

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

Институт химии и инженерной экологии
Кафедра «Химия, химические процессы и технологии»
240801.65 «Машины и аппараты химических производств»

ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ

на тему «Разработка конструкции биореактора для переработки
твердых бытовых отходов (ТБО)»

Студент(ка)	М.А. Желтоухова	
	(И.О. Фамилия)	(личная подпись)
Руководитель	В.П. Щукин	
	(И.О. Фамилия)	(личная подпись)
Консультанты	А.Е. Краснослободцева	
	(И.О. Фамилия)	(личная подпись)
Нормоконтроль	К.Ш. Нуров	
	(И.О. Фамилия)	(личная подпись)
	В.В. Петрова	
	(И.О. Фамилия)	(личная подпись)

Допустить к защите

Заведующий кафедрой _____
(ученая степень, звание, И.О. Фамилия) (личная подпись)

«_____» _____ 20____ г.

Тольятти 2016

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»
ИНСТИТУТ ХИМИИ И ИНЖЕНЕРНОЙ ЭКОЛОГИИ
Кафедра «Химия, химические процессы и технологии»

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
_____ Г.И. Остапенко
(подпись) (И.О. Фамилия)
« ____ » _____ 20 ____ г.

ЗАДАНИЕ
на выполнение дипломного проекта

Студент(ка) Желтоухова Мария Александровна

- 1. Тема** «Разработка конструкции биореактора для переработки твердых бытовых отходов (ТБО)»
- 2. Срок предоставления законченной готовой работы** 16 июня 2016 г.
- 3. Исходные данные к проекту (работе):** Загрузка сырья 500 кг/сут.
- 4. Содержание текстового документа (перечень подлежащих разработке вопросов)** Аналитическая часть – Характеристика ТБО. Классификация отходов. Методы переработки и утилизации. Мировые тенденции. Технологическая часть – Процесс образования биогаза и его получение. Использование биогаза и биоудобрений. Расчетная часть - Конструкционный и технологический расчет. Экономическая часть - Расчет капитальных вложений (инвестиций) по проектному варианту. Расчет эффективности и проектных решений. Безопасность и экологичность проекта - Описание рабочего места, опасные и вредные производственные факторы и мероприятия по разработке безопасных условий труда.
- 5. Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)**
 - 5.1. Стадии процессов образования биогаза;
 - 5.2. Состав и свойства биогаза;

- 5.3.Соотношение различных методов переработки ТБО;
- 5.4.Технологическая схема;
- 5.5. Металлический реактор;
- 5.6. Детализовка металлического реактора;
- 5.7. Мокрый газгольдер переменного объема;
- 5.8. Перемешивающее устройство;
- 5.9. Технико-экономическое обоснование проекта;

6. Консультанты раздела

- 6.1 Технико-экономическое обоснование.
- 6.2 Безопасность и экологичность технического объекта.

7. Дата выдачи задания – «26» февраля 2016г.

Руководитель дипломного проекта	_____	<u>В.П.Щукин</u>
	(подпись)	(И.О. Фамилия)
Задание принял к исполнению	_____	<u>М.А.Желтоухова</u>
	(подпись)	(И.О. Фамилия)

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»
ИНСТИТУТ ХИМИИ И ИНЖЕНЕРНОЙ ЭКОЛОГИИ
Кафедра «Химия, химические процессы и технологии»

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

_____ Г.И. Остапенко

(подпись)

(И.О. Фамилия)

« ____ » _____ 20 ____ г.

КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

дипломного проекта

Студента: Желтоуховой Марии Александровны

по теме Разработка конструкции биореактора для переработки твердых бытовых отходов (ТБО)

Наименование раздела работы	Плановый срок выполнения раздела	Фактический срок выполнения раздела	Отметка о выполне нии	Подпись руководи теля
Введение	04.03.2016			
Аналитическая часть	14.03.2016			
Технологическая часть	28.03.2016			
Расчетная часть	28.04.2016			
Экономическая часть	05.05.2016			
Безопасность и экологичность	12.05.2016			

Нормоконтроль	21.05.2016			
Выполнение чертежей	29.05.2016			
Заключение	30.05.2016			
Предварительная защита	09.06.2016			
Оформление работы				

Руководитель выпускной
квалификационной работы

(подпись)

В.П.Щукин
(И.О. Фамилия)

Задание принял к исполнению

(подпись)

М.А.Желтоухова
(И.О. Фамилия)

АННОТАЦИЯ

Дипломная работа содержит 109 страницы, 31 таблицы, 9 графических листов.

Цель работы – Разработка конструкции биореактора для переработки твердых бытовых отходов (ТБО)

В литературном обзоре рассмотрен материал о характеристика ТБО и их классификации. Методы переработки и утилизации отходов. Мировые тенденции.

В расчетно-технологическом разделе произведёт расчет материального и теплового балансов, расчета вспомогательного оборудования выбрано основное оборудование. В результате внедрения нового оборудования биогазового комплекса для переработки ТБО, ожидаемая прибыль которого – 2400036 тыс. руб.

Дипломная работа выполнена в текстовом редакторе Microsoft Word 2010.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	10
АНАЛИТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ.....	12
1.1 Классификация отходов.....	12
1.2 Характеристика ТБО.....	12
1.3 Методы переработки, обезвреживания и утилизации ТБО.....	13
1.4 Переработка органических отходов.....	14
1.5 Анализ мировых тенденций.....	16
1.6 Вывод.....	19
ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ.....	21
2.1 Получение биогаза.....	21
2.2 Использование биогаза.....	25
2.3 Факторы, влияющие на эффективность установки.....	27
2.4 Биоудобрения.....	28
2.5 Вывод.....	29
РАСЧЕТНАЯ ЧАСТЬ.....	30
3.1 Материальный баланс.....	30
3.2 Тепловой баланс.....	32
3.3 Конструктивный и прочностной расчет реактора.....	35
3.3.1 Расчет объема реактора.....	36
3.3.2 Прочностной расчет реактора.....	37
3.3.3 Определение толщины стенки обечайки.....	38
3.3.4 Определение толщины стенки обечайки (рубашки).....	42
3.3.5 Расчет днища и крышки на прочность.....	42
3.3.6 Расчет днища корпуса на жесткость (устойчивость).....	43
3.3.7 Расчет днища рубашки.....	45

3.3.8 Укрепление отверстий.....	45
3.4 Подбор днища и крышки корпуса.....	51
3.4.1 Подбор днища корпуса.....	51
3.4.2 Подбор крышки корпуса.....	52
3.4.3 Подбор днища рубашки.....	52
3.4.4 Расчет размеров заготовки корпуса.....	53
3.4.5 Расчет размеров корпуса.....	53
3.5 Расчет и подбор опор.....	54
3.5.1 Определение максимальной массы аппарата.....	54
3.5.2 Определение массы продукта в аппарате или массы воды при гидроиспытаниях.....	55
3.5.3 Определение массы изоляции.....	55
3.5.4 Определение нагрузки на одну опору и выбор опор.....	55
3.5.5 Расчет опор.....	56
3.6 Расчет перемешивающего устройства.....	57
3.6.1 Определение диаметра мешалки.....	58
3.6.2 Определение основных размеров мешалки.....	58
3.6.3 Проверочный расчет мешалки.....	59
3.7 Вывод.....	61

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ

4.1 Описание производства и маркетинговый анализ.....	64
4.2 Расчёт годовой производственной мощности.....	67
4.3 Расчет капитальных вложений.....	67
4.4 Организация труда рабочих.....	70
4.5 Заработная плата рабочих.....	72
4.6 Расчёт себестоимости продукции.....	76
4.7 Расчет расходов на содержание и эксплуатацию оборудования.....	77

4.8 Расчет цеховых расходов.....	78
4.9 Расчёт экономической эффективности проектных решений.....	79
4.10 Вывод.....	80
БЕЗОПАСНОСТЬ И ЭКОЛОГИЧНОСТЬ ПРОЕКТА	
5.1 Характеристика технологического объекта.....	82
5.2 Идентификация профессиональных рисков.....	88
5.3 Методы и средства снижения профессиональных рисков.....	90
5.4 Обеспечение пожарной безопасности технического объекта.....	92
5.5 Разработка технических средств и организационных мероприятий по обеспечению пожарной безопасности технического объекта.....	95
5.6 Организационные (организационно-технические) мероприятия по предотвращению пожара.....	99
5.7 Обеспечение экологической безопасности технического объект.....	101
5.8 Вывод.....	104
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	107
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	108
ПРИЛОЖЕНИЕ А.....	113

ВВЕДЕНИЕ

С момента появления цивилизованного общества перед ним встала проблема охраны окружающей среды. Из-за промышленной, сельскохозяйственной и бытовой деятельности человека постоянно происходили изменения физических, химических и биологических свойств окружающей среды, причем большинство из этих изменений были весьма неблагоприятны.

В мировой практике накоплен достаточный опыт использования возобновляемых источников энергии, в том числе энергии биомассы. Наиболее перспективным газообразным топливом является биогаз, интерес к использованию которого в последние годы не только не убывает, но и продолжает возрастать.

Биогаз — горючий газ, образующийся при анаэробном метановом сбраживании биомассы и состоящий преимущественно из метана 55% - 75%, двуокиси углерода 25% - 45% и примесей сероводорода, аммиака, оксидов азота и других - менее 1%.

Высокое содержание метана в биогазе, а следовательно, и высокая теплота сгорания, предоставляют широкие возможности применения биогаза.

- для покрытия собственных энергетических нужд БГУ;
- сжигание в газовых горелках;
- газовые котлы на биогазе;
- двигатели, работающие на биогазе;
- газо-электрогенераторы.

Принципиально важные изменения в ближайшие десятилетия будут связаны с переходом на новые источники энергии. Прогрессирующий дефицит ископаемых топлив ставит перед современной наукой задачи, связанные с переработкой вторичного сырья и разработкой новых процессов, ориентированных на возобновляемые сырьевые и энергетические источники.

Целью данной работы является разработка малогабаритной установки для переработки пищевых отходов в биогаз и высокоэффективного биоудобрения, что обеспечивает практически безотходное производство.

АНАЛИТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

1.1 Характеристика ТБО

Твердые бытовые отходы (ТБО) – это отходы потребления, образующиеся в ходе бытовой деятельности населения, состоящие из материалов, непригодных для последующего использования в бытовых нуждах.[1]

К твердым бытовым отходам, учитывая норму накопления, относятся отходы, образующиеся в жилых фондах, включая отходы от текущего ремонта помещений, отходов продуктов сгорания в устройствах местного отопления, смет, опавшие листья, собираемые с дворовых территорий и крупногабаритные предметы домашнего обихода.

