

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Политехнический
институт
Теплотехники и гидрогазодинамики
кафедра

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

_____ В. А. Кулагин

подпись инициалы, фамилия

« _____ » _____ 2019г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Биогазовые технологии в климатических условиях Красноярского края
тема

13.04.01 Теплоэнергетика и теплотехника
код и наименование направления

13.04.01.01 Энергетика теплотехнологий
код и наименование магистерской программы

Научный руководитель _____ проф-р, д-р техн. наук. М. П. Баранова

подпись, дата должность, ученая степень инициалы, фамилия

Выпускник

_____ А. Р. Монгуш

подпись, дата инициалы, фамилия

Рецензент

_____ _____

подпись, дата должность, ученая степень инициалы, фамилия

Красноярск 2019

Содержание

ВВЕДЕНИЕ.....	3
1. Состояние вопроса.....	5
1.1 Анализ мировых практик внедрения биогазовых установок.....	5
1.2 Основные характеристики и методы получения биогаза.....	10
1.2.1 Процесс анаэробного сбраживания.....	10
1.2.2 Субстраты	16
1.2.3 Схемы биогазовых станций	20
1.3 Перспективы развития биогазовых установок в Красноярском крае	31
1.4 Вывод по главе	33
2. Методическое обеспечение.....	34
2.1 Методика расчета биогазовых установок	34
3. Расчет и выбор оборудования проектируемой биогазовой станции	41
3.1 Исходные данные.....	41
3.2 Расчет биогазовой установки.....	43
3.3 Определение экономически обоснованной толщины изоляции	Ошибка!
Закладка не определена.	
3.4 Выбор вспомогательного оборудования.....	54
3.4.1 Выбор когенератора.....	54
3.4.2 Выбор газгольдера	58
3.4.3 Оборудование подготовки и подачи субстрата	60
3.4.4 Выбор оборудования удаления переброженной массы	62
4. Технико-экономическое обоснование	64
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	77

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в мире разработаны и успешно применяются различные схемы биогазовых технологий. Основной целью их применения является получение биогаза с утилизацией органических отходов.

Особый интерес биогазовые технологии представляют для животноводческих предприятий. Благодаря их применению удается добиться утилизации навоза с получением биогаза и качественного удобрения, которое оказывает меньше агрессивного воздействия на растения чем до переработки, уменьшается эмиссия неприятных запахов, улучшаются гомогенные свойства субстрата, появляется возможность более легкого смешивания, перекачивания и распределения навоза.

В Красноярском крае, стоит проблема утилизации отходов животноводства, особенно отходов крупных фермерств. Практически все отходы данных предприятий имеют органическое происхождение, и могут утилизироваться путем анаэробного сбраживания.

На сегодняшний день разработано множество технологических схем биогазовых станций. Перед фермерами, желающими приобрести биогазовую установку, подходящую для условий Красноярского края, которые являются специфическими для большинства разработанных схем, встает необходимость производить глубокий анализ всех представленных технологий, для определения наиболее экономически выгодного и подходящего под климатические условия решения. Этот факт значительно усложняет процесс внедрения биогазовых технологий в данном регионе.

Это приводит к необходимости выбора единой технологической схемы и оборудования для получения биогаза из отходов животноводства для условий Красноярского края, которые позволят обеспечить максимальную

эффективность процесса при минимальных затратах, и это требует специального исследования.

Объект исследования – биогазовые технологии, применяемые для утилизации продуктов жизнедеятельности животных.

Предмет исследования – биогазовая установка для переработки продуктов жизнедеятельности животных, реализованная на территории Красноярского края.

Цель исследования – разработка технологической схемы получения биогаза для фермерских хозяйств.

В ходе исследования был решен ряд следующих задач:

1) провести анализ теоретических и практических данных по применению биогазовых технологий в мире, акцентируя внимание на установках, эксплуатирующихся в климатических условиях Красноярского края;

2) разработать технологическую схему биогазовой установки для фермерского хозяйства п.г.т. Емельяново Красноярского края;

3) провести технико-экономический анализ разработанной технологической схемы биогазовой установки.

Научная новизна: Разработана технологическая схема биогазовой установки для Красноярского края.

Практическая значимость: Разработанная биогазовая установка, позволит повысить экономичность работы фермерских хозяйств Красноярского края. Помимо этого, применение данной технологии позволит значительно снизить воздействие, оказываемое ими на экологию Красноярского края.

1. Состояние вопроса

1.1 Анализ мировых практик внедрения биогазовых установок

Известно, что развитие современного общества обеспечивается, в первую очередь, энергетической базой. Угроза энергетического кризиса в мировом масштабе делает актуальной проблему развития и популяризации возобновляемых источников энергии. Уже сегодня во многих странах активное использование ВИЭ является одним из главных приоритетов энергетической политики. Яркими примерами этого служат программы в области производства альтернативных видов энергии в Швеции, Германии, Китае, Франции, Дании, Индии, Японии и других стран.

Швеция

Первым опытом внедрения биогазовых станций в Швеции, стало их сооружение на муниципальных очистных сточных вод в начале 60-х годов, главной целью которых было сокращение объемов шлама. Дальнейшее развития технология получила во время нефтяного кризиса 70-х годов. Тогда с целью уменьшения зависимости от ископаемого топлива и снижения экологических проблем сахарные целлюлозные заводы начали применять анаэробное сбраживание для очистки своих сточных вод. Так же в это время, несколько фермерских хозяйств с помощью биогазовых станций стали утилизировать навоз. [6]

Сегодня, строительство и использование биогазовых технологий в Швеции поддерживается значительными государственными субсидиями.

Согласно официальной статистике Швеции в 2010 году на ее территории насчитывалось 135 биогазовых установок, установленных на очистных сооружениях. Число работающих биогазовых заводов на полигонах составляло 57 штук. Количество установок, применяющихся при фермерских хозяйствах

является не значительным, и составляет 14 штук, но постепенно их число увеличивается.

Основная часть биогаза, полученная путем анаэробного сбраживания, очищается и используется в качестве топлива для транспортных средств. В течение первой половины 2010 года 64% проданного автомобилям газа был биогазовый метан. Это является самым высоким процентом в мире.

Германия

Германия является лидером в производстве биогаза в Европе. К этому ее подталкивает стремление сократить выбросы углекислого газа на 40% и отказ от атомной энергетики. Согласно стратегии уменьшения выбросов, национальной целью для производства биометана является его производство к 2020 году 6 миллиардов кубометров газа в год и 10 миллиардов кубометров к 2030 году. В связи с этим можно предполагать дальнейшее расширение производства биогаза на территории Германии.

Так только около 8 792 биогазовых установок были введены в эксплуатацию к концу 2011 года. Основным сырьем данных станций является навоз и энергетические культуры.

Сегодня в Германии ориентировочно 92 завода утилизируют биологические отходы, в том числе городские твердые бытовые отходы. Около 1 700 заводов работают на канализационных очистных сооружениях. Число биогазовых установок, установленных на фермерских хозяйствах составляет приблизительно 7 000.

Дания

В Дании биогазовые установки получили свое распространение после нефтяного кризиса 1973 года. В 2009 году насчитывалось около 60 биогазовых установок на очистных сооружениях, 60 на фермах и около 20 биогазовых установок совместного брожения. Шлам процесса анаэробного сбраживания используется в качестве удобрения.

Ежегодное производство биогаза в Дании согласно официальной статистике составляет 4 ПДж, что является 5% от общего потребления энергии данной страны.

Норвегия

В Норвегии на основе анаэробного сбраживания задействованы 23 завода по очистке сточных вод, 6 заводов утилизации бытовых отходов и 1 крупная биогазовая станция по переработке навоза.

Общий потенциал вырабатываемого биогаза оценивается ориентировочно в 6 млрд. кВт/ч в год. Около 23% биогаза производится при утилизации навоза, 23% при утилизации промышленных отходов и 16% при утилизации пищевых отходов.

Основное потребление биогаза в стране происходит на выработку электрической энергии.

Финляндия

На территории Финляндии работает 76 биогазовых станций, общей производительностью биогаза равной 139 млн. м³. Свалочные и муниципальные очистные заводы в стране преобладают, как и в Швеции. При этом наблюдается тенденция развития биогазовых установок в сельском хозяйстве, сейчас их насчитывается 10.

Россия

На сегодняшний день Россия не имеет широкого распространения биогазовых технологий. Первая биогазовая станция в современной истории России была запущена в 2009 году в д. Дошино, Калужской области. Биогаз полученный в процессе анаэробного сбраживания служит топливом когенерационной установки. Станция располагается в непосредственной близости от молочно-товарной фермы, которая является основным источником субстрата, потребителем электрической и тепловой энергии. Профицит электрической энергии продается в энергосистему.

Подобным образом функционирует биогазовая станция, запущенная в 2010 году вблизи действующего свиного комплекса рассчитанного на 16 000 голов в Грузчанском сельском поселении, Борисовского района, Белгородской области.

В с. Лучки Прохоровского района в начале 2012 года запущена биогазовая станция ООО «АльтЭнерго» представленная на рисунке 1. Она является первой в России биоэнергетической установкой промышленного масштаба. Номинальная генерируемая мощность данной станции составляет 2,4 МВт электрической энергии и 2 Гкал/час тепловой. Она рассчитана, на использование отходов Белгородских сельхозпредприятий для производства биогаза. В результате разложения субстрата станция выдает 66,8 тыс. тонн органических удобрений в год.

Также в 2012 году была введена в эксплуатацию биогазовая станция, рассчитанная на мощность выработки электрической энергии 0,5 МВт а тепловой энергии 0,4 Гкал/час. Собственником данной станции является ОАО «Региональный центр биотехнологий» и она расположена в селе Байцуры Борисовского района Белгородской области (рисунок 2). Объем производства органических удобрений составляет 19,1 тыс. тонн в год.

Следует отметить что все указанные выше биогазовые станции расположены в европейской части России. Указанные регионы характеризуются относительно мягким климатом в зимний период.

Потенциальное производство биогаза на территории России разными специалистами оценивается ориентировочно до 72 млрд м³ в год. Потенциально возможная выработка электроэнергии из данного биогаза составляет 151 200 ГВтч.

По регионам России возможности по производству биогаза оцениваются следующим образом: Приволжский федеральный округ - 18,33 млрд. м³; Южный федеральный округ- 24,4 млрд. м³; Дальневосточный федеральный округ - 1,18 млрд. м³; Уральский федеральный округ - 3,1 млрд. м³; Северо-

Западный федеральный округ - 3,5 млрд. м3; Сибирский федеральный округ - 11,1 млрд. м3; Центральный федеральный округ - 12,1 млрд. м3;.



Рисунок 1 - Биогазовая станция ООО «АльтЭнерго» в с. Лучки Прохоровского района.



Рисунок 2 - Биогазовая станция ОАО «Региональный центр биотехнологий» в с. Байцуры Борисовского района.

Другие страны

В Индии, Вьетнаме, Непале и других странах строят малые биогазовые станции, рассчитанные на одну семью. Получаемый биогаз используется для хозяйственных нужд. Так, только в Индии за последние двадцать лет было установлено 3,8 млн малых биогазовых к концу 2009 года было установлено 200000 малых биогазовых установок.

В Китае на конец 90-х годов находилось наибольшее количество малых биогазовых установок, числом более 10 млн. Их производительность составляла ориентировочно 7 млрд м³ биогаза в год, и они обеспечивали топливом около 60 млн крестьян. В конце 2010 года в Китае действовало уже около 40 млн биогазовых установок. В производстве биогаза в Китае заняты примерно 60 тысяч человек.

Несколько крупных биогазовых станций эксплуатируется в Беларуси: ОАО «Гомельская птицефабрика» мощностью 340 кВт, станция «Западный» мощностью 500 кВт, станция «Белорусская» мощностью 340 кВт и «Сельскохозяйственное производство Сноу» мощностью 2 МВт.

Исходя из произведённого анализа состояния биогазовой отрасли, можно сделать вывод о том, что развитые государства мира постоянно наращивают мощности по строительству биогазовых станций.

1.2 Основные характеристики и методы получения биогаза

1.2.1 Процесс анаэробного сбраживания

В настоящее время в мире разработаны и успешно применяются различные схемы биогазовых технологий. Основной целью их применения является получение биогаза и утилизация биологических отходов.

Анаэробный процесс разложения биологических отходов с образованием биогаза можно разделить на 4 этапа представленных на рисунке 3 в каждом из которых участие принимают много разных групп бактерий:

1. На первом этапе (гидролиз) разложения аэробные бактерии перестраивают высокомолекулярные органические вещества целлюлозу, белок, углеводы, жиры на низкомолекулярные соединения, такие как сахар, аминокислоты, жирные кислоты и воду. Энзимы, выделенные гидролизными бактериями, расщепляют органические составляющие субстрата на малые водорастворимые молекулы. Полимеры превращаются в одномеры. Этот процесс, имеет медленное течение и зависит от внеклеточных энзимов как например целлюлоза, амилазы, протеазы и липазы. На процесс оказывает существенное влияние уровень pH (4,5-6) и время пребывания в резервуаре.

2. Далее расщеплением занимаются кислотообразующие бактерии. Этот этап называют фазой окисления (уровень pH понижается). Отдельные молекулы проникают в клетки бактерий, где они продолжают разлагаться. В результате данного процесса образуются необходимые для метановых бактерий анаэробные условия. При уровне pH 6-7,5 вырабатываются в первую очередь нестойкие жирные кислоты, низкомолекулярные спирты, двуокись углерода, углерод, сероводород и аммиак.

3. Данный этап является очень чувствительным к изменению температуры. Кислотообразующие бактерии с органических кислот создают исходные продукты для образования метана: уксусную кислоту, двуокись углерода и углерод.

4. На последнем этапе образуется метан, двуокись углерода и вода в незначительном количестве как продукт жизнедеятельности метановых бактерий. 90% всего метана вырабатывается на этом этапе, 70% происходит из уксусной кислоты. Исходя из всего выше описанного можно утверждать, что, образование уксусной кислоты на этапе три является фактором, определяющим скорость образования метана. Следует отметить тот факт, что все метановые бактерии являются исключительно анаэробные. Оптимальный уровень pH для

анаэробных бактерий составляет 7, при этом амплитуда колебаний может быть в пределах 6,6-8. [1]

На рисунке 4 указаны все промежуточные продукты анаэробного брожения.

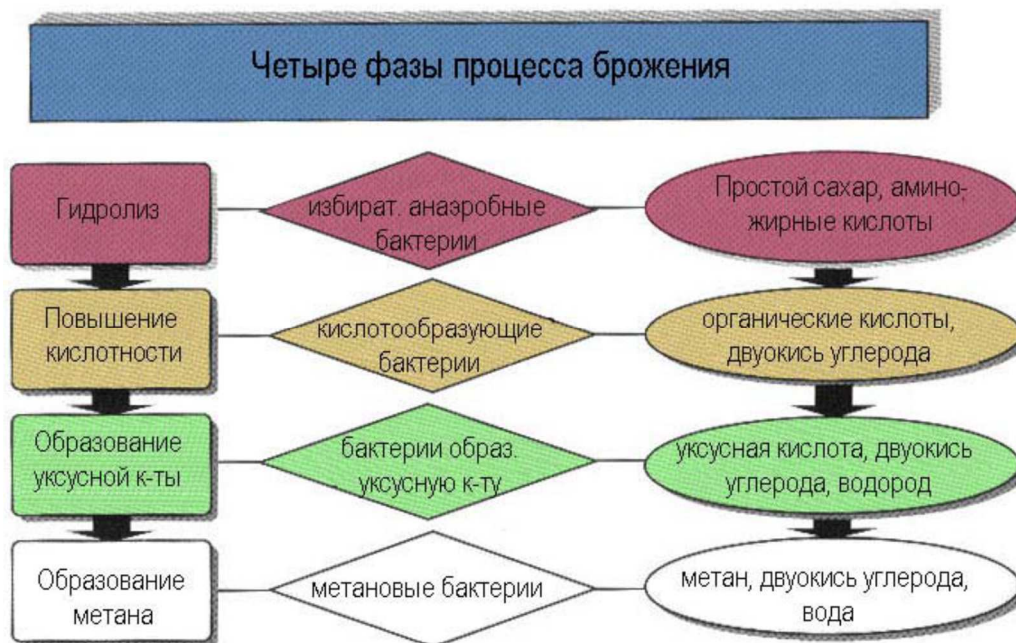


Рисунок 3 – Фазы процесса брожения

Как продукт обмена веществ метановых бактерий образовывается смесь газов(биогаз). Доля метана (CH_4) в данной смеси составляет от 5 до 85% и является основным компонентом биогаза и основным энергосодержащим компонентом.

Метановые бактерии проявляют жизнедеятельность в температурном диапазоне 5-70°C. При более высокой температуре бактерии гибнут, исключение составляют только несколько штаммов которые могут выживать до температуры среды 90°C. При снижении температуры ниже 5°C бактерии прекращают свою жизнедеятельность. Температура при которой происходит брожение оказывает значительное влияние на время протекания процесса. Доказано, что чем выше температура процесса, тем быстрее происходит разложение. Это наглядно видно из рисунка 5.

