Biotechnol. Bioengineering, 1980, v.22, - p. 2081–2095
44. Lettinga G., Velsen L., van Zeeuw W., de Homba S.W. Anaerobic treatment of sewage and low strength waste waters.// Sept.1979,Cardiff,Wales-Amsterdam etc.,- p. 271–291.

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

45. Гюнтер Л.И., Гольдфарб Л.А. Метантенки.- М., 1991. - с. 128.
46. Ковалев А.А. Технологии и технико-энергетическое обоснование производства биогаза и системах утилизации навоза животноводческих ферм. // Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук. -М., ВИЭСХ, 1998.- с. 330.
47. Калюжный С.В., Данилович Д.А., Ножевникова А.Н. Анаэробная биологическая очистка сточных вод. // Итоги науки и техники. Сер. Биотехнология. -М., ВИНИТИ, 1991. т.29.- с. 3–154.
48. Ковалев А.А., Ножевникова А.Н. Технологические линии утилизации отходов животноводства в биогаз и удобрения. // М., ЦП ВАНТО, 1990.- с. 49.
49. Эдер Б., Щульц Х. Биогазовые установки. Практическое пособие. // -М., Мир, 1996.- с. 238.
50. Рахматуллина Л.И., Осмонов О.М., Ковалёв А.А. Мокрый секционный газгольдер изменяемого объема. Патент РФ на изобретение № 2306478, 2007, бюлл. №26.
51. Осмонов О.М., Рахматуллина Л.И. Энергосбережение при эксплуатации мокрых газгольдеров. // Вестник ФГОУ ВПО МГАУ «Агроинженерия. Электротехнологии, электрификация и автоматизация сельского хозяйства», Вып.№3 (13), 2006.- с. 42–44.
52. Авезов Р.Р. Орлов А.Ю. Солнечные системы отопления и горячего водоснабжения. – Ташкент. Фан. 1988.- с. 288.
53. Осмонов О.М., Рахматуллина Л.И. Математическое моделирование автономной гелиобиоэнергетической установки. // Промышленная энергетика, 2009, №6. - с.55–59.
54. Бережковский М.И. Газгольдеры. -М., Химия, 1985.- с. 196.
55. Волков М.И. Методы расчета тепловых аппаратов предприятий общественного питания. Учебное пособие для механизированных факультетов торговых вузов. -М., Экономика, 1968.- с. 213.

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

56. Кенжаев И.Г., Кудайбердиев Б.Э., Турсунбаев Ж.Ж., Бекбутаев Э.А. Бытовой отопительно–варочный и электрогенерирующий агрегат. Патент №63 Кыргызской Республики. 2004.
57. Цедерберг Н.В. Теплопроводность газов и жидкостей. - М. 1963. - с. 407.
58. Щелкин К.И., Трошин Я.К.. Газодинамика горения. - М., 1963. - с. 250.
59. Осмонов О.М., Ковалев А.А., Кенжаев И.Г., Кудайбердиев Б.Э. Устройство для сжигания газообразного топлива в энергетической установке с двигателем Стирлинга. // Техника в сельском хозяйстве, 2005. №2. - с.46–48.
60. Захидов Р.А. и др. Усовершенственный метод юстировки концентрирующих систем автономных солнечных энергетических установок с термодинамическими преобразователями. // Гелиотехника. - №1. –1989. - с. 27–32.
61. Кенжаев И.Г., Кудайбердиев Б.Э., Турсунбаев Ж.Ж. Анализ энергетического баланса автономной солнечной энергетической установки. // Проблемы управления и информатики: Материалы докладов Международной конференции. Бишкек. 2000. - с.454–458.
62. Kenjaev I.G.,Ismanjanov A.I. Analize of combustion process of gas fuel in furnace and burning unit of energetic unit with Stirling engine. //Energy considerations in Central Asia and Europe: Proceedings of the international conference. Tashkent. 2004. - p.159–162.
63. Авезов Р.Р. Эксергетический анализ гибридных солнечно-топливных энергоустановок // Гелиотехника. - 1999. - №1. - с.17-24.
64. Шаргут Я., Петела Р. Эксергия. М.: Энергия. 1968. - с. 280.
65. Кудинов В.А., Карташов Н.Н. Техническая термодинамика. - М.: Высшая школа. 2003. –с. 261.
66. Кенжаев И.Г. К вопросу применения эксергетических методов исследований для анализа эксергии теплоты во внешнем теплообменном контуре энергетической установки с двигателем Стирлинга // НОТ-КУУ. -2006. - №2. -с. 132-134.