По использованию, различаются утилизируемые и не утилизируемые отходы. Для первых существует технология вторичной переработки и введения в дальнейший хозяйственный оборот, для вторых в настоящее время технология отсутствует.[2]

1.2 Классификация отходов

По происхождению:

- Отходы производства
- Отходы потребления

По агрегатному состоянию:

- Твердые
- Жидкие
- Газообразные

По классу опасности:

- 1-й чрезвычайно опасные
- 2-й высоко-опасные
- 3-й умеренно опасные
- 4-й малоопасные

- 5-й практически неопасные

1.3 Методы переработки, обезвреживания и утилизации ТБО

Существует несколько способов переработки, обезвреживания и утилизации твердых бытовых отходов:

1. Создание полигонов
2. Компост (переработка отходов в органическое удобрение),
 - в сетчатых камерах;
 - в вертикальных башнях;
 - на жалюзийных полках;
 - с продувкой воздуха в штабелях
3. Пиролиз (высокотемпературное сжигание отходов),
4. Сжигание отходов в топках с псевдо-ожиженным слоем,
5. Мусоросжигание,
6. Термические методы обезвреживания твердых бытовых отходов,
7. Рециклинг,
8. Биопереработка во вращающихся цилиндрических барабанах,
9. Вторичная переработка твердых бытовых отходов. [3]

Таблица 1.1 - Методы переработки ТБО в различных странах

Страна	% от общего накопления ТБО			
	Складирование на полигонах	Сжигание	Компостирование	Другие методы
Россия	96,0	3,7	0,8	—
Австрия	56,0	21,0	19,0	3,0
Бельгия	43,0	46,0	8,0	—
Великобритания	87,5	11,0	1,6	0,3

Продолжение таблицы 1.1

Страна	% от общего накопления ТБО			
	Складирование на полигонах	Сжигание	Компостирование	Другие методы
Венгрия	93,0	9,0	—	—
Италия	66,0	17,0	11,0	6,1
Дания	15,5	81,0	0,6	2,2
Канада	81,0	18,0	2,0	—
Нидерланды	45,0	41,0	16,0	1,3
США	86,0	15,0	0,2	0,7
Франция	45,3	42,0	13,0	0,8
ФРГ	8,0	35,0	6,0	—
Чехия	88,5	9,0	285	—
Швейцария	4,0	81,0	11,0	7,0
Швеция	34,0	57,0	8,9	0,2
Япония	27,0	71,0	0,4	2,9

1.4 Переработка органических отходов

Органическая фракция ТБО, полученная в результате сортировки, а также отходы ферм и очистных сооружений могут быть подвергнуты анаэробной переработке с получением метана и компоста, пригодного для дальнейшего использования.

Переработка органических веществ происходит в реакторах, где бактерии, производящие метан, перерабатывают органический субстрат в биогаз и биоудобрение. Биогаз – это газ, состоящий примерно из 55-70% метана (CH_4) и 45-30% углекислого газа (CO_2). Он образовывается в процессе анаэробного разложения органических субстратов, и, по сути, является продуктом обмена веществ бактерий. Анаэробное брожение – процесс распада органических соединений в условиях отсутствия кислорода.

Биогаз можно:

- Накапливать, перекачивать;
- Использовать как природный газ;
- Использовать для заправки автомобилей;
- Сжигать для производства тепловой и электрической энергии.

Дальнейшее подорожание газа неизбежно и вместо строительства дорогостоящих газопроводов, за меньшие средства, можно установить биогазовые комплексы, которые вырабатывают биогаз, стоимость которого в разы дешевле природного. Себестоимость биогаза– 300 долларов за 1000 м³, а из 1 м³ этого газа в электрогенераторе можно выработать до 2 кВт·ч электроэнергии, получая электричество без перепадов, как в общественной сети.[4]

Биореакторы чаще всего расположены вертикально, вместимость до 5000 м³, что примерно соответствует отходам, производимым населением в 185 000 человек. Для переработки большего количества отходов требуется два или более параллельных реактора. По окончании анаэробного брожения субстрат, при необходимости, пастеризуется и после этого полностью осушается в твердую массу, составляющую 35-50% от первоначального объема. В последующей стадии биомасса может быть подвергнута постаэрации и просеиванию для улучшения показателей хранения, эстетического вида и удобства использования.

Конечные продукты, биоудобрение, полностью переработано, стабилизировано и пригодно для дальнейшего использования. Биогаз же может быть использован для производства электроэнергии, топлива, сжигания.

Получившееся тепло можно использовать:

- Для получения пара;
- Для обогрева помещений;
- Для технологических целей.

На сегодняшний день в Европе сосредоточено около 44% мирового количества установок анаэробного сбраживания, в Северной Америке - 14%.

1.5 Анализ тенденций

Важным направлением обеспечения экологической безопасности и возможностей развития в городах является применение ресурсосберегающих технологий, базирующихся на комплексном использовании сырья, экономии ресурсов, максимально возможном вовлечении вторичных ресурсов в хозяйственный оборот, утилизации отходов производства и потребления.

Вторичные материальные и энергетические ресурсы в наибольшей степени образуются в крупных промышленных центрах, где имеются принципиальные возможности для их рециклинга и повторного применения. Однако проблематичность промышленной переработки ТБО состоит в сложности их морфологического состава. До настоящего времени нет единого мнения касательно того, какие из методов переработки отходов является наиболее рациональными. Большое развитие в мировой практике получил метод раздельного сбора ресурсоценных фракций твердых бытовых отходов: стекла, макулатуры, полимерных и металлических бутылок и банок, пищевых отходов. Рассортированные отходы из контейнеров легко подвергаются переработке.[5]

Достаточно распространенным способом обезвреживания отходов во всем мире является мусоросжигание. Этот способ широко применяется в странах с умеренным климатом и небольшим количеством ветреных дней в году, к которым относится и Россия. В большинстве европейских стран термическое обезвреживание - один из основных способов утилизации отходов, из-за законов запрещающих вывоз отходов на полигоны с содержанием органических веществ более 5 %. Именно поэтому в последние время в странах ЕС, США и Японии наблюдается тенденция к строительству новых и реконструкции уже существующих мусоросжигательных заводов с выработкой тепловой и (или) электрической энергии, то есть электростанций

на альтернативном топливе - ТБО. Однако, если эти заводы не оснащены мощной системой газоочистки, то происходит серьезное загрязнение атмосферы.

Заслуживает внимания и такой способ переработки ТБО, как пиролиз - термический метод разложения отходов при недостатке или отсутствии кислорода, в ходе которого сложные вещества разлагаются на более простые с образованием трех видов продуктов: газа, смолы и твердых углеродсодержащих соединений (пирокарбона).

Отходы, включая содержащуюся в них биомассу, следует считать приоритетным возобновляемым источником энергии. Поэтому наряду со сжиганием мусора актуальным стал метод обезвреживания бытового мусора путем биологической переработки с получением биоудобрения и биогаза. К сожалению, в России этот метод не так широко используется.

В нашей стране, по различным источникам, самым дешевым и распространённым остается способ утилизации отходов путем их захоронения на полигонах. Однако подавляющее большинство свалок и полигонов, как правило, совсем не отвечают природоохранным требованиям, что влечет за собой необратимые процессы масштабного экологического загрязнения. При этом на полигонах ежегодно безвозвратно большое количество макулатуры, черных и цветных металлов, полимерных материалов, пищевых отходов, стекла. Кроме того, полигоны занимают значительные территории земельных ресурсов, общая площадь которых составляет около 10 тыс. га.

Безусловно, количество ТБО, перерабатываемое в качестве вторичных материальных ресурсов, экологически и экономически целесообразно увеличивать. Однако проблематичность таких мероприятий связаны с целым рядом объективных причин, основной из которых является сильно варьирующееся в разных странах количество образовавшихся отходов на душу населения, что объясняется различными структурой потребления и подходами к сбору статистической информации. Кроме того, некоторые

страны включают в показатели бытовых отходов, образующихся на предприятиях малого бизнеса и в государственных фондах.

Если проанализировать статистические данные (Eurostat_news release, от 9 марта 2015 г.), то наиболее высокие показатели экологически и экономически направленной переработки ТБО имеют развитые страны.

Таблица 1.2 – Уровень переработки муниципальных отходов потребления в странах ЕС за 2015 год, в процентах.

Страны ЕС	Переработка	Сжигание	Компостирование	Захоронение
Германия	46	35	15	4
Бельгия	35	36	25	4
Швеция	34	50	15	1
Швейцария	33	48	18	1
Ирландия	34	38	5	23
Нидерланды	33	38	29	0
Словения	35	2	3	60
Дания	36	50	13	1
Франция	19	35	17	26
Болгария	0	1	0	99
Румыния	2	2	0	96

Если рассматривать ситуацию с пищевыми отходами, то можно отметить, что в некоторых зарубежных странах этот вид отходов сортируется уже на стадии их образования. Так, например, в США широко применяются измельчители пищевых отходов, оборудованные в кухне под мойкой. Измельченные таким способом отходы попадают в сточные воды и одновременно с ними удаляются. В Германии одновременно с измельчением используют сита (отсеивание), улавливающие отходы. Такими системами оборудованы целые жилые кварталы, которые имеют свои компактные биогазовые комплексы (непосредственно в домах), перерабатывающие

скопившиеся отходы в биогаз, при помощи которого подогревается вода и получается электроэнергия. Дома или жилые кварталы становятся в какой-то степени автономными, обеспечивая себя электроэнергией.[6]

Таким образом, главная сложность на пути к переработке твердо бытовых отходов - отсутствие в нашей стране системы раздельного сбора мусора, которая является главным условием для их глубокой переработки. Для успешного управления мусором следует учитывать опыт и технологии зарубежных стран. Так же, немаловажную роль имеет и просветительская работа с населением.

1.6 Вывод

Исходя из литературного обзора, можно сделать следующие выводы:

1. по своему составу ТБО содержат значительное количество ценных веществ;
2. существующие способы рекуперации, регенерации, утилизации, переработки и захоронения не достаточно хороши, не применимы для переработки пищевых отходов и не позволяют извлекать из других ТБО более 20% ценных веществ;
3. из-за наличия стадии смешения ТБО, все существующие мусороперерабатывающие заводы являются экономически нерентабельными; для повышения эффективности системы необходимо:
 - существенное снижение отходов, направляемых на свалки для захоронения и уменьшение тем самым губительного воздействия отходов на окружающую природную среду;
 - введение дифференцированного сбора ТБО, включая пищевые отходы;
 - создание, в пределах одного квартала пунктов дифференцированного сбора пищевых отходов;
 - организация технологии переработки пищевых отходов в биогаз, с последующим использованием остатка в качестве удобрений;

- локализовать сбор пищевых отходов и направлять их на переработку в биогаз в грунтовых или металлических реакторах;
- существенное снижение потребления не возобновляемых ресурсов и сохранение природы за счет возврата ценных веществ в производство в виде вторичного сырья.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

2.1 Процесс получение биогаза

В нетрадиционной энергетике особое место занимает переработка биомассы (органических сельскохозяйственных и бытовых отходов) метановым брожением с получением биогаза, содержащего около 70% метана, и обеззараженных органических удобрений. Чрезвычайно важна утилизация биомассы в сельском хозяйстве, где на различные технологические нужды расходуется большое количество топлива и непрерывно растет потребность в высококачественных удобрениях. Всего в мире в настоящее время используется или разрабатывается около 60 разновидностей биогазовых технологий [7].

Биогаз - это смесь метана и углекислого газа, образующаяся в процессе анаэробного (без доступа воздуха) сбраживания в специальных реакторах - метантэнках, устроенных и управляемых таким образом, чтобы обеспечить максимальное выделение метана. Энергия, получаемая при сжигании биогаза, может достигать от 60 до 90% той, которой обладает исходный материал. Другое - и очень важное - достоинство процесса переработки биомассы состоит в том, что в его отходах содержится значительно меньше вредных микроорганизмов, чем в исходном материале [8].

Метановое брожение протекает при средних (мезофильное) и высоких (термофильное) температурах. Наибольшая производительность достигается при термофильном метановом брожении. Для нормального протекания процесса анаэробного сбраживания необходимы оптимальные условия в реакторе: температура, анаэробные условия, достаточная концентрация питательных веществ, допустимый диапазон значений pH, отсутствие или низкая концентрация токсичных веществ [9].