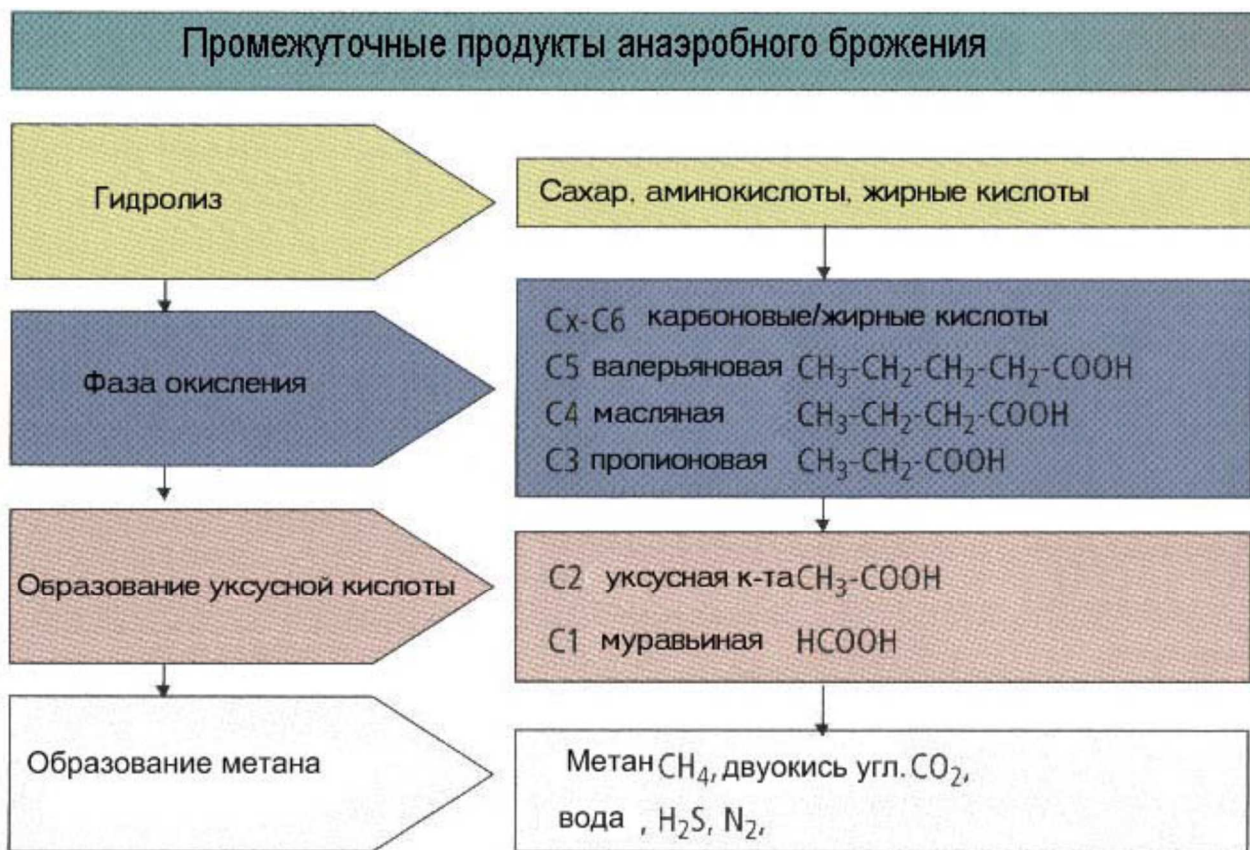


Рисунок 4 – Продукты обмена веществ (органические кислоты) анаэробного разложения

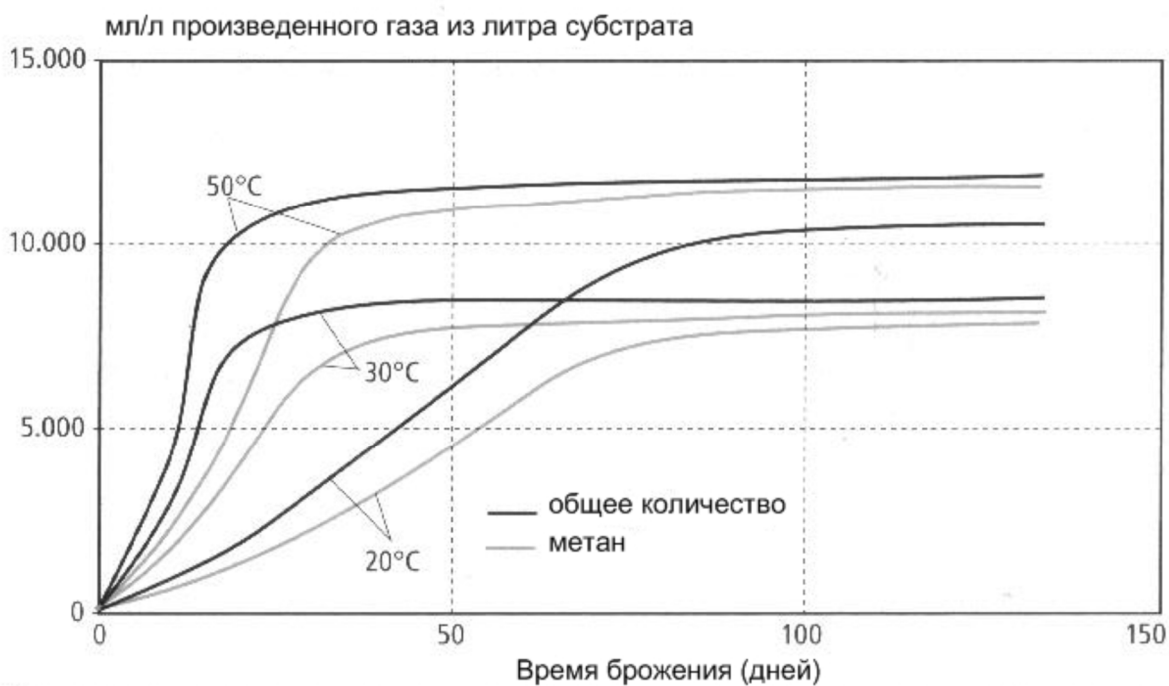


Рисунок 5 – Влияние температуры брожения и времени брожения на количество произведенного газа.

Согласно ГОСТ Р 52808-2007 выделены три температурных режима процесса анаэробного сбраживания:

- Психрофильные штаммы при температуре ниже 25°C,
- Мезофильные штаммы при температуре 25-40°C,
- Термофильные штаммы при температуре свыше 40°C.[9, 15]

Оптимальный температурный режим каждого вида субстрата различен. На основании эмпирических данных эксплуатации биогазовых установок «Флюид», работающих в Кыргызстане, оптимальным диапазоном температур для мезофильного температурного режима сбраживания определен 34÷37°C, а для термофильного 52÷54°C. Наиболее интенсивное выделение биогаза при использовании установок на психрофильном режиме происходит при температуре 23°C [16].

На сегодняшний день большинство промышленных метантенков, действующих в мире, работают в мезофильном режиме анаэробного сбраживания, при температуре 37-42°C и нейтральном показателе щелочности среды рН 6,7- 7,5. [4] Психрофильный режим работы из-за низкой температуры имеет длительный период брожения и сравнительно небольшую производительность газа не получили широкого распространения, в то время как установки с термофильным режимом работы пользуются все большим спросом.

К преимуществам термофильного режима сбраживания относятся: повышенная скорость разложения сырья и, следовательно, более высокий выход биогаза, а также практически полное уничтожение болезнетворных бактерий, содержащихся в субстрате.

К недостаткам термофильного сбраживания можно отнести: необходимость подвода значительного количества энергии на подогрев сырья в метантенке и поддержание его температуры, повышенную чувствительность

процесса к минимальным колебаниям температуры и несколько более низкое качество получаемых удобрений по сравнению с мезофильным режимом при котором сохраняется более высокий аминокислотный состав удобрений.

Влияние температуры ферментатора на активность бактерий показано на рисунке 6. Из него видно, что чем выше температура процесса, тем чувствительнее бактерии к ее колебаниям, особенно, если они краткосрочные.

Это можно заметить из относительно узкого максимума кривой при термофильном режиме.

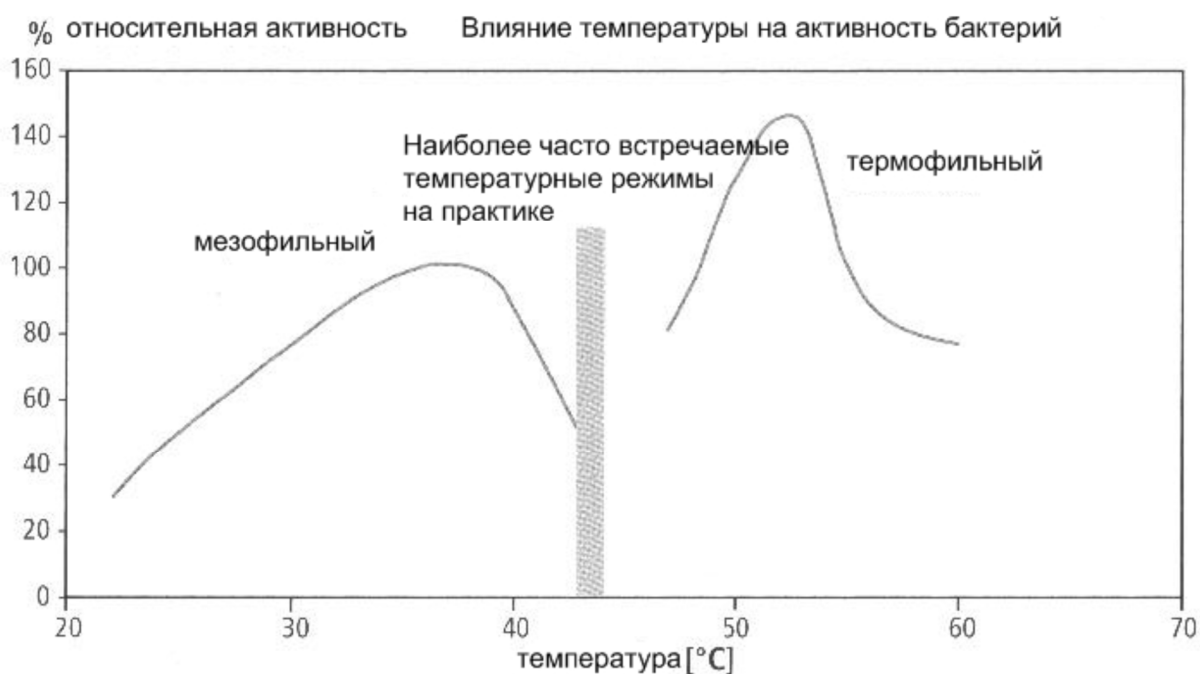


Рисунок 6– Влияние температуры на активность бактерий.

Допустимые колебания температуры для каждого режима определены следующие:

При психрофильном температурном режиме сбраживания - ± 2 0C в час;

При мезофильном температурном режиме сбраживания- ± 1 0C в час;

При термофильном температурном режиме сбраживания - $\pm 0,5$ 0C в час.

[1, 3, 9, 13, 14, 15]

Практика показала, что микроорганизмам вредит, в первую очередь, быстрое изменение температуры, и напротив, метаногенные микроорганизмы могут в случае медленного изменения температуры приспособиться к различным ее уровням. Поэтому для стабильности технологического процесса важна не так абсолютная температура, как в гораздо большей степени постоянство уровня температуры [9].

При выборе высоко температурного режима необходимо предусматривать надежную изоляцию, подходящую под климатические условия региона установки станции, систему автоматизации работы биогазовой установки и системы отопления, с целью исключения резких колебаний температуры. Кроме этого, подавляющее большинство схем станций предусматривает установку теплообменников, для того чтобы производить предварительный его подогрев субстрата при его подготовке для подачи в метантенк.

1.2.2 Субстраты

Традиционным сырьем для анаэробного сбраживания являются: продукты жизни деятельности животных и птиц, отходы скотобоен, свалочные отходы, сельского хозяйства, некоторые энергетические культуры и отходы пищевой переработки.

В таблице 1 представлены значения выхода биогаза на килограмм сухого органического вещества разных субстратов.

Крупные животноводческие предприятия используют в качестве субстрата навоз свиней и крупного рогатого скота. Более полная информация о данных субстратах представлена в таблице 2.

Таблица 1 - Значения выхода биогаза на килограмм сухого органического вещества [1]

Материал	Выход биогаза на единицу массы сухого органического вещества, л/кг	Материал	Выход биогаза на единицу массы сухого органического вещества, л/кг
Навоз свиной	340 - 550	Конопля	380
Навоз КРС	90 - 310	Трава	280 - 550
Навоз лошадей	200 - 300	Ракита	405
Помет птиц	310 - 620	Камыш	170
Навоз овец	90 - 310	Клевер	430 - 490
Солома пшеницы	200 - 300	Отходы зеленых культур	330 - 360
Солома ржи	200 - 300	Ботва картофельная	280 - 490
Солома ячменя	250 - 300	Листья свеклы	400 - 500
Солома овса	290 - 310	Листья подсолнечника	300
Солома кукурузы	380 - 450	Сель. хоз. отходы	310 - 430
Солома рапса	200	Семена растений	620
Пленка риса	105	Листва	210 - 290
Лен	360	Водоросли	420 - 500

Таблица 2 – Контрольные данные по выходу метана с органических удобрений, получаемых в сельском хозяйстве [1]

Выход газа с органических удобрений, получаемых в сельском хозяйстве				
Субстрат	СВ, %	оСВ, %	Выход биогаза на кг оСВ, л	Содержание метана, %
Жидки навоз скота с остатками корма	8	80	370	55
Жидкий навоз скота без остатков корма	8	80	280	55
Свиной навоз	6	80	400	60
Твердый свиной навоз	25	80	450	55
Птичий помет, сухой без соломы	45	75	500	65
Лошадиный навоз, без соломы	28	75	300	55

Состав навоза свиной зависит в первую очередь от цели их содержания, от вида стойла и продуктивности, а также от кормления, от использования

подстилки, остатков корма, атмосферных осадков и использованной для очистки воды. Это можно наглядно увидеть в таблицах 3 и 4.

Таблица 3 – Зависимость влажности навоза от способа его удаления [1]

Тип навоза	Наименование	Способ удаления навоза	Влажность, %
I	Подстилочный	Механически, сезонно	60
	Бесподстилочный	Механически, ежедневно	85 - 88
II	Самосплавная система удаления навоза	Механически в канал с минимальным добавлением воды, ежедневно	94 - 96
III	Система удаления навоза - гидросмыв	Смыв большим количеством воды	99

Таблица 4 – Зависимость состава навоза от способа его удаления [1]

Удобрение	Азот N, %	Фосфор P ₂ O ₅ , %	Калий K ₂ O, %	Кальций СаО, %	Магний MgO, %	Сера SO ₂ , %	Органическое вещество, %
Свиной навоз на соломенной подстилке	0,84	0,58	0,47	0,18	0,09	0,08	21,9
Бесподстилочный навоз	0,57	0,27	0,44	0,28	0,08	-	12
Жидкий свиной навоз	0,46	0,23	0,2	-	-	-	-

Бесподстилочный навоз с рабочей поверхности особенно хорошо подходит для биогазовых установок так как представляет собой только смесь кала, мочи, остатков корма. Он удаляется механический способ с применением скребковых и шнековых транспортеров, скреперных установок, различных типов бульдозеров. Эти способы удаления навоза из помещений являются самый экономичными в плане минимизации объемов образуемой органической массы.

Подстилочный навоз с клетки стойла представляет собой смесь кала и мочи скота, перемешанный с соломой. Образуется на наклонной поверхности, на которую сверху подают солому. Из-за движения животных слой навоза толщиной 30-70 см скачивается вниз на не посыпанную поверхность. Смесь кала и мочи с помощью фронтального погрузчика или шибера вывозится из

стойла. В зависимости от количества подстилки, которая составляет 2-6 кг/голову скота в день, консистенция такого гноя колеблется от густого до твердого состояния. Такой навоз без проблем можно компостировать лишь при большом количестве содержания подстилки. Навоз с небольшим количеством подстилки можно перерабатывать в биогазовых установках с хорошими мешалками.

При использовании устаревшей технологии «гидросмыв» строительство биогазового комплекса на навозных стоках с влажностью 98-99% становится не эффективным.

Необходимо учитывать то факт, что подстилочный навоз имеет худшую растворимость питательных веществ по сравнению с бесподстилочным навозом. Калий бесподстилочного навоза растворим почти на 100%, азот более чем на 50%. Доказано что фосфор бесподстилочного навоза лучше усваивается растениями, чем фосфор минеральных удобрений. Из выше описанного можно сделать вывод что жидкий навоз можно считать комплексным удобрением

Бесподстилочный навоз представляет собой значительный источник органического вещества для воспроизводства почвенного гумуса. В бесподстилочном навозе содержатся многие микроэлементы. В состав органического вещества кала входят целлюлоза, гемицеллюлоза, лигнин, пентозаны и другие вещества, в том числе в небольшом количестве углеводы, от содержания которых зависит время выдержки сырья в бродильной камере. Это наглядно показано на рисунке 7.