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

67. Осмонов О.М., Кенжаев И.Г., Кудайбердиев Б.Э. Эксергетический анализ системы «топочно-горелочное устройство» энергетической установки с двигателем Стирлинга. // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2007, №3 - с. 34–35.
68. Осмонов О.М., Ковалев Д.А., Кенжаев И.Г., Кудайбердиев Б.Э. Устройство для сжигания газообразного топлива в энергетической установке с двигателем Стирлинга: // Техника в сельском хозяйстве, 2005, №2. - с. 46 – 48.
69. Алексеев Г.Н. Общая теплотехника. – М.: Высшая школа. 1980. -с. 551.
70. Авезов Р.Р. Эксергетическая эффективность солнечных теплогенераторов с параболоцилиндрическими концентраторами излучения гибридных солнечно-топливных энергоустановок. // Гелиотехника. Ташкент. ФАН. –2003. -№2. - с. 26-32.
71. Осмонов О.М. Разработка технологии получения биогаза для малоэнергоемких объектов отгонно-пастбищного животноводства. // Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. - М., ВИЭСХ, 1994. - с. 162.
72. Roediger H. Die anaerobe alkalische Schlammfanlung. – Munchen, R. Oldenburg – Verlag, 1960.
73. Лурье Ю.Ю., Рыбникова А.И. Химический анализ производственных сточных вод. -М., Химия, 1974. -с. 335.
74. Инструкция по лабораторному контролю очистных сооружений на животноводческих комплексах. ЧастьII. Методы химического анализа сточных вод животноводческих комплексов. // -М., Колос, 1983. -с. 32.
75. Пособие для работников агрохимических лабораторий. -М., Сельхозиздат, 1961.- с. 432.
76. Веденяпин Г.В. Общая методика экспериментальных исследований и обработки опытных данных.- М., Колос, 1973.- с. 199.
77. Вапник В.Н. Восстановление зависимостей по эмпирическим данным. - М., Наука.- с. 448.

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

78. Шенк Х. Теория инженерного эксперимента. -М., Мир, 1972.- с. 381.
79. Рачинский Ф.Ю., Рачинская М.Ф. Техника лабораторных работ. -Л., Химия, 1982. -с. 248.
80. Яковлев К.П. Краткий физико-технический справочник. Том 1, - Москва., 1960. - с. 344.
81. Осмонов О.М. Обоснование параметров метантенка автономной гелиобиоэнергетической установки. // Промышленная энергетика, 2011. №4. - с. 57-61.
82. Веденеев А.Г., Маслов А.Н. Строительство биогазовых установок. Краткое руководство.- Бишкек, «Евро», 2006. -с. 28.
83. Алексеев В.В., Киселева С.В. Проблема CO_2 и новые подходы к альтернативной энергетике. // Глобальные природно-антропогенные процессы и экология среды обитания. Сборник трудов РАЕН. – М., 1996. - с. 3–15.
84. ОСТ 10.20.1-87 « «Испытания сельскохозяйственной техники. Установки для метанового сбраживания навоза».
85. Осмонов О.М., Ковалев А.А. Технико-экономическая оценка биогазовых установок. // Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве. Труды 5-й Международной научно-технической конференции. (16-17 мая 2006г., г. Москва, ГНУ ВИЭСХ). В 5-ти частях. Часть 4 «Возобновляемые источники энергии. Местные энергоресурсы. Экология». -М.: ГНУ ВИЭСХ, 2006. -с. 267–272.
86. Бекманис И.В., Соколова Е.Б. Технико-экономические аспекты использования биогаза для теплоснабжения. // Известия АН Латвийской ССР, 1990. №2. -с.129–134.
87. Временная типовая методика определения экономической эффективности осуществления природоохранных мероприятий и оценки экономического ущерба, причиняемого народному хозяйству загрязнением окружающей среды. // - М.: Экономика, 1986.

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com
ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

88. Некрасов В.Г. Оценка экономического эффекта метанового сбраживания навоза. // Техника в сельском хозяйстве, 1989, №6, -с. 27–29.
89. Исманжанов А.И. Расчет технико-экономических показателей на нетрадиционных и возобновляемых источниках энергии. // Методическое указание. КУУ, Ош. 2003. - с. 15.