Температура в значительной степени влияет на анаэробное сбраживание органических материалов [10].

Температурные режимы:

- психрофильный режим идет при температуре от 8°C до 25°C (оптимальная – 23 °C);
- мезофильный — при от 25°C до 40 °C (оптимальная – 37 °C);
- термофильный — при от 45 C° до 60 °C (оптимальная – 56 °C).

Наилучшим образом сбраживание происходит при температуре 30-40°C (развитие мезофильной бактериальной флоры), а также при температуре 50-60°C (развитие термофильной бактериальной флоры).[11]

Таблица 2.1 - Содержание азота и соотношение C/N в различных отходах

Вид отходов	Содержание общего N (%)	Соотношение C/N
Животноводческие фермы		
Смесь отходов боен	8-12	2,2
Птичий помёт	5,4	-
Навоз овечий	3,9	-
свиной	3,9	-
лошадиный	2,5	26
коровий	1,9	19
Растительные отходы		
Солома	1,2	49
Отходы подсолнечника	1,1	57
Сырые опилки	0,27	210

Этапы образования биогаза.

Биогаз является продуктом обмена веществ бактерий, образующийся вследствие разложения ими органической массы. Процесс разложения можно разделить на 4 этапа, в каждом из которых принимают участие множество разных групп бактерий: [12]

1. На первом этапе аэробные бактерии перестраивают высокомолекулярные органические субстанции (белок, углеводы, жиры, целлюлозу) с помощью энзимов на низкомолекулярные соединения, такие как сахар, аминокислоты, жирные кислоты и воду. Энзимы, выделенные

гидролизными бактериями, прикрепляются к внешней стенке бактерий (так называемые экзоферменты) и при этом расщепляют органические составляющие субстрата на малые водорастворимые молекулы. Полимеры (многомолекулярные образования) превращаются в одномеры (отдельные молекулы). Этот процесс, получивший название гидролиз, имеет медленное течение и зависит от внеклеточных энзимов как например целлюлоза, амилазы, протеазы и липазы. На процесс влияет уровень pH (4,5-6) и время пребывания в резервуаре.

2. Далее расщеплением занимаются кислотообразующие бактерии. Отдельные молекулы проникают в клетки бактерий, где они продолжают разлагаться. В этом процессе частично принимают участие анаэробные бактерии, употребляющие остатки кислорода и образующие тем самым необходимые для метановых бактерий анаэробные условия. При уровне pH 6-7,5 вырабатываются в первую очередь нестойкие жирные кислоты (карбоновые кислоты - уксусная, муравьиная, масляная, пропионовая кислоты), низкомолекулярные спирты - этанол и газы - двуокись углерода, углерод, сероводород и аммиак. Этот этап называют фазой окисления (уровень pH понижается).

3. После этого кислотообразующие бактерии из органических кислот создают исходные продукты для образования метана, а именно: уксусную кислоту, двуокись углерода и углерод. Такие бактерии, понижающие количество углерода, являются очень чувствительными к температуре.

4. На последнем этапе образуется метан, двуокись углерода и вода в равных пределах как продукт жизнедеятельности метановых бактерий с уксусной и муравьиной кислоты, углерода и водорода. 90% всего метана вырабатывается на этом этапе, 70% происходит из уксусной кислоты. Таким образом, образование уксусной кислоты (т.е. 3 этап расщепления) является фактором, определяющим скорость образования метана. Метановые бактерии исключительно анаэробные. Оптимальный уровень pH составляет

7, при чем амплитуда температурных колебаний может быть в пределах 6,6-8.

Получение биогаза экономически оправдано и является предпочтительным при переработке постоянного потока отходов (стоки животноводческих ферм, скотобоев, растительных отходов и т. д.). Экономичность заключается в том, что нет нужды в предварительном сборе отходов, в организации и управлении их подачей; при этом известно, сколько и когда будет получено отходов. [13]

Таблица 2.2. Состав и свойства биогаза

Показатель	CH ₄	Компоненты CO ₂	H ₂	H ₂ S	Смесь 60%CH ₄ + 40%CO ₂
Объемная доля, %	56-70	28-43	1,2	2	100
Объемная теплота сгорания, МДж/м ³	36,8	11,2	23,6	-	22,6
Температура воспламенения, ⁰ С	655-755	-	575	-	655-755
Плотность: нормальная г/л критическая, г/л	0,74 1,04	1,99 4,08	0,08 3,2	1,64 3,47	1,3 3,10

Полученный на полигонах ТБО биогаз может использоваться как топливный материал для бытовых целей и сельского хозяйства, а также для выработки электроэнергии. Одновременно утилизация биогаза с полигонов позволяет улучшать экологическую обстановку на них, уменьшить загрязнение атмосферы и практически исключить самовозгорание отходов.

Остаток, образующийся в процессе получения биогаза, содержит большое содержание ценных веществ и может быть использован как удобрение. Состав остатка, полученного при анаэробной переработке отходов, зависит от химического состава исходного сырья, загружаемого в реактор. В условиях, благоприятных для анаэробного сбраживания, обычно разлагается около 70% органических веществ, а 30% содержится в остатке.

2.2 Использование биогаза

В процессе переработки органических отходов в биогазовых установках получают два основных продукта – биогаз и сброженную биомассу, которые можно использовать в сельском хозяйстве, в промышленности и в быту. Основным способом применения биогаза является превращение его в источник тепловой, механической и электрической энергии. Однако крупные биогазовые установки можно использовать для создания производств по получению ценных химических продуктов для народного хозяйства.[14]

На биогазе могут работать газо-сжигающие устройства, вырабатывающие энергию, которая используется для отопления, освещения, снабжения кормоприготовительных цехов, для работы водонагревателей, газовых плит и двигателей внутреннего сгорания.

Наиболее простым способом является сжигание биогаза в газовых горелках, так как газ можно подводить к ним из газгольдеров под низким давлением, но более предпочтительно использование биогаза для получения механической и электрической энергии. Это приведет к созданию собственной энергетической базы, обеспечивающей эксплуатационные нужды хозяйств.

Газовые котлы на биогазе. Современные бытовые и промышленные газовые котлы, как правило, не предназначены для работы на низкокалорийном биогазе. Ситуация осложняется еще тем, что в биогазе может содержаться углекислый газ в значительных концентрациях. Одним из

способов решения этой задачи применить специально разработанные щелевые подовые горелки для сжигания биогаза. При разработке конструкции горелок учтены специфические особенности горения биогаза (малые пределы устойчивости пламени и т.д). Горелки изготавливаются из специализированных сталей, имеют съемные сопла, которые не подвержены сероводородной коррозии, а также имеют специальные устройства для стабилизации пламени.

Двигатели, работающие на биогазе. Биогаз можно применять в качестве топлива для автомобильных двигателей, причем эффективность его в этом случае зависит от количества содержащегося метана и наличия примесей. На метане могут работать как карбюраторные, так и дизельные двигатели.

Газо-электрогенераторы. Опыт показывает, что биогаз экономически целесообразно использовать в газо-электрогенераторах, при этом сжигание 1 м³ биогаза позволяет вырабатывать от 1,6 до 2,3 кВт электроэнергии.

Газовые горелки. Основой большинства бытовых приборов, в которых можно использовать биогаз, является горелка. В большинстве случаев предпочтительны горелки атмосферного типа, работающие на предварительно смешанном с воздухом биогазе. Потребление газа горелками сложно подсчитать заранее, поэтому конструкция и настройка горелок должны определяться для каждого индивидуального случая экспериментальным путём. По сравнению с другими газами биогазу нужно меньше воздуха для возгорания. Следовательно, стандартные газовые приборы нуждаются в более широких жиклерах для прохождения биогаза. Для полного сгорания 1 литра биогаза необходимо около 5,7 литров воздуха, в то время как для бутана – 30,9 литра и для пропана – 23,8 литра [15].

Потребление биогаза. Бытовые газовые горелки потребляют 0,2 – 0,45 м³ биогаза в час, а промышленные – от 1 до 3 м³ биогаза в час. Необходимый объем биогаза для приготовления пищи может быть определен на основании времени, ежедневно затрачиваемого на приготовление пищи.

Таблица 2.3. Расход биогаза для бытовых нужд [16].

Горелка	Назначение	Использование биогаза, м ³
Бытовая	Приготовление порции пищи для одного человека	0,15 – 0,3
Бытовая	Кипячение воды	0,03 – 0,05
Бытовая	Отопление помещения	0,2 в сутки

2.3 Факторы, влияющие на эффективность брожения

На эффективность брожения влияют факторы:

- соотношение С : N : P;
- частота подачи субстрата;
- замедляющие вещества;
- стимулирующие добавки;
- влажность среды;
- площадь поверхности частиц сырья;
- температура;
- уровень pH;

Площадь поверхности частиц сырья. Принципиальным является, что чем меньше частички субстрата, тем лучше. Чем больше площадь взаимодействия для бактерий и чем более волокнистый субстрат, тем легче и быстрее бактериям разлагать субстрат. Кроме того, его проще перемешивать, смешивать и подогревать без образования плавающей корки или осадка. Измельченное сырье имеет влияние на количество произведенного газа через длительность периода брожения. Чем короче период брожения, тем лучше должен быть измельчен материал. При достаточно длительном периоде брожения количество выработанного газа снова увеличится. [17]

Температура. Наилучшим образом сбраживание протекает при температуре 35–40 °С (развитие мезофильной бактериальной флоры), а также

при температуре 50–60 °C (развитие термофильной бактериальной флоры), однако все три режима имеют как свои преимущества, так и недостатки. Режимы с более высокими температурами требуют существенных затрат энергии на поддержание оптимальной температуры, зато за счет сокращения продолжительности сбраживания удастся значительно уменьшить объем биореактора и таким образом увеличить производительность биогазовой установки.

Уровень pH. Для нормального протекания брожения субстрата нужна слабощелочная реакция среды (pH=7–8). При оптимальной (ровной) активности кислотообразующих и метановых бактерий (то есть при установившемся процессе брожения) значение pH поддерживается в желательных пределах «автоматически».

2.4 Биудобрения

Хранение биудобрений:

- В жидком виде. Преимущество такого метода хранения – малые потери азота. Недостатки - капиталовложения для приобретения емкости для хранения. Так же при хранении удобрения в жидком виде появляется необходимость приобретения транспорта для его транспортировки к потребителю.
- Высушивание. Важным преимуществом такого метода является уменьшение объема и веса удобрения. Недостатком является потеря около 90% неорганического азота из удобрения, а это около 50% от общего содержания азота.[18]
- Компостирование. Главным преимуществом такого метода хранения является сокращение потерь ценных веществ удобрения по сравнению с высушиванием.[18].

Использование биудобрений. После переработки в метантэнках органические отходы превращаются в биомассу, содержащую значительное количество ценных веществ, которая может быть использована в качестве

удобрения и кормовых добавок. Образующиеся при сбраживании гумусные материалы значительно улучшают физические свойства почвы, а минеральные вещества служат источником энергии и питанием для деятельности почвенных микроорганизмов, что способствует повышению усвоения питательных веществ растениями [19].