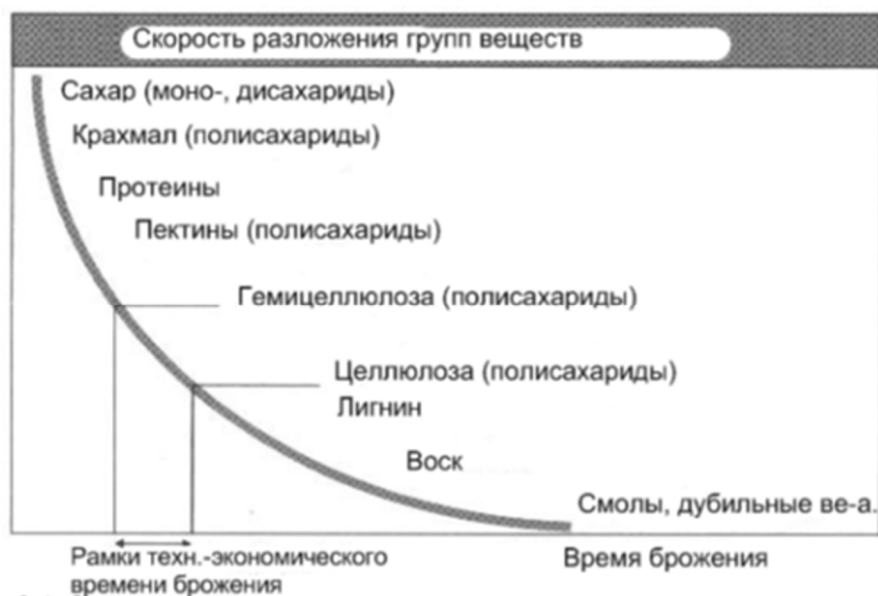


Рисунок 7 – Скорость разложения групп веществ.

1.2.3 Схемы биогазовых станций

В настоящее время в мире разработаны и успешно используются различные биогазовые технологии. Применяются двухстадийные и одностадийные биогазовые комплексы. Одностадийная технология используется для большинства субстратов и такую технологию можно считать базовой.

Схема типовой одностадийной биогазовой установки представлена на рисунке 8.

Для поддержания температуры необходимой для жизнедеятельности бактерий, метантенк теплоизолируется снаружи и внутри оборудована система подогрева, вмонтированная в стены и днище (1,2). Субстрат для улучшения процесса брожения и предотвращения образования корки постоянно перемешивается при помощи мешалок (3). Выгрузка переброженного субстрата и загрузка метантенка новой порцией субстрата происходит одновременно и в равных долях. Управление работой биогазовой станции производится автоматически (11). Образовавшийся биогаз собирается и хранится в газгольдере (6). Газгольдер в данном случае используется в качестве

газонепроницаемого верхнего покрытия метантанка. Внешний купол (7) выполняет защитную функцию от ультрафиолета и поджога, а также чрезвычайно растяжим. Отведение образовавшегося биогаза происходит по трубопроводу (8), оснащенному автоматическими конденсатоотводчиками и предохранительными клапанами. Из газгольдера (6) биогаз подается на когенерационную установку (13). Субстрат после анаэробного сбраживания подается на сепаратор (9), где происходит его разделение на твердые и жидкие биоудобрения.

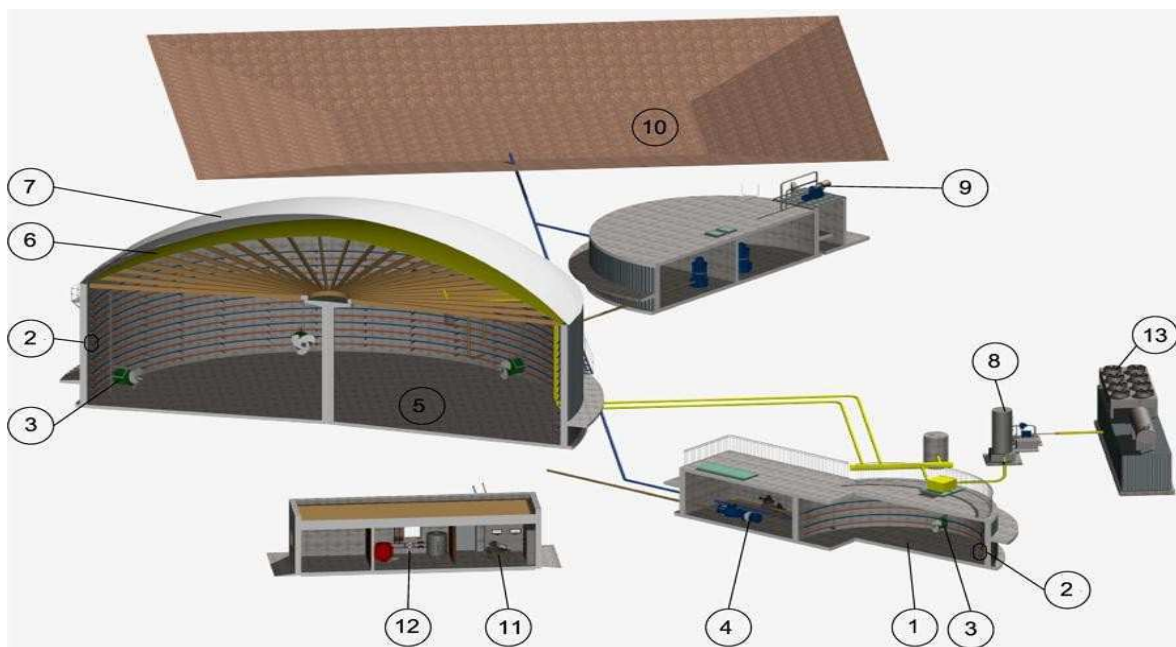


Рисунок 8- Базовые узлы промышленных биогазовых комплексов.

Двухстадийная технология представленная на рисунке 9 используется в основном для субстратов, которые способных к расщеплению за относительно короткий промежуток времени, в следствии чего имеют повышенную склонность к окислению. Преимуществом данной технологии является поддержание эффективности бактерий через создание оптимальных условий их жизнедеятельности, в первую очередь уровня рН. Это обеспечивает повышенное производство биогаза. Главное отличие двухстадийного

анаэробного сбраживания от одностадийного – в дополнительном метантенке гидролиза. [5]

Хотя раздел фаз наилучшим образом соответствует условиям жизнедеятельности бактерий и имеет свои преимущества, такие двухступенчатые технологии не имеют большого распространения. Дополнительные капитальные вложения на второй резервуар, затраты мощности на системы смешивания, отопления и насосы требует проведения глубокого технико-экономического анализа.

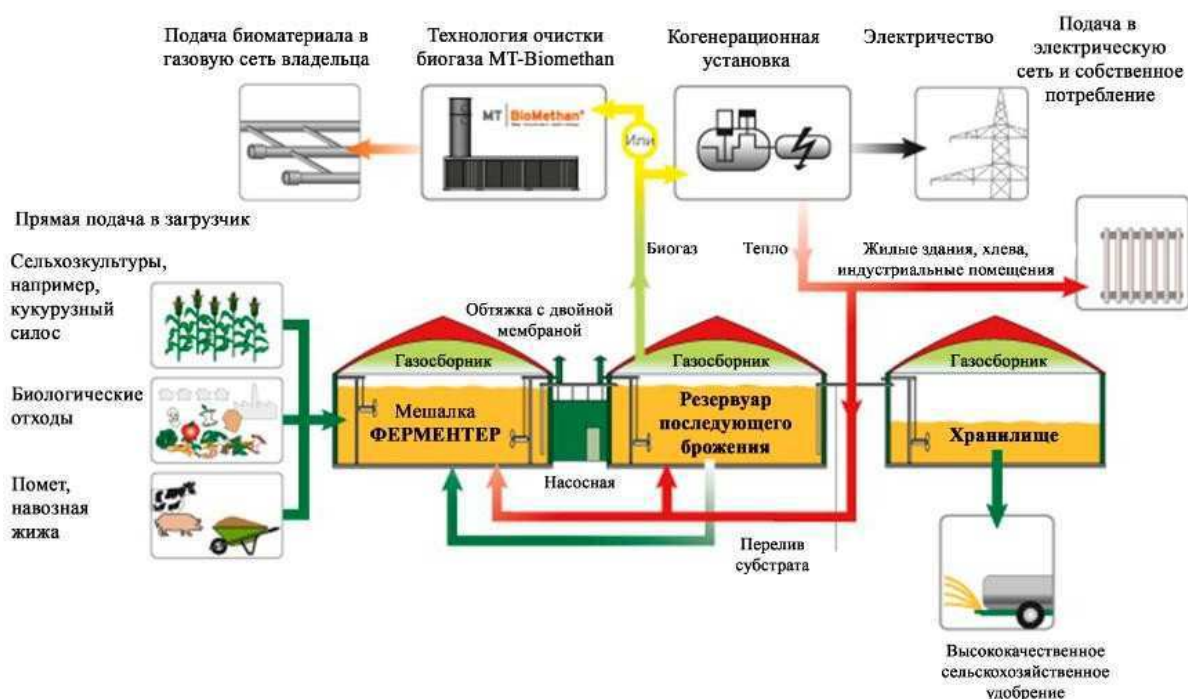


Рисунок 9 - Схематическое представление двухступенчатой биогазовой установки

Надежность биогазовой станции в основном определяю метантенк и когенератор.

Наибольшие риски возникновения дефектов в работе биогазвой станции связаны с низкими температурами окружающей среды в зимний период при

которых работает метантенк. В этом случае часть тепла расходуется на подогрев субстрата в ферментаторе для поддержания процесса брожения. В случае повреждения теплоизоляционного слоя или нарушения в системе теплоснабжения возможно расхолаживание ферментатора. При данном развитии событий бактерии чувствительные к перепаду температур погибнут, и может быть поврежден ряд узлов подготовки и перемешивания субстрата. Рекомендуется применение биогазовых станций, имеющих два и более ферментатора. При выходе из строя одного ферментатора, оставшиеся продолжают функционировать. Такое техническое решение позволяет поддерживать работоспособность биогазовой станции в ремонтный период.

Когенерационные установки напротив располагаются в технологическом помещении и защищены от влаги, пыли и перепадов температур. Как показывает практика использования биогазовых станций, наибольшее количество отказов свойственна именно генерирующему оборудованию, но частота их отказов существенно ниже, чем 1 раз в год. При необходимости поддержания постоянного уровня мощности возможен монтаж дополнительного генератора. Данное решение требует проведения ТЭО с детальным изучением рисков.

В процессе эксплуатации станции также могут возникать отказы системы компьютерного управления, автоматики и вспомогательного оборудования, но частота подобных отказов гораздо ниже перечисленного выше оборудования.

Основываясь на выше сказанном, заключаем что для обеспечения максимальной отказоустойчивости оборудования рекомендуется:

- использовать оборудование известного и проверенного производителя;
- обеспечить надежную и достаточную теплоизоляцию ферментатора.

Нельзя всё-таки упускать тот факт, что во время эксплуатации биогазовой станции при повреждении газгольдеров и метантенков есть вероятность загрязнения окружающей среды. Но, так как все используемые субстраты

являются биологического происхождения, ущерб природе, будет не значительным и может быть полностью устранен в короткие сроки.

Ниже рассмотрены различные технологии исполнения основного оборудования биогазовых станций.

Реактор

Метантенк является главным узлом биогазовой. Реакторы выполняются из железобетона, стали или пластмассы. В нем должны быть оборудованы системы загрузки, отопления, перемешивания, и выгрузки отработанного субстрата. Разработано большое количество конструкций метантенков различны которые отличаются режимами загрузки биомассы (проточные или периодические) и способами загрузки (непрерывные или периодические). Основные из них представлены на рисунке 10[17].

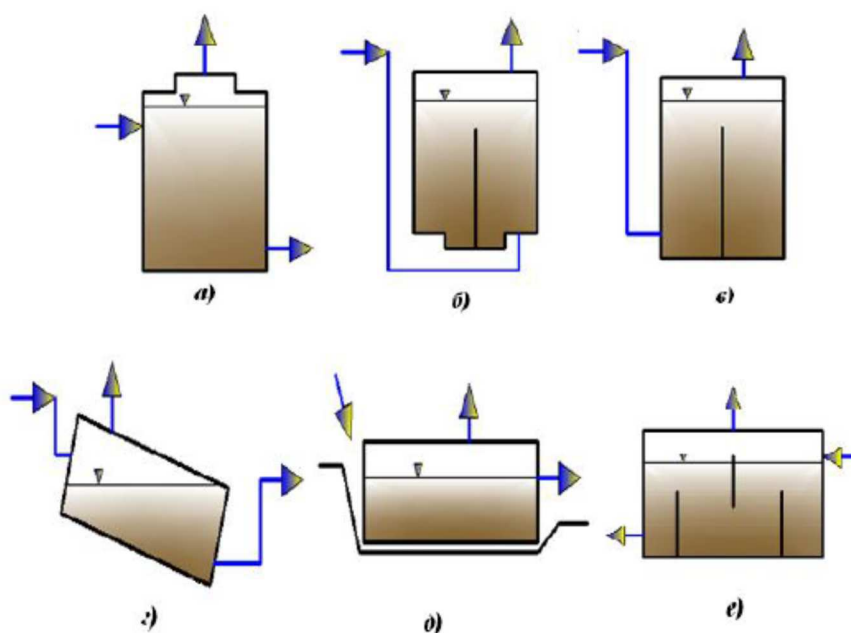


Рисунок 10 - Различные конструкции ферментаторов: а – цилиндрический ферментатор с верхней загрузкой; б – цилиндрический ферментатор с нижней загрузкой; в – цилиндрический двухсекционный ферментатор; г – наклонный ферментатор; д – траншейный ферментатор с плавающим покрытием; е – горизонтальный секционный ферментатор.

При проточной схеме субстрат загружается до 10 раз в сутки, при этом происходит одновременная выгрузка сброженной массы. Такой способ загрузки обеспечивает максимальный выход биогаза при соблюдении всех условий сбраживания. При периодической схеме, необходимо как минимум два ферментара которые загружают по очереди. Биогаз начинает образовываться по истечению 5-6 суток и при достижении максимального его выхода постепенно снижается. Затем сброженный субстрат выгружают, и метантенки снова загружают свежим субстратом.

По объему реактора биогазовые станции можно разделить на следующие типы [13, 18, 19]:

- а) малой мощности – объем реактора 5 – 20 м³;
- б) средней мощности - объем реактора 20 – 1000 м³;
- в) большой мощности 1000 – 10000 м³;

Ферментатор можно расположить либо в вертикальном положении, либо в горизонтальном. Горизонтальная установка имеет большое преимущество в том, что на них можно применять механические мешалки. Они обеспечивают перемешивание, направленное перпендикулярно по отношению к течению, при этом не осуществляя перемешивание по направлению течения, что обеспечивает более высокое качество и степень разложения удаляемого субстрата. Большая площадь территории занимаема реактором, ограничение в возможном объеме в 1000м³ и недостаточная „прививка” свежего субстрата бактериями перебродившего шлама, являются недостатком горизонтального расположения при механическом перемешивании. Недостаточная „прививка” для навоза скота не играет существенной роли, поскольку в данном навозе изначально содержится достаточно большое количество метанообразующих бактерий. Навоз свиней, растения или органические отходы, при использовании данной схемы должны быть «привиты» перебродившим субстратом.

„Прививка” производится в резервуаре предварительного хранения субстрата или непосредственно перед подачей субстрата в метантенк.

Горизонтальные ферментаторы изготавливаются преимущественно в виде цилиндрических железных баков. По сравнению с горизонтальным исполнением они имеют преимущество в том, что они более компактны, имеют более выгодное соотношение площади поверхности к объему, что уменьшает затраты материалов и теплопотери, не имеют ограничения в возможных объемах. Требования к системе перемешивания при данной конструкции высоки, поскольку с возрастанием высоты строения растет склонность бродильного субстрата к расслоению, и она должна обеспечивать сильное течение с вертикальным перемешиванием, необходимое для гомогенизации субстрата в объеме реактора.

По ГОСТР 53790-2010 «Нетрадиционные технологии. Энергетика биоотходов. Общие технические требования к биогазовым установкам» конструкция биогазовой установки должна обеспечивать удобство обслуживания, монтажа, демонтажа, а также возможность свободного доступа к элементам настройки, и управления биогазовой установки.

Загрузочное и выгрузочное отверстия должны располагаться, на противоположных концах реактора для равномерного распределения субстрата по всему объему реактора и эффективного удаления переработанного шлама. Для обеспечения герметичности метантенка в процессе загрузки и выгрузки субстрата входной и выходной патрубки располагают под наклоном вверх к вертикальной оси. Благодаря этому создается гидравлический затвор, препятствующий проникновению воздуха в реактор.

Для расчета проектируемой биогазовой установки принимаем, конструкцию метантенка цилиндрическую, вертикальную выполненную из листового железа толщиной 5мм, с непрерывной схемой загрузки субстрата, при этом полностью удовлетворяющую требованиям ГОСТа.

Изоляцию метантенка принимаем выполненную из ParocUNS 37 и толщиной 100мм.

Мешалки

Процесс анаэробного сбраживания является сложным технологическим процессом. Для нормального протекания сбраживания необходимо поддержание оптимальных условий в аппарате: достаточная концентрация питательных веществ, требуемая температура во всем объеме метантенка, отсутствие или низкая концентрация токсичных веществ, отсутствие кислорода, допустимый диапазон значений pH. [20]. Достижение данных условий напрямую связано с организацией качественного перемешивания в реакторе.