2.5 Вывод

Исходя из аналитической части можно сделать следующие выводы:

1. процесс образования метана протекает в четыре этапа:
 - гидролиз (экоэнзимы, бактерии окисления);
 - ацидогенез (бактерии окисления);
 - ацетогенез (бактерии, участвующие в образовании уксусной кислоты);
 - метаногенез (бактерии, участвующие в образовании метана).
2. Анаэробное сбраживание, образующее в процессе биогаз, может протекать в различных температурных режимах:
 - психофильный;
 - мезофильный;
 - термофильный.
3. Основными способами применения биогаза является превращение его в источник тепловой, механической и электрической энергии.
4. Биогаз имеет в своем составе небольшое количество сероводорода и влаги, которое, в зависимости от его дальнейшего применения, очищают при помощи специальных аппаратов для очистки биогаза.
5. Образование биогаза протекает параллельно с образованием высокоэффективного биоудобрения, которое имеет различные способы хранения:
 - хранение в жидком виде;
 - высушивание;
 - компостирование.

РАСЧЕТНАЯ ЧАСТЬ

3.1 Материальный баланс

Ежедневно в биореактор загружаются пищевые отходы, масса которых равна 500 кг.

Из 1т сухого вещества выделяется от 340 до 500 м³ биогаза, соответственно, из 1 кг – 0,34-0,5 м³.

Известно, что 70% пищевых отходов разлагаются, а остальные 30% остается в остатке.

Рассчитаем количество разложившихся отходов:

$$M_{раз} = \frac{m \cdot C}{100\%} = \frac{500 \cdot 70}{100} = 350 \text{ кг}, \quad (3.1)$$

где m – масса пищевых отходов, кг;

C – количество разложившихся пищевых отходов.

Рассчитаем количество отходов оставшихся в остатке:

$$M_{ост} = m - M_{раз} = 500 - 350 = 150 \text{ кг}, \quad (3.2)$$

где m – масса пищевых отходов, кг;

$M_{ост}$ – масса разложившихся отходов, кг.

Далее ведем расчет на массу разложившегося вещества по формуле (3.3)

Выход биогаза в сутки составит:

$$V_{вых.} = \frac{(M_{раз} \cdot 0,34) + (M_{ост} \cdot 0,5)}{2} = \frac{(350 \cdot 0,34) + (150 \cdot 0,5)}{2} = 147 \text{ м}^3. \quad (3.3)$$

Биогаз состоит из: метана – 70%, углекислый газ – 29%, сероводород – 1%. Рассчитаем содержание по объему каждого компонента:

$$V_{CH_4} = \frac{V_{вых.} \cdot C_{CH_4}}{100} = \frac{147 \cdot 70}{100} = 102,9 \text{ м}^3, \quad (3.4)$$

$$V_{CO_2} = \frac{V_{вых.} \cdot C_{CO_2}}{100} = \frac{147 \cdot 29}{100} = 42,63 \text{ м}^3, \quad (3.5)$$

$$V_{H_2S} = \frac{V_{вых.} \cdot C_{H_2S}}{100} = \frac{147 \cdot 1}{100} = 1,47 \text{ м}^3, \quad (3.6)$$

где C_{CH_4} – объем метана в биогазе;

C_{CO_2} – объем углекислого газа в биогазе;

C_{H_2S} – объем сероводорода в биогазе.

Масса образовавшегося биоудобрения – 150кг.

Составим сравнительную таблицу 3.1 - содержание элементов в биоудобрении (в граммах на кг сухого вещества).[20]

Таблица 3.1 - Содержание элементов в биоудобрении (в граммах на кг сухого вещества)

Сырье	Фосфат	Калий	Кальций	Магний	Азот
Навоз	3,06	5,59	3,24	0,97	1,69
Навоз и растительные отходы	6,40	7,96	5,14	1,96	3,39
Растительные отходы	6,66	8,88	5,18	2,22	3,70

Определим содержание фосфата по формуле:

$$M_{\phi} = m_{\text{биоуд}} \cdot n_{\phi} = 150 \cdot 0,00666 = 0,999 \text{ кг} \quad (3.7)$$

Определим содержание калия по формуле:

$$M_{\kappa} = m_{\text{биоуд}} \cdot n_{\kappa} = 150 \cdot 0,00888 = 1,332 \text{ кг}. \quad (3.8)$$

Определим содержание кальция по формуле:

$$M_{\text{кальц}} = m_{\text{биоуд}} \cdot n_{\text{кальц}} = 150 \cdot 0,00518 = 0,777 \text{ кг}. \quad (3.9)$$

Определим содержание магния по формуле:

$$M_{\text{м}} = m_{\text{биоуд}} \cdot n_{\text{м}} = 150 \cdot 0,00222 = 0,333 \text{ кг}. \quad (3.10)$$

Определим содержание азота по формуле:

$$M_{\text{а}} = m_{\text{биоуд}} \cdot n_{\text{а}} = 150 \cdot 0,0037 = 0,555 \text{ кг}. \quad (3.11)$$

где $m_{\text{биоуд}}$ - масса образовавшегося биоудобрения, кг;

n_{ϕ} – содержание фосфата в биоудобрении, г/кг;

n_{κ} – содержание калия в биоудобрении, г/кг;

$n_{\text{кальц}}$ – содержание кальция в биоудобрении, г/кг;

n_m – содержание магния в биоудобрении, г/кг;

n_a – содержание азота в биоудобрении, г/кг.

Определяем массовое содержание сероводорода, метана и углекислого газа в биогазе:

$$M_{CH_4} = \frac{M_{раз} \cdot V_{CH_4}}{V_{вых}} = \frac{350 \cdot 102,9}{147} = 245 \text{ кг} \quad (3.12)$$

$$M_{CO_2} = \frac{M_{раз} \cdot V_{CO_2}}{V_{вых}} = \frac{350 \cdot 42,63}{147} = 101,5 \text{ кг} \quad (3.13)$$

$$M_{H_2S} = \frac{M_{раз} \cdot V_{H_2S}}{V_{вых}} = \frac{350 \cdot 1,47}{147} = 3,5 \text{ кг} \quad (3.14)$$

После полученных данных составим таблицу 3.2 - материальный баланс.

Таблица 3.2 - Материальный баланс

Компоненты	Приход, (кг)	Компоненты	Расход, (кг)
Пищевые отходы	500	CH ₄	245
		CO ₂	101,5
		H ₂ S	3,5
		Биомасса	150
Итого:	500	Итого:	500

По данным таблицы, можно сделать вывод, что масса пищевых отходов, поступающих на переработку, равна сумме масс получаемого биогаза и биомассы.

3.2 Тепловой баланс

Для расчета используются различные исходные данные, приведенные в таблице 3.3 – Исходные данные

Таблица 3.3 – Исходные данные

№ п/п	Термины	Условное обозначение	Данные	Размерность
1	Температура поступающего в реактор пищевых отходов	T_1	20	$^{\circ}\text{C}$
2	Температура уходящего из реактора биогаза	T_2	50	$^{\circ}\text{C}$
3	Температура уходящей биомассы из реактора	T_3	50	$^{\circ}\text{C}$
4	Теплоемкость метана	$C_{p\text{CH}_4}$	2,23	кДж/кг
5	Теплоемкость углекислого газа	$C_{p\text{CO}_2}$	0,838	кДж/кг
6	Теплоемкость сероводорода	$C_{p\text{H}_2\text{S}}$	1,06	кДж/кг
7	Теплоемкость биомассы	$C_{p\text{биомас}}$	4,19	кДж/кг
8	Минимальный коэффициент теплоотдачи при свободном движении (вода-вода)	K	140	$\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{K})$
9	Разность температур горячей воды на входе и выходе из водогрейного котла	ΔT	5	$^{\circ}\text{C}$

Рассчитаем количество тепла, вносимое в реактор с пищевыми отходами:

$$Q_1 = m \cdot C_p \cdot T_1 = 500 \cdot 4,19 \cdot 20 = 41900 \text{ кДж}, \quad (3.15)$$

где C_p – теплоёмкость пищевых отходов, кДж/кг · К;

T_1 – температура поступающих в реактор пищевых отходов, $^{\circ}\text{C}$.

Рассчитаем количество тепла уносимого с биогазом:

$$Q_2 = m \cdot C_p \cdot T_2 = 350 \cdot 1,815 \cdot 50 = 31763 \text{ кДж}, \quad (3.16)$$

где T_2 – температура биогаза уходящего из реактора.

Рассчитаем теплоёмкость биогаза:

$$Cp = C_{CH_4} \cdot Cp_{CH_4} + C_{CO_2} \cdot Cp_{CO_2} + C_{H_2S} \cdot Cp_{H_2S} = 0,7 \cdot 2,23 + 0,29 \cdot 0,838 + 0,1 \cdot 1,06 = 1,815 \text{ кДж}, \quad (3.17)$$

где Cp_{CH_4} – теплоёмкость метана, Дж/кг;

Cp_{CO_2} – теплоёмкость двуокиси углерода, кДж/кг;

Cp_{H_2S} – теплоёмкость сероводорода, кДж/кг.

Количество тепла уносимого с биомассой:

$$Q_3 = m \cdot Cp_{\text{биомас}} \cdot T = 150 \cdot 4,19 \cdot 50 = 31425 \text{ кДж}, \quad (3.18)$$

где $Cp_{\text{биомас}}$ – теплоёмкость биомассы, кДж/кг · К;

T_3 – температура биомассы уходящей из реактора, С°.

Тепловой баланс реактора рассчитываем по формуле:

$$Q_1 + Q_4 = Q_2 + Q_3 + Q_{\text{п}}, \quad (3.19)$$

где Q_4 – тепло вносимое горячей водой при подогреве;

$Q_{\text{п}}$ – тепловые потери в окружающую среду.

Примем тепловые потери в окружающую среду 5%, от вносимого тепла горячей водой, при подогреве тогда получаем:

$$Q_4 = 1,05 \cdot (Q_2 + Q_3 - Q_1) = 1,05 \cdot (31763 + 31425 - 41900) = 22352 \text{ кДж}. \quad (3.20)$$

Таблица 3.4 - Тепловой баланс

Компоненты	Приход, (кДж/сутки)	Компоненты	Расход, (кДж/сутки)
Пищевые отходы	41900	Биогаз	31763
Горячая вода	22352	Биомасса	31425
Компоненты	Приход, (кДж/сутки)	Компоненты	Расход,
(кДж/сутки)			

Рассчитаем поверхность теплообмена необходимого для подогрева реактора горячей водой. Определим количество тепла, передаваемое

реактору:

$$Q = Q_4 \div 24 \div 3600 = 0,259 \text{ кВт}. \quad (3.21)$$

Тогда поверхность теплообмена рассчитываем по формуле:

$$F = Q \div (K \cdot \Delta T) = 259 \div (140 \cdot 5) = 0,37 \text{ м}^2, \quad (3.22)$$

где K – минимальный коэффициент теплоотдачи при свободном движении (вода-вода), Вт/(м² · К);

ΔT – разность температур горячей воды на входе и выходе из водогрейного котла, С°.

3.3 Конструктивный и прочностной расчет реактора

3.3.1 Расчет объема реактора.

Выбираем якорную мешалку разъемную. Форма нижней части устройства должна соответствовать форме днища аппарата. Оптимальное число оборотов мешалки составляет $n = 150$ об/мин., получаем $n = 2$ об/сек. Во избежание зарастания внутренней поверхности мешалки плёнкой, аппарат должен иметь минимальное количество внутренних устройств.

Из таблицы стандартных значений принимаем диаметр нашего аппарата равным 2000 мм, высоту аппарата 3000 мм. [22] Так как среда в нашем аппарате не превышает значение вязкости равной $3 \cdot 10^{-3}$ Па·с, то редуктор выбираем из стандартных значений. Выбираем электродвигательную установку мощностью $P = 1,1$ кВт, частота вращения входного вала редуктора $n_{\text{вх}} = 750$, об/мин, частота вращения выходного вала редуктора $n_{\text{вых}} = 150$, об/мин. [23]

Передаточное число определяется по формуле:

$$i_N = n_{\text{вх}} \div n_{\text{вых}} = 750 \div 150 = 5 \text{ об / мин.} \quad (3.23)$$

Рассчитаем объем реактора:

$$V = V_1 + V_2, \quad (3.24)$$

$$V_1 = \frac{4}{3} \pi R^3 = \frac{4}{3} \cdot 3,14 \cdot 1 = 4,2 \text{ м}^3, \quad (3.25)$$

$$V_2 = \pi R^2 \cdot h = 3,14 \cdot 1 \cdot 1 = 3,14 \text{ м}^3, \quad (3.26)$$

$$V = 4,2 + 3,14 = 7,3 \text{ м}^3. \quad (3.27)$$

Принимаем объем аппарата равным 7 м³.

3.3.2 Прочностной расчёт реактора

Имеется вертикальный аппарат с перемешивающим устройством.

Для изготовления аппарата выбрана низколегированная сталь 09Г2С, для изготовления рубашки черная сталь ВСт3. Среда неагрессивная. Аппарат имеет стандартную эллиптическую крышку сверху на фланцевом соединении и стандартное приварное эллиптическое днище. [25] Все швы выполнены автоматической сваркой с длиной контролируемых швов 100%. [26] Аппарат снабжён рубашкой для обогрева продукта, находящегося в нём. Греющим агентом в рубашке служит горячая вода.

Также аппарат имеет 5 отверстий:

- М - для привода механического устройства (d=400мм),
- П - для перелива продукта (d=150мм),
- Р - для выхода продукта (d=150мм),
- Д - технологическое (d=100мм),
- Л - смотровой люк (d=200мм).

Рубашка также имеет два отверстия: для входа и выхода воды, d=50мм каждое, М2 и М1 соответственно.

Аппарат работает без давления (скачек составляет P=0,1 МПа).

Таблица 3.5 – Термины, используемые в расчете

Термины	Условное обозначение
Безразмерный коэффициент	B ₁
Сумма прибавок к расчётной толщине стенки, м (мм)	C
Прибавка для компенсации коррозии, м (мм)	C ₁
Прибавка для компенсации минусового допуска, м (мм)	C ₂

Продолжение таблицы 3.5

Термины	Условное обозначение
Внутренний диаметр аппарата, м (мм)	D
Внутренний диаметр рубашки, м (мм)	D _p
Расчётное внутреннее избыточное и наружное давление, МПа	P
Допускаемое внутреннее избыточное и наружное давление, МПа	[P]
Допускаемое наружное давление из условия устойчивости в пределах упругости, МПа	[P] _е
Допускаемое наружное давление из условия прочности, МПа	[P] _п
Длина цилиндрической части аппарата, м (мм)	L _ц
Расчётная длина обечайки, м (мм)	L
Исполнительная толщина стенки обечайки, м (мм)	S
Расчётная толщина стенки обечайки, м (мм)	S _p
Модуль продольной упругости, МПа	E
Высота выпуклой части днища (крышки), без учёта цилиндрической части, м (мм)	H
Длина цилиндрической части отбортовки днища (крышки), мм	h
Радиус кривизны в вершине днища (крышки) по внутренней поверхности, м (мм)	R
Коэффициент прочности сварных швов	φ
Коэффициент запаса устойчивости	n _y
Фактический изгибающий момент, Мн/м	M
Осевое сжимающее усилие, Мн	F
Поперечное усилие, Мн	Q

3.3.3 Определение толщины стенки цилиндрической обечайки (аппарата)

Так как аппарат работает без давления, а его скачек составляет $P=0,1$ МПа, то расчет ведем по нему.

Для тонкостенных цилиндрических обечаек, расчётную толщину определяют: [28]

$$S_p = \max \{ K_2 \cdot D \cdot 10^{-2}; 1,1PD \div 2[\sigma] \} \quad (3.28)$$

$$S_{p1} = 1,1 \cdot PD \div 2[\sigma] = 1,1 \cdot 0,1 \cdot 2000 \div 2 \cdot 142 = 1,55 \text{ мм}, \quad (3.29)$$

Коэффициент K_2 в зависимости от K_1 и K_3 определяют по номограмме, приведённой на рисунке 3.1

Значения коэффициентов находят:

$$K_1 = n_y \cdot P \div 2,4 \cdot 10^{-6} \cdot E = 2,4 \cdot 0,1 \div 2,4 \cdot 10^{-6} \cdot 1,91 \cdot 10^5 = 2,09, \quad (3.30)$$

$$K_2 = L \div D, \quad (3.31)$$

$$L = L_y + 0,25D \div 3 = 900 + 0,25 \cdot 2000 \div 3 + 0,25 \cdot 1000 \div 3 = 1066,7 \text{ мм}, \quad (3.32)$$

$$K_2 = 1066,7 \div 1000 = 1,067. \quad (3.33)$$

По номограмме определяем $K_2=0,6$.

Определяем расчетную толщину для тонкостенной цилиндрической обечайки:

$$S_{p2} = K_2 \cdot D \cdot 10^{-2} = 0,6 \cdot 2000 \cdot 10^{-2} = 6 \text{ мм}. \quad (3.34)$$

Выбираем из $S_{p1}=1,55$ мм и $S_{p2}=6$ мм максимальное значение $S_p=6$ мм.

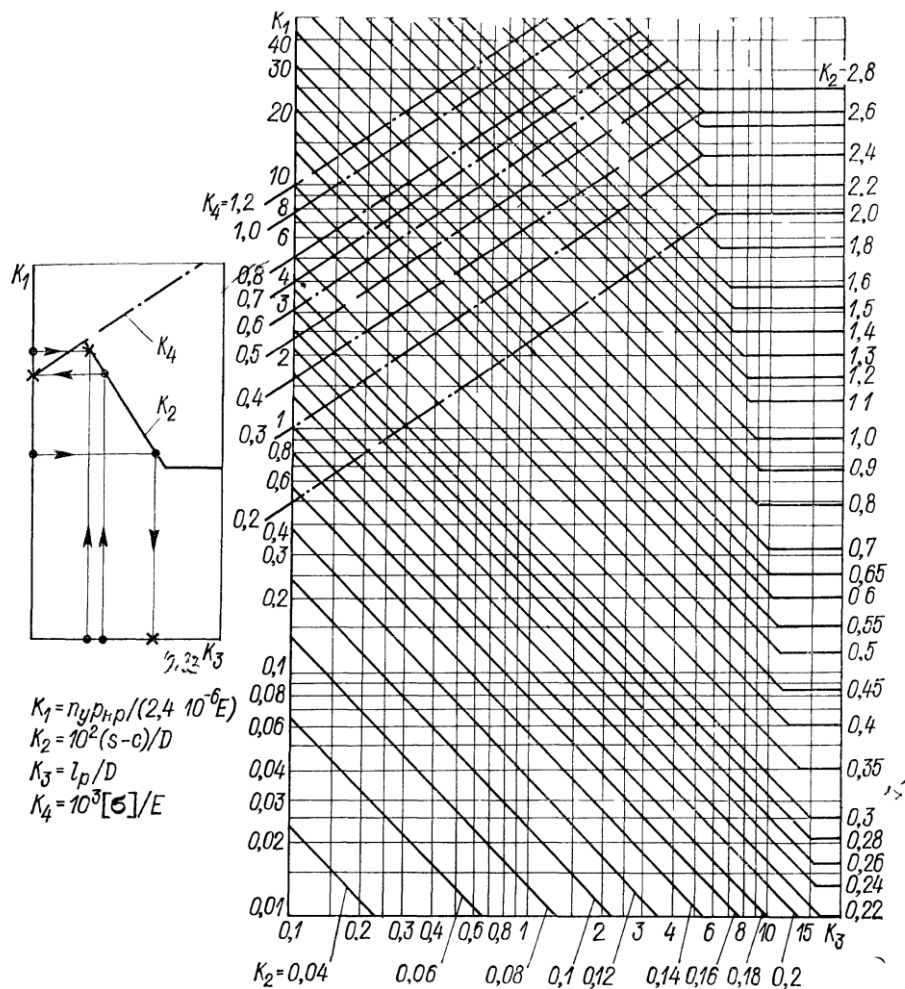


Рисунок 3.1 - Номограмма для расчёта на устойчивость в пределах упругости обечаек, работающих под наружным давлением.

После определения S_p определяют исполнительную толщину стенки S : [29]

$$S = S_p + C, \quad (3.35)$$

$$C = C_1 + C_2 + C_3, \quad (3.36)$$

где C_1 – прибавка для компенсации коррозии и эрозии;

C_2 – прибавка для компенсации минусового допуска по толщине листа, из которого изготавливают данный элемент;

C_3 – технологическая прибавка, учитывающая утонение элемента при его изготовлении.

Рассчитаем прибавку для компенсации коррозии и эрозии:

$$C_1 = \pi \cdot \tau = 0,01 \cdot 10 = 0,1 \text{ мм}. \quad (3.37)$$

Сделаем несколько пояснений по прибавке C_2 . Листовая сталь выпускается на специализированных предприятиях. Согласно ГОСТ сортамент листовой стали по толщине составляет: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18...40 мм. Очевидно, что абсолютно точно изготовить листы указанных размеров по толщине невозможно. Существуют определённые допуски, которые стандартизированы. Одним из правил при расчётах на прочность элементов сосудов и аппаратов является положение о том, что необходимо исходить из неблагоприятных возможных вариантов. В данном случае неблагоприятным вариантом является уменьшение толщины листа на величину допуска. Поэтому в расчётах закладывается поправка C_2 , численные значения которой определяют согласно ГОСТам, изложенным в таблице 3.6 – Сортамент листовой стали и прибавки для определения минусового допуска. [30]

Таблица 3.6 - Сортамент листовой стали и прибавка для определения минусового допуска

Исполнительная толщина стальных листов m (мм)	Значения минусового допуска C_2 , m (мм)
0,003 (3)	0,00022 (0,22)
0,004 (4)	0,00040 (0,40)
0,005 (5)	0,00050 (0,50)
0,006 (6)	0,00060 (0,60)
0,008 (8)	0,00080 (0,80)
0,010 (10)	0,00080 (0,80)
0,012 (12)	0,00080 (0,80)
0,014 (14)	0,00080 (0,80)
0,016 (16)	0,00080 (0,80)
0,018 (18)	0,00080 (0,80)
0,020 (20)	0,00080 (0,80)