Система перемешивания субстрата в реакторе повышает эффективность работы биогазовых станций и должна обеспечивать:

- высвобождение образующегося биогаза во всем объеме метантенка;
- перемешивание свежего субстрата и сбраживаемого вещества для поддержания популяции бактерий;
- предотвращение образования корки и осадка;
- предотвращение появления зон разной температуры внутри метантенка;
- равномерное распределение по объему субстрата популяции бактерий;
- предотвращение образования пустот в метантенке.

Можно сделать вывод что, перемешивание является главным фактором эффективной работы биогазовой установки. При выборе способа перемешивания необходимо учитывать, что процесс анаэробного сбраживания представляет собой взаимодействие различных штаммов бактерий в сообществе. Когда сообщество разбивается, процесс сбраживания будет не эффективным до того момента, по образуется новое сообщество бактерий, следовательно, чрезмерно частое, продолжительное и интенсивное

перемешивание негативно сказывается на процессе. Оптимальным является медленное перемешивание сырья каждые 4 – 6 часов. [21]

Основными способами перемешивания субстрата на сегодняшний день являются:

- 1) механические мешалки - механическое перемешивание;
- 2) пневматическое перемешивание - биогаз, пропускается через объем субстрата, что приводит к перемешиванию;
- 3) гидравлическое перемешивание- перекачивание сырья по объему метантека с целью перемешивания субстрата.

В таблице 5 представлены экспериментальные данные о влиянии способа перемешивания на качество и выход биогаза [24].

Таблица 5 – Выход биогаза при различных способах перемешивания [24]

Способ перемешивания	Выход биогаза, л/л/сут	Выход метана, л/г СВ
Отсутствие перемешивания	0,92	0,19
Механическое перемешивание	1,14	0,23
Пневматическое перемешивание	1,07	0,21
Гидравлическое перемешивание	1,2	0,24

При горизонтальном исполнении реактора, устанавливаются механические весловые мешалки. Они охватывают весь объем ферментатора, не создают лишних течений и обеспечивают перемешивание, направленное перпендикулярно по отношению к течению, при этом не осуществляя перемешивание по направлению течения, что обеспечивает более высокое качество и степень разложения удаляемого субстрата. Субстрат протекает по реактору в виде пробки, без смешения свежего материала с перебродившим.

Вращение вала с расположенными на нем лопатками в основном происходит посредством внешнего приводного двигателя, так же представлены механические мешалки с погружными двигателями.

К недостаткам механических мешалок можно отнести: сравнительно высокую энергоемкость; сложность ремонта; снижение эффективности работы и недостаточное разрушение плавающей корки при определенных условиях; наличие движущихся частей перемешивающего устройства снижает надежность последнего в работе. Следует отметить тот факт, что погружные моторы можно использовать при температурном режиме до 40°C, поскольку при повышении температуры не будет обеспечиваться достаточная степень охлаждения.

Пневматическое перемешивание осуществляется путем пропускания биогаза через толщу субстрат. Пузырьки газа, которые будут подниматься будут создавать лишь вертикальное движение в субстрате. Такой тип мешалок пригоден только в случае если сбразиваемая масса сильно разжижена и не образует корки на свободной поверхности. Так же следует учитывать тот факт, что в данном случае будет высока вероятность ингибирования процесса сбразивания, а также изменения рН среды, содержащимся в биогазе CO₂.

Простейшим вариантом исполнения гидравлического перемешивания является монтаж внутри реактора перегородок, образующих сообщающиеся между собой камеры [22]. Процесс перемешивания субстрата в реакторе может осуществляться без энергозатрат на перемешивание за счет разницы в давлениях в емкости и циркуляционном трубопроводе, создаваемой выделяющимся при брожении биогазом [23].

Циркуляционное перемешивание с помощью насосов применяют, как правило, при смешении жидкостей в аппаратах большого объема. Простейшая схема циркуляционного перемешивания показана на рисунке 10.

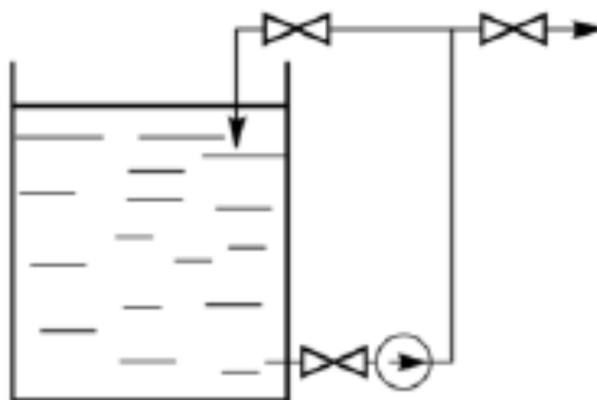


Рисунок 10 – Схема циркуляционного перемешивания

Гидравлический способ перемешивания может осуществляться путем циркуляции субстрата при помощи центробежного насоса, который откачивает субстрат из одной части объема емкости или аппарата и подает ее под давлением в другую часть. Движение органического субстрата может осуществляться по внутренним или внешним циркуляционным трубам, либо с помощью ротационных, радиальных и тангенциальных струйных аппаратов, жестко вмонтированными в стены хранилища [25].

К общим технологическим преимуществам гидравлического перемешивания относятся: обеспечение более полного выхода биогаза, низкое энергопотребление; простота технического обслуживания; наличие резервных циркуляционных труб; возможность контроля пенообразования. Но к сожалению использование гидравлических мешалок ограничивается лишь легко текучими субстратами, не склонными к образованию плавающей корки и осадочных наслоений.

1.3 Перспективы развития биогазовых установок в Красноярском крае

Красноярский край - субъект Российской Федерации расположенный в Сибирском федеральном округе. Он является вторым по площади субъектом России. Для центральных и южных районов края, где проживает основная масса населения, характерен континентальный климат с продолжительной холодной зимой и коротким летом. В зимний период температура может опускаться до -40°C на период более месяца. В летний период температура подымается выше отметки $+30^{\circ}\text{C}$.

Животноводство Красноярского края характеризует стабильный ростом поголовья свиней, что наглядно видно из таблицы 6. Поголовье свиней в Красноярском крае на конец 2015 года во всех категориях сельского хозяйства насчитывало 593,2 тыс. голов или 2,8% от общероссийского поголовья свиней. За период с 2010 по 2015 год поголовье свиней увеличилось на 39,9%, с 2005 на 49,6%, а по отношению к 2001 году на 24,3%. [7]

В таблице 7 приведен список наиболее крупных животноводческих предприятий Красноярского края с указанием муниципальных образований.

Таблица 6 – Поголовье скота в Красноярском крае в 2010-2015 гг., тыс голов. [7]

Вид скота	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Свиньи	424,1	447,7	474,1	437,3	446,3	593,2
Крупный рогатый скот	434,5	439,3	440,1	427,6	425	425,1
<i>в том числе коровы</i>	173,3	174,6	172,7	168,5	168,6	169,7
Овцы и козы	54,1	52,9	53,1	51,9	53,3	57,1

В Красноярском крае актуальна проблема утилизации отходов животноводства, особенно отходов крупных свиноводческих комплексов.

Таблица 7 - поголовье сельскохозяйственных животных по состоянию на 01.01.2013 [2]

№ п/п	Наименование района, хозяйства	Поголовье					
		КРС	в т. ч. коровы	свиньи	лошади	овцы	птица
Емельяновский район							
1	ООО "Емельяновское"	2554	1100		17		
2	ЗАО "Частоостровское"	1128	450		21		
3	СХП ООО "Мустанг"	52	20		309	1430	
4	ОАО П/З "Шуваевский"			28437			
5	ООО "Минжульский"			1500			
6	ООО "Птицефабрика "Заря"						848500
Березовский район							
1	ООО с/з "Енисей"	1280	573				
2	АПК "Сибирская губерния"						2589000
3	ОАО п/ф "Бархатовская"						1129000
Назаровский район							
1	СЗАО "Ададымское"	4280	1480	15084	51		
2	ЗАО "Владимирское"	2384	985		39		765900
3	ЗАО "Гляденское"	4213	1481	4206	228		
4	СЗАО "Краснополянское"	4626	1792		97		
5	ЗАО "Кругоярское"	3569	1000		44		
6	ЗАО "Назаровское"	17932	4338	77535	1446		
7	ЗАО "Подсосенское"	3989	1548		41		
8	ЗАО "Сахаптинское"	2745	1110		137		
Ужурский район							
1	ЗАО "Солгонское"	6833	2415	3706	169		
2	СПК "Ораковский"	2542	900		31	104	
3	СПК "Андровский"	6889	2149	9605	304		
4	ЗАО "Искра"	7732	2182		205	1575	

Так на свинокомплексе, агрохолдинга «Сангилен+» в Сухобузимском районе, с целью обеспечения замкнутости цикла производства, возведен биогазогенератор. Путем использования биогаза для нужд отопления комплекса удалось оптимизировать затраты на тепло на 12-17%. Следует отметить, данная установка может работать на различных видах сырья: навоз, отходы боен, отходы зернопереработки. В установке применяется термофильный процесс анаэробного сбраживания, который позволяет полностью перерабатывать поступающие отходы за 22-28 суток.

Развитие биогазовых технологий на территории Красноярского края открывает следующие возможности:

- применение в качестве источника энергии для населения;
- применение в качестве резервных источников электро- и теплоснабжения;
- замещение угля, нефти, газа, особенно в удаленных районах края где наблюдается их дефицит;
- создание новых рабочих мест и увеличение экономического потенциала регионов;
- сокращения вредных выбросов в окружающую среду;

1.4 Вывод по главе

В настоящее время необходимо осуществить организацию производства в сельском хозяйстве таким образом, чтобы, когда оно работало по замкнутой системе. Это необходимо и возможно потому, что большинство отходов фермерских хозяйств имеют органическое происхождение и могут служить исходным материалом для получения биогаза и удобрений. При этом решается целый ряд проблем фермерских хозяйств, и открывается возможность для получения дополнительной прибыли и снижению издержек.

На территории Красноярского края возможно строительство биогазовых станций только на территории центральных и южных районов при этом оно перспективно в районе крупных животноводческих предприятий. Северные муниципальные районы Красноярского края не перспективны в данном направлении, так как особенности северного климата приведут к повышенным тепловотерям и дополнительным сложностям организации процесса.

2. Методическое обеспечение

2.1 Методика расчета биогазовых установок

Перед расчетом биогазовых установок должен предшествовать выбор схемы, конструктивного исполнения и технологий. Под этим понимается выбор следующих параметров:

- выбор режима анаэробного сбраживания;
- режим подачи субстрата в метантенк;
- система теплоснабжения метантенка и его изоляция;
- система сбора биогаза;
- технология выгрузки биогаза, система очистки и другое вспомогательное оборудование.;
- исполнение метантенка.

Для определения производительности биогазовой установки:

1) Необходимо определить объем единовременной загрузки метантенка. Если принят непрерывный способ загрузки, и объем метантенка рассчитан на все поголовье, то суточный объем загрузки определяется как масса суточных экскрементов, кг:

$$m_{\text{сут.эк.}} = N_{\text{ж}} \cdot m_{\text{уд}} \quad (1)$$

где $N_{\text{ж}}$ – количество животных;

$m_{\text{уд}}$ – удельный выход экскрементов в сутки.

Если навоз загружается с подстилкой, то необходимо применять поправочный коэффициент K_n , учитывающий органическую массу подстилки.

2) Определяется доля сухого вещества (СВ) в загружаемом материале, кг:

$$m_{\text{СВ}} = m_{\text{сут.эк.}} \cdot \left(1 - \frac{W_{\text{э}} \%}{100} \right) \quad (2)$$

где $W_{\text{э}}$ – влажность массы экскрементов, %.

3) Определяется доля сухого органического вещества (СОВ) в навозе:

$$m_{\text{СОВ}} = m_{\text{СВ}} \cdot \frac{P_{\text{СОВ}} \%}{100} \quad (3)$$

где $P_{\text{СОВ}} \%$ – доля СОВ в сухом веществе навоза.

4) Определяется выход биогаза при полном разложении СОВ навоза, м³:

$$V_{\text{пол}} = n_{\text{эк}} \cdot m_{\text{СОВ}} \quad (4)$$

где $n_{\text{эк}}$ – выход биогаза из 1 кг СОВ различного исходного материала, м³/кг.

5) Определяется объем полученного биогаза при выбранной продолжительности метанового брожения, м³:

$$V_{\text{б}} = V_{\text{пол}} \cdot \frac{n_t}{100} \quad (5)$$

где n_t – доля выхода биогаза от исходного материала при данной продолжительности метанового процесса, %.

б) Объем метантенка определяется следующим образом:

Объемом полной загрузки метантенка:

$$V_{\text{пол.заг}} = m_{\text{сут.эк.}} \cdot t_{\text{сут.}} \cdot \frac{1}{\rho_{\text{H}}} \quad (6)$$

где $m_{\text{сут.эк.}}$ – суточная загрузка метантенка, кг/сут;

$t_{\text{сут.}}$ – продолжительность процесса брожения, сут.;

ρ_{H} – удельная плотность сброживаемой массы, кг/м³.

После этого находим объем метантенка исходя из условия, чтобы соотношение $V_{\text{пол.заг}}/V_{\text{м}}$ составляло 0,6...0,8.

Для уменьшения металлоемкости и снижения затрат на монтаж изоляции необходимо определить габариты метантенка при которых площадь поверхности будет минимальной.

Объем цилиндра определяется как:

$$V_{\text{ц}} = \pi \cdot r^2 \cdot h \quad (7)$$

Суммарная площадь поверхности цилиндра определяется:

$$\sum S = 2 \cdot \pi \cdot r^2 + 2 \cdot \pi \cdot r \cdot h \quad (8)$$

Для дальнейшего решения задачи необходимо из формулы объема цилиндра (16) выразить высоту и подставить ее значение в формулу площади и используя свойство производной функции, которая говорит о том что взяв производную от какой либо функции и приравняв её к нулю, мы сможем найти все максимумы и минимумы этой функции на указанном отрезке.

7) Если применяется стандартный метантенк, то останавливаются на ближайшем большем объеме его; если метантенк будет изготавливаться индивидуально, то под объем V_m рассчитываются геометрические размеры. Рекомендуется выбирать метантенк цилиндрической формы. Для удобства сбора шлама и биогаза верхнюю и нижнюю части метантенка выполняют в виде усеченного конуса с горловиной в верхней части. Определяется способ перемешивания сбраживаемой массы (механическое перемешивание, барботаж).

8) Проводится тепловой расчет метантенка. Определяется количество теплоты, необходимое для подогрева загружаемой массы до температуры процесса брожения в сутки:

$$Q_{\text{под}} = \frac{m_{\text{сут.эк}} \cdot C_c (T_{\text{ПР}} - T_{\text{ЗАГ}})}{\eta} \quad (9)$$

где C_c – средняя теплоемкость субстрата, МДж/(кг·°К);

$T_{\text{ПР}}$ – температура процесса брожения, °К;

$T_{\text{ЗАГ}}$ – температура загружаемого субстрата, °К;

η – коэффициент полезного действия процесса.

9) Определяется количество теплоты, теряемой субстратом в результате теплоотдачи через стенку реактора в окружающую среду за час:

$$Q_{\text{ПОТ}} = k \cdot P(T_{\text{ПР}} - T_{\text{СРЕДЫ}}) \quad (10)$$

где $T_{\text{СРЕДЫ}}$ – температура окружающего воздуха, °К;

P – площадь поверхности теплообмена метантенка, м²;

k – коэффициент теплоотдачи, Вт/(м²·°К).

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_2}} \quad (11)$$

где $\frac{1}{\alpha_1}$ и $\frac{1}{\alpha_2}$ – термическое сопротивление теплоотдачи от субстрата к внутренней поверхности стенки метантенка и от внешней поверхности теплоизоляции метантенка к окружающей среде;

$\sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i}$ – суммарное сопротивление теплопроводности материала стенок метантенка $\frac{\delta_{\text{ст}}}{\lambda_{\text{ст}}}$ и теплоизоляции $\frac{\delta_{\text{из}}}{\lambda_{\text{из}}}$. Если теплоизоляция многослойна, в расчетах учитывается каждый слой.

10) Определяются общие затраты энергии на поддержание процесса, МДж/сут:

$$Q_{\text{общ}} = Q_{\text{под}} + Q_{\text{пот}} \cdot 24 + Q_{\text{мех}} t_{\text{раб}} \quad (12)$$

где $t_{\text{раб}}$ – время работы механической мешалки в сутки, ч.

11) Определяются потенциальные запасы энергии биогаза, выработанного за сутки, МДж/сут:

$$Q_{\text{выр}} = V_{\text{б}} - C_{\text{б}} \quad (13)$$

где $C_{\text{б}}$ – теплотворная способность биогаза, МДж/м³.

12) Определяется энергетический эффект установки, МДж/сут:

$$\mathcal{E}_{\text{б}} = Q_{\text{выр}} + Q_{\text{общ}} \quad (14)$$

13) Определяют коэффициент товарности биогазовой установки:

$$k_m = \frac{Q_{\text{общ}} - Q_{\text{выр}}}{Q_{\text{общ}}} \quad (15)$$

14) На основе оценки энергетического эффекта биогазовой установки появляется возможно определить потенциал энергии биогаза, кВт·ч/сут, по формуле:

$$W_{\text{БГУ}} = \frac{Q_{\text{ВЫР}} \cdot 277,78}{1000} \quad (16)$$

Данный показатель отражает теоретический электрический потенциал энергии биогаза без учета КПД генерирующей установки (когенератора).

15) Потенциал тепловой энергии биогаза, ГКалл/сут:

$$Q_{\text{БГУ}} = \frac{W_{\text{БГУ}} \cdot 0,86}{1000} \quad (17)$$

16) Теоретический потенциал (средняя мощность), которую может поддерживать биогазовая установка на протяжении длительного времени исходя из биогазового потенциала животноводческого предприятия, кВт:

$$P_{\text{СР}} = \frac{W_{\text{БГУ}}}{24} \quad (18)$$

Полученный после расчетов показатели отражают теоретический валовый потенциал биогаза с привязкой к конкретному животноводческому предприятию.

3. Расчет и выбор оборудования проектируемой биогазовой станции

3.1 Исходные данные

Для решения поставленной задачи было рассмотрено возможное строительство биогазовой станции в п.г.т. Емельяновский Красноярского края.

В качестве примера рассмотрена технологическая схема производства биогаза на свиноводческом комплексе «Минжульский» с количеством свиней на откорме 1500 голов (с массой до 70 кг). Система удаления навоза и здания содержания свиней в приемный резервуар - гидросмыв.

Учитывая опыт внедрения биогазовых технологий в Красноярском крае, мировой опыт, тот факт, что в Красноярском крае тариф на электроэнергию является одним из самых низких в России, а современные технологии по автоматизации процесса сбраживания позволяют добиться поддержания постоянной температуры в метантенке, без резких колебаний, принято решение о расчете в данной магистерской работе биогазовой установки, работающей в термофильном режиме. Применение термофильной установки позволит значительно уменьшить время процесса разложения, что позволит существенно уменьшить объем метантенка.

Принятый химический состав свиного навоза, поступающего на биогазовую станцию указан в таблице 8.

Таблица 8 – Характеристики исходного вещества

Удобрение	Азот N, %	Фосфор P ₂ O ₅ , %	Калий K ₂ O, %	Кальций CaO, %	Магний MgO, %	Сера SO ₂ , %	Вода H ₂ O, %	Органическое вещество, %
Бесподстилочный навоз	0,57	0,27	0,44	0,28	0,08	-	85	12

На первом этапе проектирования определяемся с принципиальной схемой биогазовой установки. Она представлена на рисунке 11.

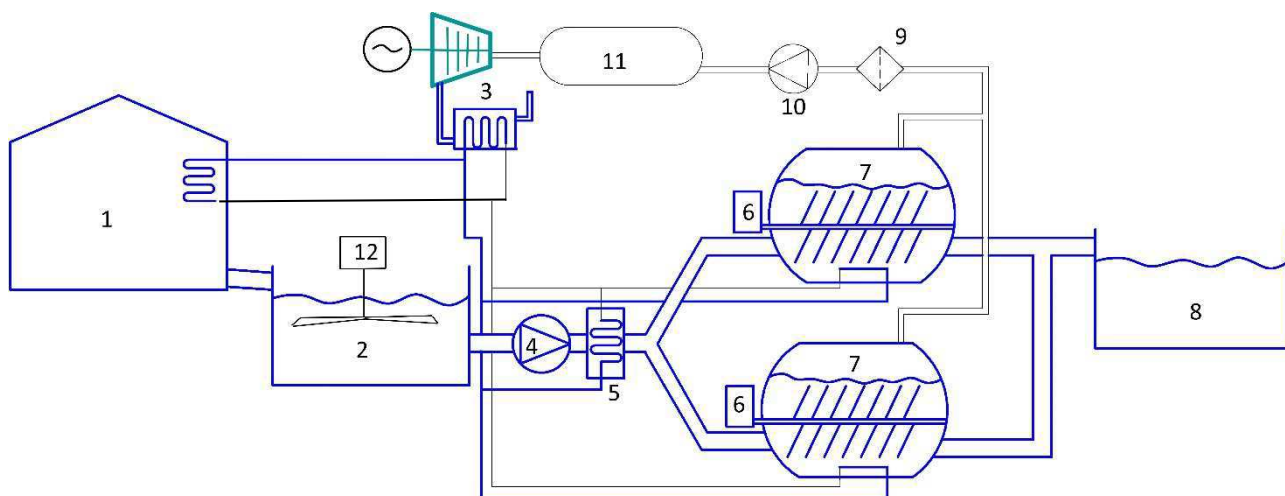


Рисунок 11 – Принципиальная схема проектируемой биогазовой установки.

1 – свиначник, 2 – приемный резервуар, 3 – когенератор, 4 – насос перекачки субстрата, 5 – теплообменник предварительного подогрева субстрата, 6 – привод перемешивающего устройства, 7 – метантенк, 8 – лагуна, 9 – газовый фильтра, 10 – компрессор, 11 – газгольдер.

В качестве исходных данных были задаем следующие параметрами:

- объем метантенка цилиндрической формы 60м^3 (длина 10,3 метра, диаметр 2,8 метра)
- удельный выход экскрементов в сутки - $m_y=3,2\text{кг/сут}[1]$;
- влажность массы экскрементов- $W_s= 85\%$ [8];
- доля СОВ в сухом веществе навоза - $P_{\text{сов}}\%= 80\%$ [1];
- выход биогаза из 1 кг СОВ различного исходного материала - $n_{\text{эк}}= 0,42\text{м}^3/\text{кг}[1]$;
- доля выхода биогаза от исходного материала при данной продолжительности метанового процесса - $n_i=60\%$ [1];

- продолжительность процесса брожения - $t_{\text{сут}}=20$ сут.[1];
- удельная плотность сбраживаемой массы - $\rho_{\text{H}}=1200$ кг/м³[11];
- средняя теплоемкость субстрата - $C_c=0,0025$ МДж/(кг·°К)[12];
- температура процесса брожения - $T_{\text{ПР}}= 50^{\circ}\text{C}$ [1];
- температура загружаемого субстрата - $T_{\text{ЗАГ}}= 5^{\circ}\text{C}$ [9];
- термическое сопротивление теплоотдачи от субстрата к внутренней поверхности стенки метантенка - $\alpha_1= 830$ Вт/м²°К[9];
- термическое сопротивление теплоотдачи от внешней поверхности теплоизоляции метантенка к окружающей среде - $\alpha_2=15$ Вт/м²°К;
- толщина стенки - $\delta_{\text{ст}}=0,008$ м[1];
- коэффициент теплопроводности стали - $\lambda_{\text{ст}}=47$ Вт/м°К;
- теплотворная способность биогаза- $C_6=21,6$ МДж/м³[1].

3.2 Расчет биогазовой установки

По описанной выше методике производим расчет, позволяющий определить теоретический валовый потенциал биогаза проектируемой биогазовой станции.

Определяем объем единовременной загрузки метантенка по формуле (1):

$$m_{\text{сут.эк.}} = N_{\text{жс}} \cdot m_{\text{уд}} = 1500 \cdot 3,2 = 4800 \text{ кг / сут}$$

Определяем долю сухого вещества в загружаемом материале по формуле (2):

$$m_{св} = m_{сут.эк} \cdot \left(1 - \frac{W_{э} \%}{100}\right) = 4800 \cdot \left(1 - \frac{85}{100}\right) = 720 \text{ кг} / \text{сут}$$

Определяем долю сухого органического вещества в навозе по формуле (3):

$$m_{COB} = m_{св} \cdot \frac{P_{COB} \%}{100} = 720 \cdot \frac{80}{100} = 576 \text{ кг} / \text{сут}$$

Определяем выход биогаза при полном разложении COB по формуле (4):

$$V_{пол} = n_{ЭК} \cdot m_{COB} = 0,42 \cdot 576 = 241,9 \text{ м}^3 / \text{сут}$$

Определяем объем полученного биогаза при выбранной продолжительности метанового брожения по формуле (5):

$$V_{б} = V_{пол} \cdot \frac{n_t}{100} = 241,9 \cdot \frac{60}{100} = 145,1 \text{ м}^3 / \text{сут}$$

Определяем объем полной загрузки метантенка по формуле (6):

$$V_{пол.заг.} = m_{сут.эк} \cdot t_{сут} \cdot \frac{1}{\rho_H} = 4800 \cdot 20 \cdot \frac{1}{1200} = 80 \text{ м}^3$$

После этого находим объем метантенка исходя из условия, чтобы соотношение $V_{\text{пол.зар}}/V_{\text{м}}$ составляло 0,6...0,8.

Так как ранее объем реактора был принят 60м^3 , возникает необходимость в разрабатываемой схеме предусмотреть установку двух реакторов, работающих параллельно. Это в свою очередь позволит добиться резервирования оборудования, что благоприятно скажется на надежности тепло и электроснабжения.

В таблице 9 представлены результаты произведенных выше расчетов.

Таблица 9 – Сводная таблица результатов расчета основных характеристик биогазовой установки.

Объем единовременной загрузки метантенка, кг/сут	4800
Доля СВ в загружаемом материале, кг/сут	720
Доля СОВ, кг/сут	576
Выход биогаза при полном разложении СОВ, м ³ /сут	241,9
Объем полученного биогаза при выбранной продолжительности метанового брожения, м ³ /сут	145,2
Объемом полной загрузки метантенка, м ³	80

Для дальнейших расчетов необходимо определиться с материалом и толщиной тепловой изоляции. Тепловая изоляция - необходимое условие для эффективной работы биогазовой установки. Применяемый теплоизоляционный материал должен иметь хорошие изолирующие свойства, быть доступным и дешевым. [10]

Оптимальная толщина изоляции в первую очередь зависит от формы и размеров реактора, разницы в температуре между содержанием ферментатора и окружающей среды, стоимости изоляционного материала и экономического эффекта от ее применения.

В таблице 10 представлены основные изоляционные материалы с их свойствами.

Таблица 10 – Характеристики основных изоляционных материалов [1]

Материал	Плотность кг/м ³	Коэффициент теплопроводности Вт/м ² К
Минеральная вата	30-50	0,032-0,05
Перлит	90	0,055
Пеностекло	13-25	0,045
Расширенная полистирольная пена	20-45	0,04
Экструдированная полистирольная пена	30-80	0,035
Полиуретановая пена	-	0,03

Следует отметить, что группа горючести теплоизоляции ферметатора должна относиться минимум к слабогорючей (Г1), а в радиусе 1 м вокруг патрубка отбора биогаза она должна быть не горючей. [1] Для защиты изоляции от осадков и механического воздействия необходимо предусматривать покрывной слой, чаще всего выполненный из оцинкованной стали.

Минеральная вата является наиболее часто используемым изоляционным материалом. Это обусловлено ее низкой стоимостью и хорошими значениями теплопроводности, не горючестью, а также устойчивостью к воздействию микроорганизмов.

В качестве изоляционного материала применяем тепловую изоляцию Isover типа «Профи», поставляемую матами с покрывным слоем из оцинкованной стали 0.55мм. Основные характеристики изоляционного материала приведены в таблице 11.

Рассмотрим, какое влияние оказывает увеличение толщины теплоизоляции на первоначальные капитальные вложения, потери тепловой энергии через стенки реактора, эксплуатационные затраты на отопление биогазовой установки и сроки окупаемости затрат на тепловую изоляцию.

Вариант метантенка без изоляции примем в качестве базового варианта для определения эффекта от применения изоляции. Другими вариантами расчета станет толщина изоляционного слоя 50, 100, 150, 200мм.

Таблица 11 – Характеристики изоляционного материала Isover «Профи» [36]

Параметр материала	Значение
Толщина мата, мм	50/100/150
Ширина мата, мм	1220
Длина мата, мм	5000/5000/4000
Количество материала в упаковке $S_{\text{мат}}, \text{м}^2$	12,2/6,1/4,88
Объем материала в упаковке $V_{\text{мат}}, \text{м}^3$	0,61/0,61/0,73
Водопоглощение по ГОСТ Р ЕН 1609, $\text{кг}/\text{м}^2$, не более	1
Коэффициент теплопроводности, $\text{Вт}/(\text{м}^\circ\text{К})$	0,037
Цена $C_{\text{Изол}}, \text{руб}/\text{м}^3$	1420
Класс горючести	НГ

Зная габариты заданного метантенка, определяем площадь поверхности реактора, м^2 :

$$S = 2 \cdot \pi \cdot r^2 + 2 \cdot \pi \cdot r \cdot l = 2 \cdot \pi \cdot 1.4^2 + 2 \cdot \pi \cdot 1.4 \cdot 10.3 = 103 \quad (19)$$

Учитывая тот факт что согласно расчетам является необходимым установка двух ($n=2$)метантенков работающих параллельно, то их суммарная площадь поверхности равна $S_M = 206\text{м}^2$.

Для определения в дальнейшем значения теплоотдачи и необходимых объемов покрывного слоя рассчитываем площадь поверхности реактора с учетом изоляции:

$$S_{\text{изол}} = (2 \cdot \pi \cdot (r + \delta_{\text{из}})^2 + 2 \cdot \pi \cdot (r + \delta_{\text{из}}) \cdot l) \cdot n \quad (20)$$

Капитальные затраты на изоляционные работы определяются по формуле, руб:

$$K = \left(\frac{S_M}{S_{\text{мат}}} \cdot V_{\text{мат}} \cdot C_{\text{Изол}} + S_{\text{Изол}} \cdot C_{\text{пок}} \right) \cdot 1,3 \quad (21)$$

Где $C_{\text{пок}}$ - стоимость покрывного материала, согласно [35] принимаем равную $261\text{руб}/\text{м}^2$

В связи с тем, что проектируемая биогазовая станция будет работать круглый год, расчет для определения экономической эффективности применения того или иного варианта исполнения изоляции будет производиться по среднее годовой температуре $t_{\text{среды}}$ в Емельяновском районе Красноярского края. Согласно [31] она составляет $2,4^\circ\text{C}$. В расчете тепловых потерь в связи с незначительной толщиной и высокой теплопроводностью покрывной слой не учитывается. Граничные условия решаемой задачи наглядно представлены на рисунке 12. По формулам (10) и (11) определяем количество теплоты теряемой

субстратом в результате теплоотдачи через стенку реактора в окружающую среду для каждого варианта.

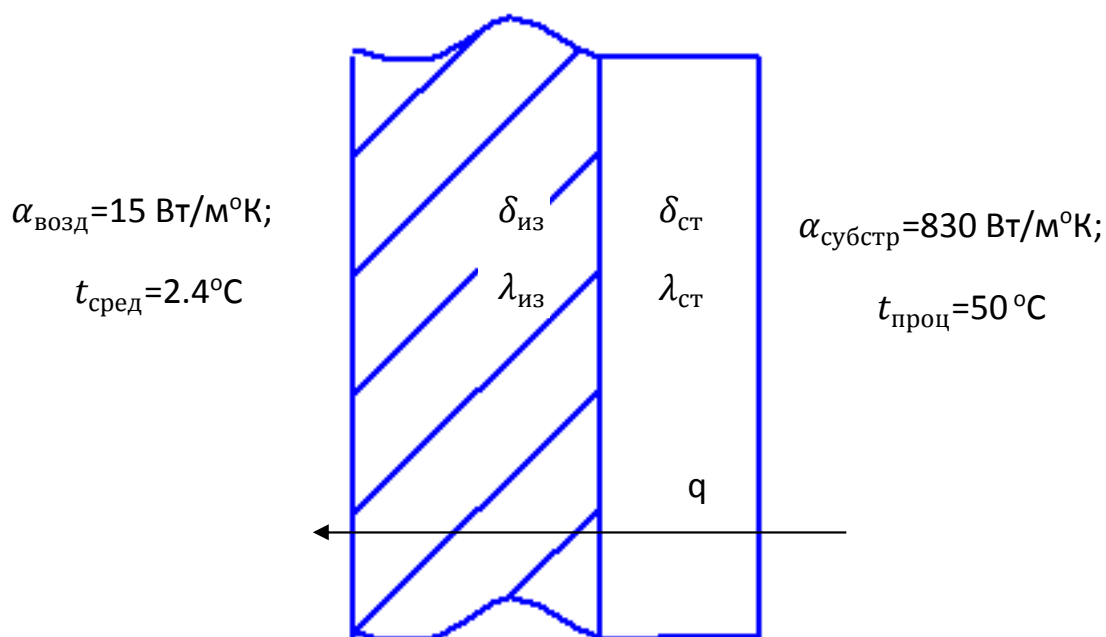


Рисунок 12 – Граничные условия решаемой задачи

Для определения возможных затрат на восполнение потерь теплоты производим расчет по формуле, руб/год:

$$\mathcal{E} = Q \cdot T_{ТЭ} \cdot 31536000 \quad (22)$$

Где $T_{ТЭ}$ – тариф на тепловую энергию, согласно [33] принимаем равным 3765,14руб;

Прогнозируемый срок окупаемости инвестиций, направленных на монтаж теплоизоляционного покрытия, рассчитываем по формуле предложенной в работах [37, 38, 39]:

$$T_D = \frac{\ln\left[1 + \frac{\Delta K \cdot (r-i)}{\Delta \mathcal{E} \cdot (1+i)}\right]}{\ln\left[1 + \frac{(r-i)}{(1+i)}\right]} \quad (23)$$

Где ΔK – разница капитальных затрат на возведение утепленного и базового вариантов метантенка;

$\Delta \mathcal{E}$ – разность потерь тепловой энергии до и после утепления базового варианта, руб/год

r – средний ежегодный рост стоимости тарифов на тепловую энергию, согласно [47] принимаем 4,5%;

i – процентная ставка дисконтирования, согласно [34] принимаем 10%;

Результаты расчетов для каждого варианта согласно выше описанной методике представлены в таблице 12.