Технологическую прибавку C_3 учитывают только в тех случаях, когда происходит уменьшение исходной толщины листа при особом изготовлении аппаратов, например, при горячей штамповке. При изготовлении обечаек (как правило, это делается на вальцах) уменьшение толщины листа практически не происходит и в этом случае $C_3=0$. А вот стандартные эллиптические днища и крышки изготавливают горячей штамповкой. Значение C_3 в этом случае составляет 15% от толщины листа, из которого изготавливается днище или крышка. [31]

$$C_2 = 0,6 \text{ мм для } S_p = 6 \text{ мм}$$

$$S \geq S_p + C_1 + C_2 = 6 + 0,1 + 0,6 = 6,7 \text{ мм} \quad (3.38)$$

Округляем до ближайшего стандартного значения $S = 8 \text{ мм}$, $C_2 = 0,8 \text{ мм}$,

$$C = 0,8 + 0,1 = 0,9 \text{ мм}.$$

Делаем проверку на прочность:

$$P \leq [P] \quad (3.39)$$

Допускаемое наружное давление определяют по формуле:

$$[P] = \frac{[P]_n}{\sqrt{1 + ([P]_n \div [P]_E)}} \quad (3.40)$$

В свою очередь $[P]_n$ и $[P]_E$ определяются по формулам:

$$[P]_n = \frac{2[\sigma] \cdot (S - C)}{D + S - C} = \frac{2 \cdot 142 \cdot (0,008 - 0,0009)}{1 + 0,008 - 0,0009} = 2,002 \text{ Мпа}, \quad (3.41)$$

$$[P]_E = \frac{20,8 \cdot 10^{-6} \cdot E}{n_y \cdot B_1} \cdot \frac{D}{L} \cdot \left[\frac{100 \cdot (S - C)}{D} \right]^2 \cdot \sqrt{\frac{100 \cdot (S - C)}{D}}, \quad (3.42)$$

Где:

$$B_1 = \min \left\{ 1, 0,9, 45 \cdot \frac{D}{L} \cdot \sqrt{\frac{D}{100 \cdot (S - C)}} \right\} = 1 \quad (3.43)$$

Определяем безразмерный коэффициент:

$$B_1 = \frac{9,45 \cdot D}{L} \cdot \sqrt{\frac{D}{100 \cdot (S - C)}} = \frac{9,45 \cdot 1}{0,9} \cdot \sqrt{\frac{1}{100 \cdot (0,008 - 0,0009)}} = 12,46 \geq 1. \quad (3.44)$$

Определяем допускаемое наружное давление из условия устойчивости в пределах упругости:

$$[P]_E = \frac{20,8 \cdot 10^{-6} \cdot 1,91 \cdot 10^5}{2,4 \cdot 1} \cdot \frac{1}{0,9} \cdot \left[\frac{100 \cdot (0,008 - 0,0009)}{1} \right]^2 \cdot \sqrt{\frac{100 \cdot (0,008 - 0,0009)}{1}} = 0,78 \text{ Мпа.} \quad (3.45)$$

Определяем допускаемое внутреннее избыточное или наружное давление:

$$[P] = \frac{2,002}{\sqrt{1 + (2,002 \div 0,78)^2}} = 0,728 \text{ Мпа,} \quad (3.46)$$

$$0,728 \geq 0,4,$$

$$[P] \geq P.$$

Условие прочности выполняется, исполнительная толщина стенки аппарата $S=8$ мм.

Условие тонкостенности цилиндрической обечайки $(S-C)/D \leq 0,1$ также выполняется $(0,008-0,0009)/1=0,0071 \leq 0,1$. [32]

3.3.4 Определение толщины стенки цилиндрической обечайки (рубашки)

Определим расчётную толщину стенки рубашки S_p по формуле :

$$S_p = P \cdot D \div (2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi - P) = 0,4 \cdot 1,1 \div (2 \cdot 142 \cdot 1 - 0,4) = 1,55 \text{ мм,} \quad (3.47)$$

где $C_2=0,22$ мм; $C_1=0,1$ мм.

Тогда:

$$S \geq S_p + C_1 + C_2 = 1,55 + 0,1 + 0,22 = 1,87 \text{ мм.} \quad (3.48)$$

Округляем до ближайшего стандартного значения $S=3$ мм. [33]

Делаем проверку на прочность:

$$[P] \geq P,$$

$$[P] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi \cdot (S - C)}{D + S - C} = \frac{2 \cdot 142 \cdot 1 \cdot (0,003 - 0,00032)}{1 + 0,003 - 0,00032} = 0,69 \geq 0,4 \text{ Мпа.} \quad (3.49)$$

Условие прочности выполняется.

3.3.5 Расчет днища и крышки корпуса на прочность

На крышку корпуса (аппарата) воздействует только внутреннее давление, тогда расчеты будем производить только на прочность. На днище корпуса воздействует наружное и внутреннее давление, соответственно, расчеты производим на жесткость и прочность. [34]

Материал днища и крышки выбираем такой же, как и материал корпуса, т.е. сталь 09Г2С ГОСТ 1982-73. Форму крышки и днища принимаем эллиптическую. [35]

Толщина стенки эллиптического днища (крышки), нагруженного внутренним давлением:

$$s = \frac{p \cdot R}{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi - 0,5 \cdot p} + c, \quad (3.50)$$

При $D > 1600$ мм заготовка днища выполняется сваркой, которую принимаем автоматическую $\varphi = 1$.

Тогда:

$$s = \frac{0,1 \cdot 2000}{2 \cdot 142 \cdot 1 \cdot 0,5 \cdot 0,1} + 0,9 = 1,6 \text{ мм.} \quad (3.51)$$

Толщину стенки крышки и днища принимаем $s = 3$ мм.

3.3.6 Расчет днища корпуса на жесткость (устойчивость)

Толщина стенки днища из условия устойчивости принимается как наибольшая из двух величин.

Тогда исполнительную толщину стенки определяем:

$$s = \frac{k_3 \cdot R}{300} \cdot \sqrt{\frac{p}{10^{-6} \cdot E}} + c, \quad (3.52)$$

$$s = \frac{p \cdot R}{2 \cdot [\sigma]} \cdot \beta_1 + c, \quad (3.53)$$

где k_3 – коэффициент, определенный по графику, в зависимости от отношений H/D и $R/(s - c_1)$. [36]

$$\beta_1 = 0,5 + \sqrt{0,25 + 12 \cdot k_3^2 \cdot \frac{\sigma_T}{E} \cdot \frac{[\sigma]}{p}} - \text{коэффициент } \tau$$

(3.54) Коэффициент k_3 определяется по графику, в зависимости от отношений H/D и $R/(s - c)$ (где s – толщина стенки днища из условия прочности; c – прибавка на коррозию без учета конструктивной прибавки).

Коэффициент K_3 определяем:

$$K_3 = \frac{1 + (2,4 + 8x) \cdot x}{1 + (3 + 10x) \cdot x}, \quad (3.55)$$

Где x рассчитываем по формуле:

$$x = 10 \cdot \frac{s - c}{D} \left(\frac{D}{2H} - \frac{2H}{D} \right) = 10 \cdot \frac{3 - 0,9}{2000} \left(\frac{2000}{2 \cdot 500} - \frac{2 \cdot 500}{2000} \right) = 0,016. \quad (3.56)$$

Подставляем полученные данные в формулу:

$$K_3 = \frac{1 + (2,4 + 8 \cdot 0,016) \cdot 0,016}{1 + (3 + 10 \cdot 0,016) \cdot 0,016} = 0,99. \quad (3.57)$$

Для стандартных эллиптических днищ $H/D = 0,25$. Тогда:

$$\frac{R}{S - C} = \frac{2000}{3 - 0,9} = 952. \quad (3.58)$$

Подставляем полученные данные в формулу:

$$\beta_1 = 0,5 \cdot \sqrt{0,25 + 12 \cdot 0,99^2 \cdot \frac{350}{1,91 \cdot 10^5} \cdot \frac{142}{0,1}} = 3,7. \quad (3.59)$$

Окончательно получаем:

$$s = \frac{0,99 \cdot 2000}{300} \cdot \sqrt{\frac{0,1}{10^{-6} \cdot 1,91 \cdot 10^5}} + 0,9 = 9,2 \text{ мм}, \quad (3.60)$$

$$s = \frac{0,1 \cdot 2000}{2 \cdot 142} \cdot 3,7 + 0,9 = 7,6 \text{ мм}. \quad (3.61)$$

Из условия устойчивости, толщину стенки днища принимаем $s = 10$ мм.

Вывод:

- из условия прочности и устойчивости (жесткости) толщину стенки днища принимаем $s = 10$ мм.
- из условия прочности толщину стенки крышки принимаем $s = 3$ мм.

3.3.7 Расчет днища рубашки

На днище рубашки действует внутреннее давление, значит, его рассчитываем только на прочность. [37]

Материал днища рубашки выбираем сталь ВСтЗсп ГОСТ 380-88.

Форму днища принимаем эллиптическую. [38]

Толщина стенки эллиптического днища, нагруженного внутренним давлением определяется по формуле:

$$s = \frac{p \cdot R}{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi - 0,5 \cdot p} + c \quad (3.62)$$

где R – радиус кривизны в вершине днища (для стандартных днищ R = D)

При D > 1600 мм заготовка днища выполняется сваркой, которую принимаем автоматическую $\varphi = 1$. [39]

Окончательно получаем:

$$s = \frac{p \cdot R}{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi - 0,5 \cdot p}, \quad (3.63)$$

$$s = \frac{0,4 \cdot 2100}{2 \cdot 142 \cdot 1 - 0,5 \cdot 0,4} 3,8 \text{ мм}, \quad (3.64)$$

Из условия прочности, толщину стенки днища рубашки принимаем $s = 4$ мм.

3.3.8 Укрепление отверстий

Укрепление отверстия для механического привода. В крышке аппарата имеется отверстие для привода механического перемешивающего устройства $d=0,4$ м. Проверим необходимость укрепления $d \leq d_0$. Для стандартной эллиптической крышки $D_p=2D=4$ [м], так как отверстие находится в центре крышки. $C=C_1+C_2+C_3=0,1+0,8+1,2= 2,1$ мм. [40]

$$d_0 = 2 \cdot \frac{S - C}{S_p - 0,8} \cdot \sqrt{D_p \cdot (S - C)} = 2 \cdot \frac{0,008 - 0,0021}{0,0035 - 0,8} \cdot \sqrt{4 \cdot (0,008 - 0,0021)} = 0,15 \text{ м}. \quad (3.64)$$

$$0,15 \geq 0,4 \text{ м}.$$

Условие не выполняется. Следовательно, укрепление требуется.

Способ укрепления – с заглублением штуцера. [41]

Расчёт ведём для $P=0,1$ [МПа], $S=8$ мм, $C=2,1$ мм, $D=2000$ мм, $S_p=3,95$ мм.