Таблица 12 – Результаты расчетов для обоснования толщины тепловой изоляции

	Толщина изоляции, мм				
	0	50	100	150	200
Площадь поверхности с изоляцией, м ²	205	222	239	256	273
Капитальные затраты, тыс/руб	0	94,4	119,1	143,5	173
Коэффициент теплоотдачи, Вт/(м ² оК)	14,69	0,7	0,36	0,24	0,18
Количество теплоты теряемое через стенку метантенка теплоотдачей, Гкал/год	1083,9	56,1	30,9	22,3	17,9
Затраты на восполнение потерянной теплоты, тыс. руб/год	4081,1	211,4	116,5	83,9	67,5
Разница капитальных затрат на возведение утепленного и базового вариантов метантенка, тыс. руб	0	94,4	119,1	143,5	172,9
Разность потерь тепловой энергии до и после утепления базового варианта, тыс.руб/год	0	3869,7	3964,6	3997,2	4013,6
Прогнозируемый дисконтированный срок окупаемости инвестиций, года	0	0,02	0,03	0,04	0,04

Как видно из полученных результатов, дисконтированный срок окупаемости является крайне привлекательным, даже для изоляции толщиной 200м. Это обусловлено суровым сибирским климатом, высокотемпературным режимом работы метантенка, круглогодичной его эксплуатацией и высокими тарифами на тепловую энергию.

Определено, что наиболее экономически оправданным из рассмотренных вариантов является толщина изоляции 200мм, которая и будет использоваться в дальнейших расчетах. Ее исполнение предусматривается из матов Isover «Профи» толщинами 50 и 150 миллиметров.

Для проверки работоспособности биогазовой станции в самые лютые морозы, определяем количество теплоты, теряемой субстратом в результате теплоотдачи через стенку реактора в окружающую среду при выбранной толщине изоляции и абсолютно минимальной температуре воздуха, равной -48°C согласно [32]. Граничные условия для данной постановки задачи представлены на рисунке 13.

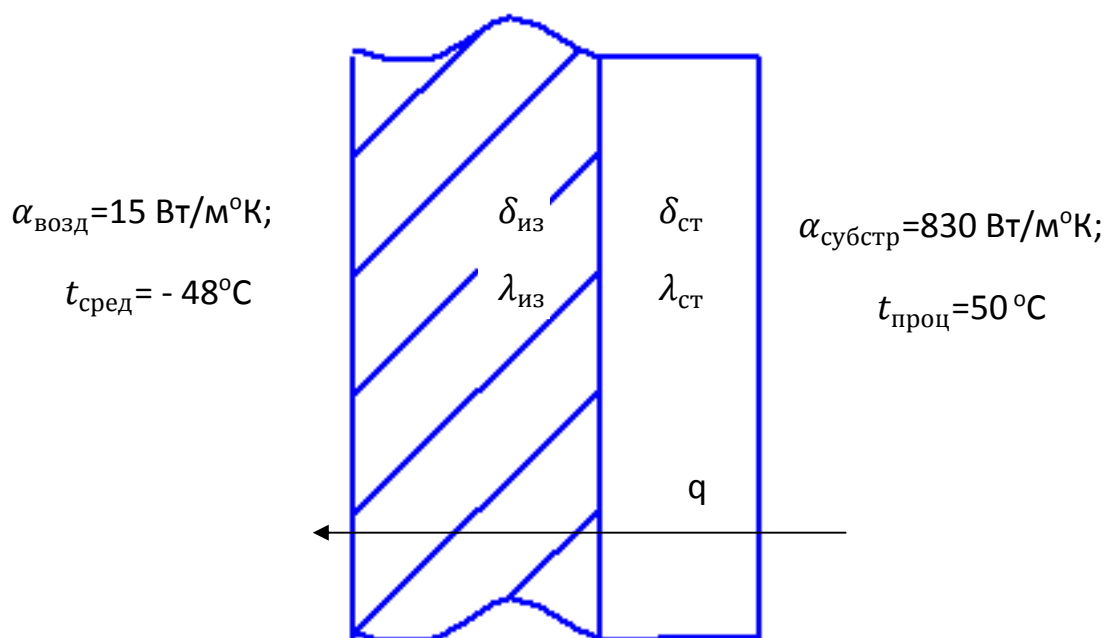


Рисунок 13 – Граничные условия решаемой задачи

По формуле (10) определяем значение тепловых потерь при абсолютно минимальной температуре наружного воздуха:

$$Q_{\text{ПОТ}} = k \cdot P \cdot (T_{\text{ПР}} - T_{\text{СРЕДЫ}}) = 0,183 \cdot 273 \cdot (50 - (-48)) = 4,9 \text{ кВт} = 17,6 \text{ МДж / ч}$$

Определяем количество теплоты, необходимое для подогрева загружаемой массы до температуры процесса брожения, в рассчитываемой установке по формуле (9) равно:

$$Q_{\text{ПОД}} = \frac{m_{\text{СУТ.ЭК.}} \cdot C_C \cdot (T_{\text{ПР}} - T_{\text{ЗАГ}})}{\eta} = \frac{4800 \cdot 0,0025 \cdot (50 - 5)}{0,95} = 568,4 \text{ МДж / сут}$$

Определяем по формуле (12) общие затраты тепловой энергии на поддержание процесса:

$$Q_{\text{ОБЩ}} = Q_{\text{ПОД}} + Q_{\text{ПОТ}} \cdot 24 = 568,4 + 17,6 \cdot 24 = 991,7 \text{ МДж / сут} = 11,5 \text{ кВт}$$

Определяем по формуле (13) потенциальные запасы энергии биогаза, выработанного за сутки:

$$Q_{\text{ВЫР}} = V_{\sigma} \cdot C_{\sigma} = 145,1 \cdot 21,6 = 3135,3 \text{ МДж / сут}$$

Определяем энергетический эффект установки по формуле (14):

$$\mathcal{E}_\sigma = Q_{\text{ВЫР}} - Q_{\text{ОБЩ}} = 3135,3 - 991,7 = 2143,6 \text{ МДж / сут}$$

Определяем коэффициент товарности биогазовой установки по формуле (15):

$$k_m = \frac{Q_{\text{ВЫР}} - Q_{\text{ОБЩ}}}{Q_{\text{ОБЩ}}} = \frac{3135,3 - 991,7}{1095} = 2,16$$

На основе оценки энергетического эффекта биогазовой установки появляется возможность определить валовый потенциал энергии биогаза по формуле (16):

$$W_{\text{БГУ}} = \frac{Q_{\text{ВЫР}} \cdot 277,78}{1000} = \frac{3135,3 \cdot 277,78}{1000} = 870,9 \text{ кВтч / сут}$$

Данный показатель отражает теоретический электрический потенциал энергии биогаза без учета КПД генерирующей установки (когенератора).

Валовый потенциал тепловой энергии биогаза по формуле (17) равен:

$$Q_{\text{БГУ}} = \frac{W_{\text{БГУ}} \cdot 0,86}{1000} = \frac{870,9 \cdot 0,86}{1000} = 0,74 \text{ ГКалл / сут}$$

Теоретический потенциал (средняя мощность), которую может поддерживать биогазовая установка на протяжении длительного времени

исходя из биогазового потенциала животноводческого предприятия определяем по формуле (18):

$$P_{CP} = \frac{W_{БГУ}}{24} = \frac{870,9}{24} = 36,3 \text{ кВт}$$

В таблице 13 указаны результаты расчетов энергетических характеристик проектируемой биогазовой установки.

Таблица 13 - Результаты расчетов энергетических характеристик проектируемой биогазовой установки

Количество теплоты, необходимое для подогрева загружаемой массы до температуры процесса брожения в сутки МДж/сут	568,4
Количество теплоты, теряемой через стенку реактора в окружающую среду Мдж/ч	17,6
Общие затраты энергии на поддержание процесса, МДж/сут	991,7
Потенциальные запасы энергии биогаза, выработанного за сутки, МДж/сут	3135,3
Энергетический эффект установки, МДж/сут	2143,57
Коэффициент товарности биогазовой установки	2,16
Валовый потенциал энергии биогаза, кВт·ч/сут	870,9
Валовый потенциал тепловой энергии биогаза, ГКалл/сут	0,74
Теоретический потенциал, кВт	36,3

3.3 Выбор вспомогательного оборудования

3.3.1 Выбор когенератора

Полученный биогаз является энергетическим источником для выработки электрической и тепловой энергии. Для преобразования биогаза используются газотурбинные установки и поршневые двигатели. Принцип действия данных

технологий схож. Химически связанная энергия, при сжигании биогаза, преобразуется в механическую энергию вращения и в дальнейшем в генераторе она преобразуется в электрическую энергию. Тепловая энергия получается в качестве побочного продукта. Обе технологии находятся примерно в одной ценовой категории и имеют близкий уровень производительности. [2]

Для производства электричества преимущественно применяют асинхронные генераторы, реже синхронные генераторы. Асинхронный генератор является не чем иным как двигателем с короткозамкнутым ротором переменного тока, работающего от общественной сети. Если он работает с количеством оборотов, превышающим работу двигателя, то он вырабатывает электроэнергию, которую можно подавать в общественные энергосети. В то же время он сам потребляет некоторое количество электричества (реактивного тока) для магнитной активизации сети. Благодаря активизации сети стабилизируется количество оборотов в определенных, зависящих от мощности генератора, пределах. Асинхронные генераторы дешево стоят и нетребовательны в работе. Главным недостатком асинхронного генератора является то, что в случае исчезновения тока в сети, он не может генерировать электричество, а таким образом не подходит для использования в качестве аварийного электрогенератора.

Синхронные генераторы являются само активирующимися, они устроены таким образом, что они также могут вырабатывать электричество даже без подключения к сети. Необходимый для создания магнитного поля ток подается от небольшого, расположенного на валу вспомогательного генератора и обмотки якоря в роторе. Для синхронных генераторов количество оборотов должно быть синхронизировано с частотой электросети. С этой целью биогазовый двигатель должен быть оснащен регулятором количества оборотов. После определенной мощности от 45 до 50 кВт синхронные генераторы такие же дорогие, как и асинхронные генераторы. [26]

Целью работы генератора, является не только получение электроэнергии, но использовать как можно более эффективно избыток выделяемого тепла двигателя. Зимой с этим не возникает никаких проблем, особенно в небольших сельских хозяйствах, поскольку кроме ферментатора отопление еще требуется для дома и животноводческих помещений. С возрастающими размерами биогазовых установок, не только летом, но и зимой возникает большой переизбыток тепла. Часть избытка тепла используется для поддержания температурного режима ферментатора, но часто большая его часть «утилизируется» при помощи аварийного охладителя. В качестве аварийного охладителя используется пластинчатый теплообменник, соответствующий мощности двигателя с вентилятором, работающим от сети и управляемым при помощи термостата, размещаемом вне технического помещения.

Проанализировав представленное на рынке оборудование, был сделан выбор в пользу производителя Capstone. Данный производитель предлагает следующий модельный ряд микротурбин, представленный в таблице 14.

Таблица 14 – Модельный ряд микротурбин производителя Capstone [27].

Параметр микротурбин	Capstone C30	Capstone C65	Capstone C200
Электрическая мощность, кВт	30	65	200
КПД по электричеству, %	28 ± 2	29 ± 2	33 ± 2
КПД общий при использовании тепла, %	80	80	66 - 80
Диапазон рабочего напряжения, В	380 - 480	380 - 480	380 - 480
Максимальный ток в фазе, А	45	100	275 - 290

Топливом для микротурбины может быть природный газ, солярка, попутный нефтяной газ с содержанием сероводорода и многие другие виды углеводородов с различной теплотворной способностью. Давление газа, приемлемое для работы микротурбин, начинается от 0,02 бар. Для его подъема до рабочих значений используется штатные дожимные компрессоры. [27]

В состав микротурбины от производителя входят:

- микротурбина

- рекуператор
- теплообменник — вода/выхлопные газы
- силовая электроника (выпрямитель, инвертор, фильтр)
- воздушная система охлаждения силовой электроники
- система автоматического управления микротурбины
- панель управления
- аккумуляторные батареи.

Для рассчитываемой установки по параметрам подходит микротурбина Capstone 30 со следующими параметрами:

- Мощность электрическая: 30 кВт
- Выходное напряжение: 380–480В, 3 фазы
- Сила тока : 40-46 А
- Выходная частота тока: 50–60 Гц
- Электрический КПД: 26–30 %
- Диапазон электрической нагрузки: 1–100%
- Мощность тепловая: 1,7 кВт на 1 кВт электрической энергии
- Выходная температура теплоносителя: (вода) 95°С

Средняя мощность, которую может поддерживать биогазовая установка на протяжении длительного времени с учетом электрического КПД когенератора:

$$P_{срФ} = P_{ср} \cdot \frac{\eta_{эл}}{100} = 36,3 \cdot \frac{28}{100} = 10,2 \text{ кВт} \quad (24)$$

Где $\eta_{эл}$ - КПД когенерационной установки

Необходимо принять во внимание, достаточно ли тепловой энергии будет вырабатываться когенерационной установкой, для поддержания постоянной

температуры субстрата в метантеке при абсолютно минимальной температуре воздуха. Так согласно характеристикам микротурбины Capstone 30 на каждый кВт электрической энергии, установка может обеспечить 1,7кВт тепловой энергии в режиме когенерации.

Мощность станции по тепловой энергии определяется по формуле, кВт:

$$Q_{\text{выр}} = P_{\text{срф}} \cdot q = 10,2 \cdot 1,7 = 17,3 \quad (25)$$

Где $P_{\text{срф}}$ - тоже что и в формуле (24);

q – количество вырабатываемой тепловой энергии на кВт электрической энергии в когенераторе.

Следовательно, для проектируемой биогазовой станции составит 17,3кВт при максимальном потреблении в 11,5кВт. Средне годовое производство тепла биогазовой станции определяется по формуле, кВт:

$$Q_{\text{ср.год}} = Q_{\text{выр}} - Q_{\text{пот.ср.год}} = 17,3 - 2,3 = 15 \quad (26)$$

Где $Q_{\text{пот.ср.год}}$ – данное значение принимаем из таблицы 11 для толщины изоляции 200мм

3.3.2 Выбор газгольдера

Размер газгольдера для биогазовой станции определяется объемом производства биогаза и процессом его потребления. При выработке из биогаза

только тепловой энергии выбирают такой объем накопителя, чтобы он обеспечивал хранение суточного выхода. При когенерации и выработке только электрической энергии удастся обходиться значительно меньшим газгольдером, достаточным является принять 20-50% ежедневной выработки газа станцией, если установка работает круглые сутки с полной загрузкой. Неравномерность в потреблении тепловой энергии в данном случае можно компенсировать применением баков аккумуляторов. [15]

Согласно «ГОСТ Р 53790-2010 Нетрадиционные технологии. Энергетика биоотходов. Общие технические требования к биогазовым установкам» пластиковые газгольдеры применяют для сбора биогаза в простых, совмещенных установках, где пластиком покрывают открытую емкость, служащую в качестве реактора, или отдельный пластиковый газгольдер соединяют с реактором.

Стальные газгольдеры делят на газгольдеры низкого ($0,01-0,05 \text{ кг/см}^2$), среднего ($8-10 \text{ кг/см}^2$) и высокого (200 кг/см^2) давления.

Стальные газгольдеры низкого давления оправданы только в случае большого расстояния (минимум 50-100 м) от установки до использующих биогаз приборов. В других случаях следует рассматривать возможность использования более дешевого пластикового газгольдера.

На основании выше описанного и произведенных расчетов принимаем, что на проектируемой биогазовой станции будет отдельный пластиковый газгольтер низкого давления объемом 30 м^3 .

3.3.3 Оборудование подготовки и подачи субстрата

На биогазовой станции необходимо предусмотреть приемный резервуар, в который подается навоз с фермы. Резервуар берет на себя функцию места временного содержания субстрата, но также необходим для смешивания, измельчения и разбавления коферментационных веществ или твердого навоза. Объем приемного бака должен обеспечивать хранение субстрата как минимум на протяжении 2-5 дней, чтобы обеспечивать работоспособность станции на протяжении выходных либо праздничных дней.

Резервуары предварительного хранения преимущественно строят погруженными в грунт, для строительства применяют шахтные кольца или, если речь идет о больших объемах – их выливают из монолитного бетона. Цилиндрическая форма облегчает процессы смешивания. Забор для откачивания предусматривается на высоте 50 см от дна, с целью создания слоя в котором осаждаются твердые вещества.

Объем приемного резервуара, м³, определяется по формуле:

$$V_{п.р.} = n \frac{m_H}{\rho} = 3 \frac{4800}{1200} = 12 \text{ м}^3 \quad (27)$$

где n – число расчетных суток, $n=3$;

m_H – масса поступающего на станцию навоза,

ρ – тоже, что и в формуле (6);

Приемный резервуар принимаем как крытую крышкой цилиндрическую емкость, выполненную из монолитного железобетона.