Задаёмся начальной толщиной штуцера:

$$S_{ш} = 4 \text{ мм},$$

$$C_{\text{ш}} = 0,1 + 0,4 + 0,6 = 1,1 \text{ мм.}$$

Определение расчётной толщины стенки штуцера:

$$S_{\text{шр}} = P \cdot \frac{(d + 2 \cdot C_{\text{ш}})}{(2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi - P)} = 0,2 \cdot \frac{(0,4 + 2 \cdot 0,0011)}{(2 \cdot 142 \cdot 1 - 0,1)} = 0,000142 \text{ м.} \quad (3.65)$$

Расчётная длина внешней части круглого штуцера, участвующего в укреплении отверстия:

$$l_{\text{шр}} = \min \{ 1,25 \sqrt{(d + 2 \cdot C_{\text{ш}}) \cdot (S_{\text{ш}} - C_{\text{ш}})} \} = 1,25 \sqrt{(0,4 + 2 \cdot 0,0011) \cdot (0,004 - 0,0011)} = 0,0427 \text{ м.} \quad (3.66)$$

Расчётная длина внутренней части круглого штуцера, участвующего в укреплении отверстия:

$$l_{\text{зр}} = 0,5 \cdot \sqrt{(d + 2 \cdot C_{\text{ш}}) \cdot (S_{\text{ш}} - 2 \cdot C_{\text{ш}})} = 0,5 \cdot \sqrt{(0,4 + 2 \cdot 0,0011) \cdot (0,004 - 2 \cdot 0,0011)} = 0,01345 \text{ м.} \quad (3.67)$$

Расчётный диаметр отверстия в крышке:

$$d_p = d + 2 \cdot C_{\text{ш}} = 0,4 + 2 \cdot 0,0011 = 0,4022 \text{ м.} \quad (3.68)$$

Считаем ширину зоны укрепления:

$$L_0 = \sqrt{D_p \cdot (S - C)} = \sqrt{4 \cdot (0,008 - 0,0021)} = 0,15 \text{ м.} \quad (3.69)$$

Расчётный диаметр отверстия, не требующий укрепления, при отсутствии избыточной толщины стенки укрепляемого элемента (является условным параметром):

$$d_{\text{оп}} = 0,4 \sqrt{D_p \cdot (S - C)} = 0,4 \cdot \sqrt{0,4 \cdot (0,008 - 0,0021)} = 0,061 \text{ м.} \quad (3.70)$$

Условие укрепления отверстия:

$$l_{\text{шр}} \cdot (S_{\text{ш}} - S_{\text{шр}} - C_{\text{ш}}) + l_{\text{зр}} \cdot (S_{\text{ш}} - 2 \cdot C_{\text{ш}}) + L_0 \cdot (S - S_p - C) \geq 0,5(d_p - d_{\text{оп}}) \cdot S_p, \quad (3.71)$$

$$0,0427 \cdot (0,004 - 0,000142 - 0,0011) + 0,01345 \cdot (0,004 - 2 \cdot 0,0011) + 0,15 \cdot (0,008 - 0,00395 - 0,0021) \geq 0,5 \cdot (0,4022 - 0,061) \cdot 0,00395 \quad (3.72)$$

$$0,00104 \geq 0,000674$$

Условие укрепления выполняется. Отверстие $d=0,4$ м укрепляется при $S_{\text{ш}}=4$ мм.

Укрепление люка в крышке. В крышке аппарата имеется люк $d=0,2\text{м}$. Проверим необходимость укрепления $d \leq d_0$. Для стандартной эллиптической крышки $D_p=D=2\text{м}$, так как отверстие находится не в центре крышки

$$C=C_1+C_2+C_3=0,1+0,8+1,2= 2,1\text{мм}$$

$$d_0 = 2 \cdot \frac{S - C}{S_p - 0,8} \cdot \sqrt{D_p \cdot (S - C)} = 2 \cdot \frac{0,008 - 0,0021}{0,00395 - 0,8} \cdot \sqrt{2 \cdot (0,008 - 0,0021)} = 0,151\text{м}. \quad (3.73)$$

$$0,151 \geq 0,2\text{м}$$

Условие не выполняется. Следовательно, укрепление необходимо.

Способ укрепления – с заглублением штуцера.

Расчёт ведём для $P=0,1\text{МПа}$, $S=8\text{мм}$, $C=2,1\text{мм}$, $D=2000\text{мм}$, $S_p=3,95\text{мм}$.

Задаёмся начальной толщиной штуцера:

$$S_{ш} = 4\text{мм},$$

$$C_{ш} = 0,1 + 0,4 + 0,6 = 1,1\text{мм}. \quad (3.74)$$

Определение расчётной толщины стенки штуцера:

$$S_{шр} = P \cdot (d + 2 \cdot C_{ш}) \div (2 \cdot [\sigma] \cdot \phi - P) = 0,1 \cdot (0,2 + 2 \cdot 0,0011) \div (2 \cdot 142 \cdot 1 - 0,1) = 0,000071\text{м}. \quad (3.75)$$

Расчётная длина внешней части круглого штуцера, участвующего в укреплении отверстия:

$$l_{шр} = \min \left\{ l_1 = 0,3; 1,25 \sqrt{(d + 2 \cdot C_{ш}) \cdot (S_{ш} - C_{ш})} \right\} = 1,25 \sqrt{(0,2 + 2 \cdot 0,0011) \cdot (0,004 - 0,0011)} = 0,0303\text{м}. \quad (3.76)$$

Расчётная длина внутренней части круглого штуцера, участвующего в укреплении отверстия:

$$l_{зр} = 0,5 \sqrt{(d + 2 \cdot C_{ш}) \cdot (S_{ш} - 2 \cdot C_{ш})} = 0,5 \sqrt{(0,2 + 2 \cdot 0,0011) \cdot (0,004 - 2 \cdot 0,0011)} = 0,00095\text{м}. \quad (3.77)$$

Расчётный диаметр отверстия в крышке:

$$d_p = d + 2 \cdot C_{ш} = 0,2 + 2 \cdot 0,0011 = 0,2022\text{м}. \quad (3.78)$$

Считаем ширину зоны укрепления:

$$L_0 = \sqrt{D_p \cdot (S - C)} = \sqrt{2 \cdot (0,008 - 0,0021)} = 0,1086\text{м}. \quad (3.79)$$

Расчётный диаметр отверстия, не требующий укрепления, при отсутствии избыточной толщины стенки укрепляемого элемента (является условным параметром):

$$d_{OP} = 0,4 \cdot \sqrt{D_p \cdot (S - C)} = 0,4 \cdot \sqrt{2 \cdot (0,008 - 0,0021)} = 0,0434 \text{ м.} \quad (3.80)$$

Условие укрепления отверстия:

$$l_{IP}(S_{ш} - S_{шp} - C_{ш}) + l_{3P}(S_{ш} - 2 \cdot C_{ш}) + L_0 \cdot (S - S_p - C) \geq 0,5 \cdot (d_p - d_{OP}) \cdot S_p \quad (3.81)$$

$$0,0303 \cdot (0,004 - 0,000071 - 0,0011) + 0,0095 \cdot (0,004 - 2 \cdot 0,0011) + \\ + 0,1086 \cdot (0,008 - 0,00395 - 0,0021) \geq 0,5 \cdot (0,2022 - 0,0434) \cdot 0,00395 \quad (3.82)$$

$$0,000314 \geq 0,000314$$

Условие укрепления выполняется. Отверстие $d=0,2$ м укрепилось при $S_{ш}=4$ мм.

Укрепление отверстия в аппарате. Сбоку аппарата имеется отверстие для перелива продукта $d=0,15$ м. Проверим необходимость укрепления $d \leq d_0$.

$$D_p = D = 2 \text{ м.}; \quad C = C_1 + C_2 + C_3 = 0,1 + 0,8 + 1,2 = 2,1 \text{ мм.}$$

Расчёт ведём для $P=0,1$ МПа, $S=8$ мм, $C=2,1$ мм, $D=2000$ мм, $S_p=6$ мм.

$$d_0 = 2 \cdot \frac{S - C}{S_p - 0,8} \cdot \sqrt{D_p \cdot (S - C)} = 2 \cdot \frac{0,008 - 0,0021}{0,006 - 0,8} \cdot \sqrt{2 \cdot (0,008 - 0,0021)} = 0,039 \text{ м.} \quad (3.83)$$

$$0,15 \leq 0,039.$$

Условие не выполняется. Значит, укрепление отверстия необходимо.

Способ укрепления – с заглублением штуцера.

Задаёмся начальной толщиной штуцера:

$$S_{ш} = 4 \text{ мм,}$$

$$C_{ш} = 0,1 + 0,4 + 0,6 = 1,1 \text{ мм.}$$

(3.84)

Определение расчётной толщины стенки штуцера:

$$S_{шp} = P \cdot (d + 2 \cdot C_{ш}) \div (2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi - P) = 0,1 \cdot (0,15 + 2 \cdot 0,0011) \div (2 \cdot 142 \cdot 1 - 0,1) = 0,0000536 \text{ м.} \quad (3.85)$$

Расчётная длина внешней части круглого штуцера, участвующего в укреплении отверстия:

$$l_{IP} = \min \{1,25 \sqrt{(d + 2 \cdot C_{uu}) \cdot (S_{uu} - C_{uu})}\} = 1,25 \cdot \sqrt{(0,15 + 2 \cdot 0,0011) \cdot (0,004 - 0,0011)} = 0,0014 \text{ м.} \quad (3.86)$$

Расчётная длина внутренней части круглого штуцера, участвующего в укреплении отверстия:

$$l_{зр} = 0,5 \cdot \sqrt{(d + 2 \cdot C_{uu}) \cdot (S_{uu} - 2 \cdot C_{uu})} = 0,5 \cdot \sqrt{(0,15 + 2 \cdot 0,0011) \cdot (0,004 - 2 \cdot 0,0011)} = 0,00035 \text{ м.} \quad (3.87)$$

Расчётный диаметр отверстия в крышке:

$$d_p = d + 2 \cdot C_{uu} = 0,15 + 2 \cdot 0,0011 = 0,1522 \text{ м.} \quad (3.88)$$

Считаем ширину зоны укрепления:

$$L_0 = \sqrt{D_p \cdot (S - C)} = \sqrt{2 \cdot (0,008 - 0,0021)} = 0,1086 \text{ м.} \quad (3.89)$$

Расчётный диаметр отверстия, не требующий укрепления, при отсутствии избыточной толщины стенки укрепляемого элемента (является условным параметром):

$$d_{OP} = 0,4 \cdot \sqrt{D_p \cdot (S - C)} = 0,4 \cdot \sqrt{2 \cdot (0,008 - 0,0021)} = 0,0434 \text{ м.} \quad (3.90)$$

Условие укрепления отверстия:

$$l_{IP} (S_{uu} - S_{уф} - C_{uu}) + l_{зр} \cdot (S_{uu} - 2 \cdot C_{uu}) + L_0 \cdot (S - S_p - C) \geq 0,5 (d_p - d_{OP}) \cdot S_p, \quad (3.91)$$

$$0,0014 \cdot (0,004 - 0,0000536 - 0,0011) + 0,00035 \cdot (0,004 - 2 \cdot 0,0011) + 0,1086 \cdot (0,008 - 0,006 - 0,0021) \geq 0,5 \cdot (0,1522 - 0,0434) \cdot 0,006, \quad (3.92)$$

$$0,000046 \geq 0,000316.$$

Условие не выполняется, увеличиваем толщину штуцера.

Задаёмся начальной толщиной штуцера:

$$S_{uu} = 6 \text{ мм,}$$

$$C_{uu} = 0,1 + 0,6 + 0,9 = 1,6 \text{ мм.}$$

Расчётная длина внешней части круглого штуцера, участвующего в укреплении отверстия:

$$l_{IP} = \min \{1,25 \cdot \sqrt{(d + 2 \cdot C_{uu}) \cdot (S_{uu} - C_{uu})}\} = 1,25 \cdot \sqrt{(0,15 + 2 \cdot 0,0016) \cdot (0,006 - 0,0016)} = 0,00215 \text{ м.} \quad (3.93)$$

Расчётная длина внутренней части круглого штуцера, участвующего в укреплении отверстия:

$$l_{3p} = 0,5 \sqrt{(d + 2 \cdot C_{и}) \cdot (S_{и} - 2 \cdot C_{и})} = 0,5 \cdot \sqrt{(0,15 + 2 \cdot 0,0016) \cdot (0,006 - 2 \cdot 0,0016)} = 0,00055 \text{ м.} \quad (3.94)$$

Условие укрепления отверстия:

$$l_{IP} \cdot (S_{и} - S_{иp} - C_{и}) + l_{3p} \cdot (S_{и} - 2 \cdot C_{и}) + L_0 \cdot (S - S_p - C) \geq 0,5 \cdot (d_p - d_{оп}) \cdot S_p, \quad (3.95)$$

$$0,00215 \cdot (0,006 - 0,0000536 - 0,0016) + 0,00055 \cdot (0,006 - 2 \cdot 0,0016) + 0,1086 \cdot (0,008 - 0,006 - 0,0021) \geq 0,5 \cdot (0,1522 - 0,0431) \cdot 0,006, \quad (3.96)$$

$$0,000108 \geq 0,000316.$$

Условие укрепления не выполняется: увеличиваем толщину штуцера.