Диаметр резервуара, определяется по формуле:

$$d = \sqrt{\frac{V_{П.Р.}}{\pi \cdot h}} = \sqrt{\frac{12}{\pi \cdot 2}} = 1,9 м \quad (28)$$

где h – глубина резервуара, принимаем $h = 3$ м;

Гомогенизацию отходов обеспечивает вертикальный стационарный миксер фирмы EYS. Его данные приведены в таблице 13

Таблица 13 – Технические характеристики миксера EYS [28]

Мощность, кВт	Частота вращения, об/мин	Диаметр пропеллера, мм	Напряжение, В	Глубина погружения, м
1,1	325	60	380	≤ 3

Подача субстрата в биогазовую установку происходит по проточному методу.

Необходимая производительность насоса для перекачки субстрата определяется по формуле:

$$Q_H = \frac{Q_\Phi}{m \cdot \rho} = \frac{4800}{8 \cdot 1200} = 0,5 м^3 \quad (29)$$

где Q_Φ – количество субстрата, поступающее в ферментатор в течении суток;

m – количество подкачек субстрата на протяжении суток, $m = 10$;

ρ – тоже, что и в формуле (6);

Для подачи субстрата в ферментатор принимаем самовсасывающий насос типа ОНЛ, [24]. Двигатель поставляется в комплекте с насосом. Технические характеристики насосов данного типа приведены в таблице 15.

Для подачи субстрата в биогазовую установку, согласно расчетам, подходит насос ОНЛ 50-50-150К–1,1/4

Таблица 15 – Технические характеристики насосов ОНЛ [29].

Модель насоса	Подача (м ³ /ч)	Напор (м)	Частота вращения (об/мин)	Мощ. эл.-двигателя (кВт)	Размеры (мм)	Масса (кг)
ОНЛ 50-50-150К–1,1/4	0.5 - 20	8 - 2	1450	1,1	390x200x230	29
ОНЛ 65-50-200К–2,2/4	0.5 - 25	10 - 4	1450	2,2	430x250x260	32
ОНЛ 65-50-250К–4/4	0.5 - 50	10 - 4	1450	4	630x360x360	94
ОНЛ 50-50-150К–3/2	2 - 20	22 - 11	2900	3	430x250x260	35
ОНЛ 50-50-150К-5,5/2	2 - 20	22 - 11	2900	5,5	485x250x270	44
ОНЛ 65-50-200К–5,5/2	8 - 25	30 - 20	2900	5,5	485x250x300	46
ОНЛ 65-50-200К–7,5/2	8 - 25	30 - 20	2900	7,5	470x300x320	49
ОНЛ 80-50-200К–11/2	10 - 40	25 - 10	2900	11	540x300x360	65
ОНЛ 80-50-250К–11/2	10 - 50	50 - 10	2900	11	625x300x330	78
ОНЛ 80-80-250К–15/2	20 - 70	50 - 8	2900	15	630x380x360	113
ОНЛ 100-100-350К–18,5/4	50 - 120	27 - 20	1450	18,5	680x380x450	120
ОНЛ 150-125-500К–55/4	60 - 200	50 - 20	1450	55	1100x600x650	210

3.3.4 Выбор оборудования удаления переброженной массы

Переработанный субстрат после биогазовой установки подается на сепаратор. Он разделяет остатки брожения на твердые и жидкие фракции.

Для отделения твердых и жидких фракций выбран сепаратор фирмы Содружество, СОШ-175, с характеристиками, представленными в таблице 16 [30].

После сепарации переработанный субстрат отправляется в лагуну. Лагуны, служат для приема переброженного субстрата из проточных установок и дальнейшего хранения. Их объем должен обеспечивать хранение материала на протяжении не вегетационного периода, времени, когда растения не потребляют питательных веществ, в зависимости от климатических условий и культуры растений этот период длится ориентировочно 6-7 месяцев. В большинстве вновь проектируемых биогазовых установках лагуна накрывается либо твердым покрытием, либо пленочным колпаком с целью предотвращения потерь азота и улавливания, образующегося после дображивания биогаза.

Таблица 16 – Технические характеристики сепараторов фирмы «Содружество» [30]

Модель	СОШ - 175	СОШ - 230	СОШ - 270
Производительность, м ³ /ч	1 - 3	2 - 5	5 - 10
Мощность привода, кВт	5,5	7,5	7,5
Напряжение питающей электросети, В	380	380	380
Частота питающей электросети, Гц	50	50	50
Габаритные размеры (ДхШхВ), мм	2200x800x1500	2400x1200x1600	2500x1600x1800
Масса, кг	600	700	850

Емкость лагуны определяется по формуле:

$$V_{л} = n \cdot m \frac{m_{жф}}{\rho} = 30 \cdot 7 \frac{740}{1800} = 86 \text{ м}^3 \quad (30)$$

где n – среднее количество суток в месяце, n = 30;

m – число месяцев не вегетационного периода, принимаем 7 месяцев;

$m_{\text{ЖФ}}$ – выход сухого вещества, согласно расчет равно 740кг/сут;

ρ – плотность сухого вещества свиного навоза, $\rho= 1800$ кг/м³; [11]

4. Техничко-экономическое обоснование

Капитальные затраты на строительство биогазовой станции складывается из затрат на строительство резервуаров, покупку и монтаж метантенков, когенератора, мешалок, вспомогательного оборудования, системы автоматики и разработку проекта.

Стоимость выбранного ранее оборудования согласно открытым источникам является следующей:

K_m , стоимость метантенка объемом 60м³ (железнодорожная цистерна 15-1210-01) – 2100 тыс.руб.;[43]

K_{mm} , стоимость механической мешалки, устанавливаемой в метантек – 70 тыс. руб.; [40]

K_g , стоимость газгольдера объемом 30м² – 950 тыс. руб.; [42]

K_n , стоимость насоса ОНЛ 50-50-150К–1,1/4 – 86 тыс. руб.; [44]

K_c , стоимость сепаратораСОШ-175 – 600 тыс. руб.; [44]

K_{mb} , стоимость миксера приемного резервуара – 55 тыс. руб.; [40]

$K_{из}$, стоимость изоляционных материалов для метантенка – 173 тыс. руб.;

K_k , стоимость микротурбины Captsone 30 – 4000 тыс. руб.; [27]

K_p , затраты на разработку проекта – 500 тыс. руб.; [2]

K_a , стоимость системы автоматики биогазовой станции – 1000 тыс. руб.
[2].

Затраты на монтаж и строительство оборудования и сооружений принимаем 30% от стоимости оборудования.

Определяем капитальные затраты на строительство биогазовой станции, тыс, руб.:

$$K = (K_m + K_{mm} + K_z + K_n + K_{mb} + K_{uz} + K_k) \cdot 1,3 = \\ = (2100 \cdot 2 + 70 \cdot 2 + 950 + 86 + 600 + 55 + 173 + 4000 + 500 + 1000) \cdot 1,3 = 15210 \quad (31)$$

Текущие затраты на эксплуатацию биогазовой станции складываются из амортизационных отчислений, фонда оплаты труда, отчислений в страховые фонды на каждого работника, ремонтных затрат.

Сумма амортизационных отчислений определяется по формуле, тыс. руб.:

$$I_A = K \cdot \frac{H}{100} = 15210 \cdot \frac{5}{100} = 760,5 \quad (32)$$

Где H – ежегодная доля амортизационных отчислений.

Принимаем расчетный срок службы, разрабатываемой биогазовой станции 20 лет. В данном случае $H=5$.

Проанализировав информацию о количестве задействованного персонала на действующих биогазовых станциях в работах [1, 2, 4] и учитывая предполагаемый уровень автоматизации проектируемой станции принимаем число сотрудников, задействованных в ее эксплуатации – 3 человека.

Зарботную плату каждого работника принимаем 30 тыс. руб. Тогда фонд оплаты труда равен, тыс. руб.:

$$I_{зп} = z_{мес} \cdot 12 \cdot Ч = 30 \cdot 12 \cdot 3 = 1080 \quad (33)$$

Где $z_{мес}$ – ежемесячная заработная плата;

Ч – численность персонала биогазовой станции.

Определяем сумму ежегодных отчислений в страховые фонды, тыс. руб.:

$$I_c = I_{зп} \cdot 0,302 = 326,1 \quad (34)$$

Принимаем значение ежегодных издержек на ремонт в размере 4% от стоимости оборудования [2], и рассчитываем по формуле, тыс. руб.:

$$I_p = K \cdot 0,04 = 15210 \cdot 0,04 = 608,4 \quad (35)$$

Для определения выручки от реализации производимой продукции, определяемся с ее объемами.

Объем биоудобрений образующихся в результате анаэробного сбраживания за год, согласно ранее приведенным расчетам равен 210,24 тонны.

Объем отпуска электрической энергии определяется по формуле, МВтч:

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_n - \mathcal{E}_{сн} \quad (36)$$

Где \mathcal{E}_n – объем производимой электрической энергии, МВтч;

$\mathcal{E}_{сн}$ – объем потребляемой электрической энергии на собственные нужды, МВтч;

Объем производимой электрической энергии определяется по формуле, МВтч:

$$\mathcal{E}_n = \frac{P_{срф} \cdot 24 \cdot 365}{1000} = \frac{10,2 \cdot 24 \cdot 365}{1000} = 89,32 \quad (37)$$

Где $P_{срф}$ – тоже что и в формуле (24)

Объем потребляемой электрической энергии на собственные нужды определяется по формуле, МВтч;

$$\mathcal{E}_{сн} = \sum \frac{P_i \cdot t_i \cdot n_i \cdot m_i \cdot 365}{60 \cdot 1000} \quad (38)$$

Где P_i – мощность энергопотребляющей установки, кВт;

t_i – время работы энергопотребляющей установки за цикл, мин;

n_i – количество циклов работы энергопотребляющей установки в сутки;

m_i – количество установок, шт.

Результаты расчетов затрат электроэнергии на собственные нужды по формуле 38 представлены в таблице 17.

Таблица 17 – Затраты электроэнергии на собственные нужды

Установка	P_i , кВт	t_i , мин	n_i	m_i	$\mathcal{E}_{сн}$, МВтч
Насос	1,1	10	8	1	0,536
Сепаратор	5,5	10	8	1	2,673
Мешалка метантека	2,2	10	4	2	1,069
Миксер	1,1	10	4	1	0,267
Сумма:					4,555

Объем отпуска электрической энергии по формуле (36) равен, МВтч:

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_n - \mathcal{E}_{сн} = 89,32 - 4,55 = 84,8$$

Годовая выработка тепловой энергии рассчитывается по формуле, ГКал:

$$Q_{год} = \frac{Q_{ср.год} \cdot 365 \cdot 60 \cdot 60 \cdot 24}{1000 \cdot 4186,8} = \frac{15 \cdot 365 \cdot 60 \cdot 60 \cdot 24}{1000 \cdot 4186,8} = 113,08 \quad (39)$$

Где $Q_{ср.год}$ - тоже что и в формуле

Для дальнейших расчетов принимаем следующие значения:

r – средний ежегодный рост стоимости тарифов на тепловую и электрическую энергию, согласно [46] принимаем равную 4,5%;

i – процентная ставка дисконтирования, согласно [34] принимаем равную 10%;

f – средний ежегодный рост цен на биоудобрения согласно [45] принимаем 10%;

$T_{тэ}$ – тариф на тепловую энергию, согласно [33] в 2019 году для п.г.т. Емельяново равен 3765,17 руб./Гкал;

$T_{ЭЭ}$ – тариф на электрическую энергию для юридических лиц согласно [41] в 2019 году для Красноярского края равен 4241,58 руб./МВтч;

$C_{бу}$ – стоимость тонны биоудобрений согласно [45] принимаем 11000 руб.

Представленный алгоритм ТЭО позволяет получить подробные представление об экономической эффективности строительства проектируемой биогазовой станций. Результаты расчетов основных экономических характеристик проекта представлены в таблицах 18, 19 и на рисунке 12.

Таблица 18- Результаты расчетов оценки коммерческой эффективности инвестиционного проекта в период с 2020 по 2030 год.

Год	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1.Инвестиционная деятельность										
Капитальные вложения	15,21	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Сальдо от инвестиционной деятельности	15,21	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2. Операционная деятельность										
Объем отпуска тепловой энергии, Гкал	0	113,08	113,08	113,08	113,08	113,08	113,08	113,08	113,08	113,08
Тариф за тепловую энергию, руб./Гкал	0	4111,66	4296,684	4490,035	4692,087	4903,231	5123,876	5354,451	5595,401	5847,194
Объем отпуска электрической энергии, МВтч	0	84,8013	84,8013	84,8013	84,8013	84,8013	84,8013	84,8013	84,8013	84,8013
Тариф за электрическую энергию, руб./МВтч	0	4631,911	4840,347	5058,163	5285,78	5523,641	5772,204	6031,954	6303,391	6587,044
Объем производимых удобрений, т	0	210,24	210,24	210,24	210,24	210,24	210,24	210,24	210,24	210,24
Цена биоудобрений, руб./т	0	13310	14641	16105,1	17715,61	19487,17	21435,89	23579,48	25937,42	28531,17
Выручка от реализации продукции, млн.руб	0	3,656033	3,974461	4,322608	4,703352	5,119852	5,575579	6,074348	6,620348	7,218183
Затраты всего, млн.руб	0	1,728491	1,746471	1,76535	1,785172	1,805986	1,82784	1,850787	1,874881	1,90018
Затраты на оплату труда, млн.руб	0	1,1907	1,250235	1,312747	1,378384	1,447303	1,519668	1,595652	1,675434	1,759206
Страховые выплаты, млн.руб	0	0,359591	0,377571	0,39645	0,416272	0,437086	0,45894	0,481887	0,505981	0,53128
Амортизация, млн.руб	0	0,7605	0,7605	0,7605	0,7605	0,7605	0,7605	0,7605	0,7605	0,7605
Ремонтный фонд, млн.руб	0	0,6084	0,6084	0,6084	0,6084	0,6084	0,6084	0,6084	0,6084	0,6084
Сальдо от операционной деятельности	0	1,927542	2,22799	2,557259	2,91818	3,313866	3,74774	4,223561	4,745467	5,318003

Окончание таблицы 18

3.Оценка коммерческой эффективности проекта										
Чистый денежный поток (ЧДП), млн.руб	-15,21	1,927542	2,22799	2,557259	2,91818	3,313866	3,74774	4,223561	4,745467	5,318003
Чистый денежный поток нарастающим итогом (ЧДПНИ), млн.руб	-15,21	-13,2825	-11,0545	-8,49721	5,57903	-2,26516	1,482576	5,706137	10,4516	15,76961
Дисконтированный денежный поток (ДДП), млн.руб	- 13,8273	1,59301	1,673922	1,746642	1,81196	1,870591	1,923183	1,970322	2,012541	2,05032
Дисконтированный денежный поток нарастающим итогом (ДДПНИ), млн.руб	- 13,8273	-12,2343	-10,5603	-8,8137	7,00174	-5,13115	-3,20796	-1,23764	0,774899	2,825219

Таблица 19 - Результаты расчетов оценки коммерческой эффективности инвестиционного проекта в период с 2030 по 2040 год.

Год	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1.Инвестиционная деятельность										
Капитальные вложения	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Сальдо от инвестиционной деятельности	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2. Операционная деятельность										
Объем отпуска тепловой энергии, Гкал	113,08	113,08	113,08	113,08	113,08	113,08	113,08	113,08	113,08	113,08
Тариф за тепловую энергию, руб./Гкал	6110,318	6385,282	6672,62	6972,887	7286,667	7614,567	7957,223	8315,298	8689,486	9080,513
Объем отпуска электрической энергии, МВтч	84,8013	84,8013	84,8013	84,8013	84,8013	84,8013	84,8013	84,8013	84,8013	84,8013
Тариф за электрическую энергию, руб./МВтч	6883,461	7193,217	7516,912	7855,173	8208,655	8578,045	8964,057	9367,439	9788,974	10229,48
Объем производимых удобрений, т	210,24	210,24	210,24	210,24	210,24	210,24	210,24	210,24	210,24	210,24
Цена биоудобрений, руб./т	31384,28	34522,71	37974,98	41772,48	45949,73	50544,7	55599,17	61159,09	67275	74002,5
Выручка от реализации продукции, млн.руб	7,872913	8,590097	9,375844	10,23687	11,18055	12,215	13,34914	14,59275	15,95662	17,45258
Затраты всего, млн.руб	1,926744	1,954636	1,983923	2,014674	2,046963	2,080866	2,116465	2,153843	2,19309	2,2343
Затраты на оплату труда, млн.руб	1,847167	1,939525	2,036501	2,138326	2,245242	2,357505	2,47538	2,599149	2,729106	2,865562
Страховые выплаты, млн.руб	0,557844	0,585736	0,615023	0,645774	0,678063	0,711966	0,747565	0,784943	0,82419	0,8654
Амортизация, млн.руб	0,7605	0,7605	0,7605	0,7605	0,7605	0,7605	0,7605	0,7605	0,7605	0,7605
Ремонтный фонд, млн.руб	0,6084	0,6084	0,6084	0,6084	0,6084	0,6084	0,6084	0,6084	0,6084	0,6084
Сальдо от операционной деятельности	5,946169	6,63546	7,391921	8,222195	9,133589	10,13414	11,23267	12,43891	13,76353	15,21828

Окончание таблицы 19

3.Оценка коммерческой эффективности проекта										
Чистый денежный поток (ЧДП), млн.руб	5,946169	6,63546	7,391921	8,222195	9,133589	10,13414	11,23267	12,43891	13,76353	15,21828
Чистый денежный поток нарастающим итогом (ЧДПНИ), млн.руб	21,71578	28,35124	35,74316	43,96535	53,09894	63,23308	74,46575	86,90466	100,6682	115,8865
Дисконтированный денежный поток (ДДП), млн.руб	2,084096	2,114262	2,141176	2,165161	2,186509	2,205483	2,222324	2,237247	2,250447	2,262101
Дисконтированный денежный поток нарастающим итогом (ДДПНИ), млн.руб	4,909315	7,023577	9,164753	11,32991	13,51642	15,72191	17,94423	20,18148	22,43192	24,69403

Значение основных экономических показателей:

NPV= 24,69 млн. руб.;

DPI=3,02;

IRR= 23,47%;

Простой срок окупаемости – 6 лет 9 месяцев;

Дисконтированный срок окупаемости – 8 лет 8 месяцев.

Млн. руб.

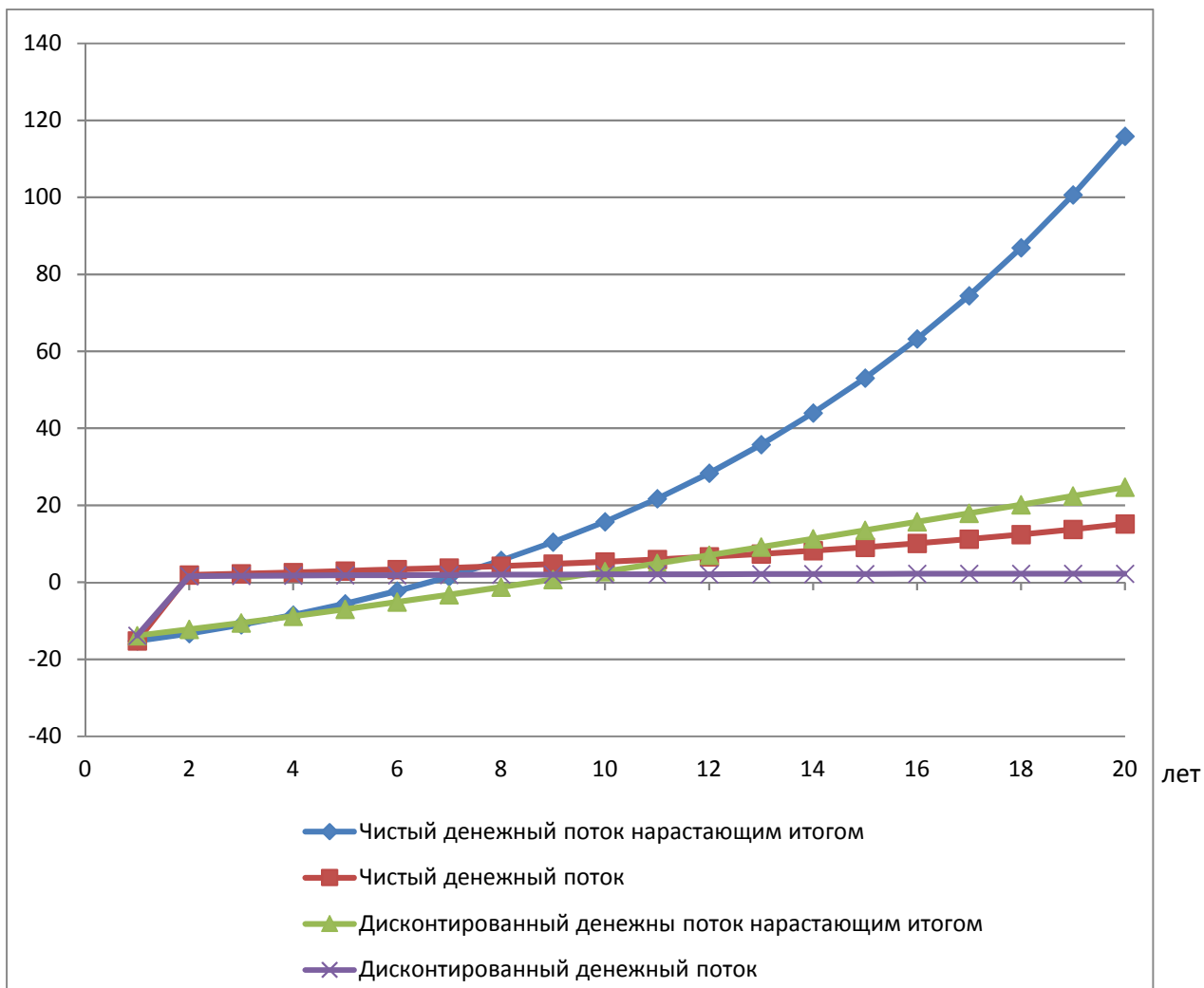


Рисунок 12 – График потока денежных средств при эксплуатации проектируемой биогазовой станции.

Из полученных результатов видно, что строительство разрабатываемой биогазовой станции является инвестиционно привлекательным проектом.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Проведен глубокий аналитический обзор мировых практик применения биогазовых установок и протекания процесса анаэробного сбраживания. Определены наиболее технологически и экономически оправданные решения для строительства биогазовой станции в климатических условиях Красноярского края. Установлено, что на территории Красноярского края перспективно строительство биогазовых станций только для центральных и южных районов, вблизи крупных животноводческих предприятий. Северные муниципальные районы Красноярского края не перспективны в данном направлении, так как особенности северного климата приведут к повышенным теплотерям и дополнительным сложностям организации процесса.

2. Разработана технологическая схема биогазовой установки для фермерского хозяйства п.г.т. Емельяново Красноярского края, которая позволяет обеспечить максимальную эффективность процесса анаэробного сбраживания при минимальных капитальных и текущих затратах. Научная новизна данной технологической схемы заключается в возможности ее применения в суровых климатических условиях Красноярского края.

3. Проведена технико-экономическая оценка целесообразности и экономической эффективности, применения разработанной технологической схемы биогазовой установки на примере свиноводческого комплекса «Минжульский» с количеством свиней на откорме 1500 голов расположенного около п.г.т. Емельяновский Красноярского края. Капитальные затраты на строительство и монтаж основного и вспомогательного оборудования составили 15,21 млн. руб., дисконтированный срок окупаемости 8 лет и 8 месяцев. Сумма дисконтированного денежного потока нарастающим итогом по окончании расчетного срока службы равного 20 лет, составила 24,69 млн. руб.

Повсеместное применение предложенной схемы биогазовой установки на крупных свиноводческих предприятиях Красноярского края позволит

значительно уменьшить проблему утилизации и хранения отходов производства, что благоприятно скажется на экологии Красноярского края, при этом увеличивая автономность и рентабельность комплекса.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Шульц Х. Б. Биогазовые установки : практическое пособие / Х.Б. Шульц. – ZorgBiogas. – 268с.
2. Технико-экономическая оценка возможности использования возобновляемых источников энергии на территории Красноярского края в разрезе муниципальных образований края : отчет о НИР/ Сибирский федеральный университет ; рук. Бойко Е. А.; исполн.: Тимофеев В. Н., Лимаренко Г. Н., Бобров А. В., Тремясов В. А., Головин М. П., Тимофеев С. П., Лыбзиков Г. Ф., Первухин М. В., Чебодаев А. В., Бастрон А. В., Встовский А. Л., Емец А. А., Янов С. Р. – Красноярск :, 2013. – Т. 5 – 208с.
3. Баадер, В. Биогаз : теория и практика / В. Баадер, Е. Доне; пер. с нем. и предисловие М. И. Серебряного. – Москва : Колос, 1982. – 148 с.
4. Получение биогаза из навоза [Электронный ресурс]– Режим доступа : www.bmpa.ru
5. Получение биогаза из навоза [Электронный ресурс]– Режим доступа : <http://www.ess-ltd.ru>
6. Производство биогаза в Республике Беларусь и Швеции. Обмен опытом : отчет о выполнении проекта. – CSD UppsalaCentreforSustainableDevelopment. – Уппсала, 2012 – 39с.
7. Сельское хозяйство Красноярского края [Электронный ресурс] // Экспертно-аналитический центр агробизнеса «АБ-Центр». Режим доступа:<http://ab-centre.ru/>
8. Капустин, В.П. Совершенствование систем уборки и транспортировки бесподстилочного навоза: учебник / В. П. Капустин. – Тамбов : Издательство ТГТУ, 2001. – 122с.
9. Трахунова, И. А. Повышение эффективности анаэробной переработки органических отходов в метантенке с гидравлическим перемешиванием на основе численного эксперимента : дис. ... канд. техн. наук : 05.20.01 / Трахунова Ирина Александровна. – Казань, 2014. – 115 с.

10. Лизунов, Н. Ю. Теплотери и тепловая изоляция метантенка мобильного биогазового комплекса в климатических условиях Казахстана / Н. Ю. Лизунов // Вестн. ПГУПС. – 2014. – № 4. – С. 31 – 34.
11. Скорб, И. И. Анализ физико-механических свойств жидкого навоза / И. И. Скорб // Передовые технологии и техническое обеспечение сельскохозяйственного производства : материалы Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 30 – 31 марта 2017 г. - Минск : БГАТУ, 2017. – С. 205 – 207.
12. Ильин, С. Н. Ресурсосберегающая технология переработки свиного навоза с получением биогаза : дис. ... канд. техн. наук : 05.20.01 / Ильин Сергей Николаевич. – Иркутск, 2005 – 171 с.
13. Баадер, В. Биогаз: теория и практика : учебник/ В. Баадер, Е. Доне; пер. с нем. и предисловие М. И. Серебряного. – Москва : Колос, 1982. – 148 с.,ил.
14. Волеваха, Н. М. Нетрадиционные источники энергии : учебник / Н, М. Волеваха, В. А. Волеваха. – Москва : МЭИ, 1983. – 289с.
15. ГОСТ Р 53790-2010 Нетрадиционные технологии. Энергетика биоотходов. Общие технические требования к биогазовым установкам. – Введ. 01.01.2011. – Москва : Стандартинформ, 2011. – 15 с.
16. Веденев А.Г. Биогазовые технологии в Кыргызской Республике : учебник / А.Г.Веденев, Т. А. Веденева. – Бишкек: Типография «Евро», 2006. – 90 с.
17. Веденев, А. Г. Руководство по биогазовым технологиям : учебник / А. Г. Веденев, Т. А. Веденева. – Бишкек : ДЭМИ, 2011. – 84 с.
18. Караева, Ю.В. Обзор биогазовых технологий и методов интенсификации процессов анаэробного сбраживания / Ю.В. Караева, И.А. Трахунова // Труды Академэнерго. – 2010. – №3. – С.109-127.
19. Токмолдаев А.Б. Обоснование технологической схемы и параметров установки для переработки и обеззараживания навоза в условиях малых сельхозформирований : дис... канд. тех. наук : 05.20.01/

Токмолдаев Андрей Борисович. – Алматы, 2009. – 116 с.

20. Гюнтер Л.И. Метантенки : учебник / Л.И. Гюнтер, Л.Л. Гольдфарб. – М: Стройиздат, 1991. – 128 с.

21. Ахмедов, Р. Б. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии : учебник / Р. Б. Ахмедов. – Москва : Знание, 1988. – 46 с.

22. Пат. 92009236 Российская Федерация, МПК6 А01С3/02. Способ анаэробного сбраживания разжиженных органических отходов и метантенк для его осуществления / Т. Я. Андрюхин; заявитель Андрюхин Т.Я. – № 92009236/13; заявл. 01.12.1992 ; опубл. 27.02.1998, Бюл. №13. – 2с.

23. Пат. 20883229 Российская Федерация, МПК6 В01F5/10, С02F11/04. Устройство для перемешивания субстрата / Д.В.Гребенник; заявитель и патентообладатель Ставропольская государственная сельскохозяйственная академия. – № 94034739/25; заявл. 19.09.1994; опубл. 27.08.1997, Бюл. №23 – 3с.

24. Лобанок, А. Г. Биотехнология – сельскому хозяйству : учебник / А. Г. Лобанок, М. В. Залашко, Н. И. Анисимова [и др.] ; под ред. А. Г. Лобанка; – Минск : Ураджай, 1988. – 199 с.

25. Биоэнергетика: мировой опыт и прогноз развития. Научный аналитический обзор. – Москва: ФГНУ «Росинформагротех», 2007, – 204 с.

26. Бойлс, Д. Биоэнергия: технология, термодинамика, издержки : учебник / Д. Бойлс; под ред. Е. А. Бирюковой. – Москва : ВО Агропромиздат, 1987. – 62 с.

27. Газопоршневые электростанции — мини-ТЭЦ — газотурбинные установки— газовые турбины [Электронный ресурс] // торгово-промышленная компания «Новая генерация». Режим доступа : <https://manbw.ru>

28. Оборудование для фермерских хозяйств [Электронный ресурс]// торговая компания «Biorg». Режим доступа : <http://ua.bizorg.su>
29. Пищевое оборудование [Электронный ресурс] // торговая компания «АгроМаш». Режим доступа : <http://www.agro-mash.ru>
30. Пищевое оборудование [Электронный ресурс] // торговая компания ООО «ИмпЭксРу». Режим доступа : <http://lugakamen.ru>
31. Погода в мире [Электронный ресурс] // информационный сайт. Режим доступа : <https://global-weather.ru>
32. СП 131.13330.2012 Строительная климатология. Актуализированная редакция СНиП 23-01-99*– Введ. 01.01.2013. – Москва : Минстрой России, 2017. – 32 с.
33. Об установлении тарифов на тепловую энергию, отпускаемую обществом с ограниченной ответственностью "Емельяновский коммунальный комплекс : приказ от 19 дек. 2018. № 406 // Наш Красноярский край. – 2018. – 22 дек.
34. Горшков, А. С. Экономическая эффективность утепления стен каркасного дома / А. С. Горшков // Строительство уникальных зданий и сооружений. – 2015. – № 11. – С. 22-30.
35. Строительная продукция [Электронный ресурс] // производственная компания «Профлист МСК» Режим доступа: <http://www.proflist-msk.ru>
36. Строительная продукция [Электронный ресурс] // между народная промышленная компания «Saint-Gobain» Режим доступа : <https://www.isover.ru>
37. Горшков А.С. Модель оценки прогнозируемого срока окупаемости инвестиций в энергосбережение / А. С. Горшков // Вестник МГСУ. – 2015. – № 12. –С. 136-146.

38. Немова Д. В. Техничко-экономическое обоснование по утеплению наружных стен многоквартирного жилого здания с устройством вентилируемого фасада / Д. В. Немова // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2014. – № 11 –С. 70-84.

39. Ватин Н. И. Техничко-экономическое обоснование по утеплению по утеплению ограждающих конструкций индивидуального жилого дома / Н. И. Ватин // Строительство уникальных зданий и сооружений. –2014. –№ 8. – С. 93-115.

40. Производство промышленных мешалок [Электронный ресурс] // производственная компания ООО «ТЕСМО» Режим доступа :<https://smp-t.ru>

41. Информационный сайт [Электронный ресурс] //оператор технических решений «Time2Save» Режим доступа: <http://time2save.ru>

42. Производство газового оборудования [Электронный ресурс] // строительно- монтажная организация ГК «Газовик» Режим доступа: <https://gazovik-lpg.ru>

43. Продажа вагонов для железнодорожного транспорта [Электронный ресурс] // торговая компания ООО «УралТранс» Режим доступа: <http://uraltrans.ctlx.ru/>

44. Насосы [Электронный ресурс] // торговая компания ООО «Пищевые насосы» Режим доступа : <https://ppump.satom.ru>

45. Статистический центр[Электронный ресурс] // Федеральная служба государственной статистики Режим доступа : <http://www.gks.ru>

46. Семенова, Ю. В. Платежки могут удивить / Ю. В. Семенова // Наш Красноярский край. –2016. - № 839. – С. 21 – 24.

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Политехнический
институт
Теплотехники и гидрогазодинамики
кафедра

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

 В. А. Кулагин
подпись инициалы, фамилия

« ____ » _____ 2019г.

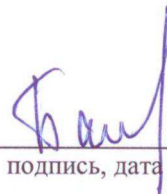
МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Биогазовые технологии в климатических условиях Красноярского края
тема

13.04.01 Теплоэнергетика и теплотехника
код и наименование направления

13.04.01.01 Энергетика теплотехнологий
код и наименование магистерской программы

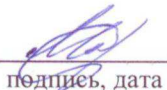
Научный руководитель


подпись, дата

проф-р, д-р техн. наук.
должность, ученая степень

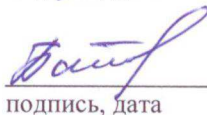
М. П. Баранова
инициалы, фамилия

Выпускник


подпись, дата

А. Р. Монгуш
инициалы, фамилия

Рецензент


подпись, дата

д-т, канд. техн. наук.
должность, ученая степень

Т. Н. Бастрон
инициалы, фамилия

Красноярск 2019