Задаёмся начальной толщиной штуцера:

$$S_{и} = 8 \text{ мм},$$

$$C_{и} = 0,1 + 0,8 + 1,2 = 2,1 \text{ мм}.$$

Расчётная длина внешней части круглого штуцера, участвующего в укреплении отверстия:

$$l_{IP} = \min \{ 1,25 \sqrt{(d + 2 \cdot C_{и}) \cdot (S_{и} - C_{и})} \} = 1,25 \cdot \sqrt{(0,15 + 2 \cdot 0,0021) \cdot (0,008 - 0,0021)} = 0,0028 \text{ м.} \quad (3.97)$$

Расчётная длина внутренней части круглого штуцера, участвующего в укреплении отверстия:

$$l_{3p} = 0,5 \cdot \sqrt{(d + 2 \cdot C_{и}) \cdot (S_{и} - 2 \cdot C_{и})} = 0,5 \cdot \sqrt{(0,15 + 2 \cdot 0,0021) \cdot (0,008 - 2 \cdot 0,0021)} = 0,00075 \text{ м.} \quad (3.98)$$

Условие укрепления отверстия:

$$l_{IP} \cdot (S_{и} - S_{иp} - C_{и}) + l \cdot (S_{и} - 2 \cdot C_{и}) + L_0 \cdot (S - S_p - C) \geq 0,5 \cdot (d_p - d_{оп}) \cdot S_p, \quad (3.99)$$

$$0,0028 \cdot (0,008 - 0,000053 - 0,0021) + 0,00075 \cdot (0,008 - 2 \cdot 0,0021) + 0,1086 \cdot (0,008 - 0,006 - 0,0021) \geq 0,5 \cdot (0,1522 - 0,0434) \cdot 0,006, \quad (3.100)$$

$$0,00019 \geq 0,000316.$$

Условие укрепления не выполняется: увеличиваем толщину штуцера.

Задаёмся начальной толщиной штуцера:

$$S_{ш} = 10 \text{ мм},$$

$$C_{ш} = 0,1 + 0,8 + 0,5 = 2,4 \text{ мм}.$$

Расчётная длина внешней части круглого штуцера, участвующего в укреплении отверстия:

$$l_{IP} = \min \{ 1,25 \cdot \sqrt{(d + 2 \cdot C_{ш}) \cdot (S_{ш} - C_{ш})} \} = 1,25 \cdot \sqrt{(0,15 + 2 \cdot 0,0024) \cdot (0,010 - 0,0024)} = 0,00374 \text{ м}. \quad (3.101)$$

Расчётная длина внутренней части круглого штуцера, участвующего в укреплении отверстия:

$$l_{зр} = 0,5 \cdot \sqrt{(d + 2 \cdot C_{ш}) \cdot (S_{ш} - 2 \cdot C_{ш})} = 0,5 \cdot \sqrt{(0,15 + 2 \cdot 0,0024) \cdot (0,010 - 2 \cdot 0,0024)} = 0,00102 \text{ м}. \quad (3.102)$$

Условие укрепления отверстия:

$$l_{IP} (S_{ш} - S_{шр} - C_{ш}) + l \cdot (S_{ш} - 2 \cdot C_{ш}) + L_0 \cdot (S - S_p - C) \geq 0,5 \cdot (d_p - d_{оп}) \cdot S_p, \quad (3.103)$$

$$0,00374 \cdot (0,010 - 0,000536 - 0,0024) + 0,00102 \cdot (0,010 - 2 \cdot 0,0024) + 0,1086 \cdot (0,008 - 0,006 - 0,0021) \geq 0,5 \cdot (0,1522 - 0,0434) \cdot 0,006, \quad (3.104)$$

$$0,000335 \geq 0,000316.$$

Условие укрепления выполняется. Отверстие для перелива продукта $d=0,15\text{м}$ укрепляется при $S_{ш}=10\text{мм}$.

3.4 Подбор днища и крышки корпуса

Произведём подбор днища и крышки аппарата, учитывая конструктивные особенности и расчеты аппарата.

Форму крышки и днища принимаем эллиптическую. [46]

3.4.1 Подбор днища корпуса

На рисунке 3.2 представлен эскиз днища (крышки)

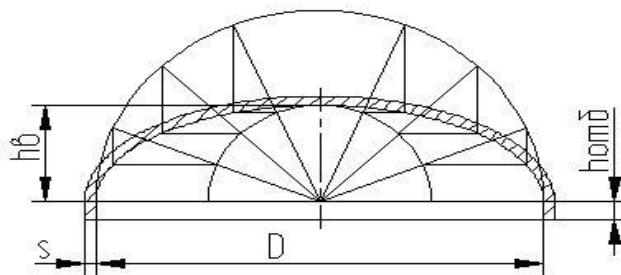


Рисунок 3.2 – Эскиз днища (крышки)

По ГОСТ 6533-78 подбираем эллиптическое днище:

Диаметр аппарата, D	2000
Толщина стенки, s	10 мм
Высота отбортовки днища, h _{отб}	40 мм
Высота выпуклой части днища, h _в	500 мм
Масса, m	364,5 кг

Днище 2000 × 10 - 40 - сталь 09Г2С ГОСТ 6530-78

3.4.2 Подбор крышки корпуса

По ГОСТ 6533-78 подбираем крышку корпуса:

Диаметр аппарата, D	2000
Толщина стенки, s	6 мм
Высота отбортовки днища, h _{отб}	40 мм
Высота выпуклой части днища, h _в	500 мм
Масса, m	217,7 кг

Днище 2000 × 6 - 40 - сталь 09Г2С ГОСТ 6530-78

3.4.3 Подбор днища рубашки

По ГОСТ 6533-78 подбираем эллиптическое днище рубашки:

Диаметр аппарата, D	2000
Толщина стенки, s	8 мм
Высота отбортовки днища, h _{отб} :	40 мм
Высота выпуклой части днища, h _в :	550 мм
Масса, m:	350 кг

Днище 2100 × 8 - 40 - ВСтЗсп ГОСТ 6530-78

3.4.4 Расчет размеров заготовки корпуса

Длина заготовки корпуса определяется по формуле:

$$L_{\text{заг}} = \pi \cdot D_{\text{ср}} = \pi \cdot (D + s) = 3,14 \cdot (2000 + 8) = 6305,12 \text{ мм}, \quad (3.105)$$

где $D_{\text{ср}} = D + s$ - средний диаметр аппарата,

D – диаметр аппарата,

s – толщина стенки корпуса.

Принимаем $L_{\text{заг}} = 6300$ мм.

Ширину (высоту) заготовки принимаем конструктивно исходя из высоты цилиндрической части обечайки, т.е.

$$H_{\text{заг}} = H_{\text{ц}} + (50 \div 100) = 1750 + 50 = 1800 \text{ мм.} \quad (3.106)$$

Тогда: $H_{\text{заг}} = 1800$ мм.

Масса заготовки корпуса определяется по формуле:

$$G_{\text{к}}^{\text{заг}} = \rho \cdot V_{\text{заг}} = 7850 \cdot 6,3 \cdot 1,8 \cdot 0,008 = 712,2 \text{ кг,} \quad (3.107)$$

где $\rho = 7850 \text{ кг/м}^3$ - плотность стали.

$V_{\text{заг}} = L_{\text{заг}} \times H_{\text{заг}} \times s$ - объем заготовки, м^3

3.4.5 Расчет размеров заготовки рубашки

Длина заготовки рубашки определяется по формуле:

$$L_{\text{заг}} = \pi \cdot D_{\text{ср}} = \pi \cdot (D + s) = 3,14 \cdot (2100 + 6) = 6612,84 \text{ мм,} \quad (3.108)$$

где $D_{\text{ср}} = D + s$ - средний диаметр аппарата,

D – диаметр аппарата,

s – толщина стенки рубашки.

Принимаем $L_{\text{заг}} = 6700$ мм.

Ширину (высоту) заготовки принимаем конструктивно исходя из расчетной длины обечайки:

$$H_{\text{заг}} = L + (50 \div 100) = 1940 + 50 = 1990 \text{ мм} \quad (3.109)$$

Принимаем $H_{\text{заг}} = 2000$ мм.

Масса заготовки рубашки определяется по формуле:

$$G_{\text{руб}}^{\text{заг}} = \rho \cdot V_{\text{заг}} = 7850 \cdot 6,7 \cdot 2 \cdot 0,006 = 631,14 \text{ кг,} \quad (3.110)$$

где $\rho = 7850 \text{ кг/м}^3$ - плотность стали,

$V_{\text{заг}} = L_{\text{заг}} \times H_{\text{заг}} \times s$ - объем заготовки, м^3

3.5 Расчет и подбор опор аппарата

3.5.1 Определение максимальной массы аппарата

$$G_{\max} = G_{an} + G_{np} + G_{из}, \quad (3.111)$$

где G_{an} - масса аппарата, кг;

G_{np} - масса продукта в аппарате при гидроиспытаниях, кг;

$G_{из}$ - масса изоляции, кг;

Определение массы аппарат: [47]

$$G_{an} = G_{об.к.} + G_{дн.к.} + G_{кр} + G_{об.р.} + G_{дн.р.} + G_n, \quad (3.112)$$

где $G_{об.к.}$ - масса обечайки корпуса, кг;

$G_{дн.к.}$ - масса днища корпуса, кг;

$G_{кр}$ - масса крышки, кг;

$G_{об.р.}$ - масса обечайки рубашки, кг;

$G_{дн.р.}$ - масса днища рубашки, кг;

G_n - масса неучтенных узлов и деталей (принимаем 30 % от массы

перечисленных узлов и деталей), кг.

В рассматриваемом случае имеем:

$$G_{дн.к.} = m = 364,5 \text{ кг}$$

$$G_{кр} = m = 217,7 \text{ кг}$$

$$G_{об.к.} = G_K^{заг} = 712,2 \text{ кг}$$

$$G_{об.р.} = G_{руб}^{заг} = 631,14 \text{ кг}$$

$$G_{дн.р.} = m = 350 \text{ кг}$$

$$G_n = 0,3 * (G_{об.к.} + G_{дн.к.} + G_{кр} + G_{об.р.} + G_{дн.р.})$$

$$G_n = 0,3 \cdot (712,2 + 364,5 + 217,7 + 631,14 + 350) = 682,67 \text{ кг}, \quad (3.113)$$

$$G_{an} = 364,5 + 217,7 + 712,2 + 631,14 + 350 + 682,67 = 2958,21 \text{ кг}. \quad (3.114)$$

3.5.2 Определение массы продукта в аппарате или масса воды при гидроиспытаниях

$$G_{np} = \rho_{np} \cdot V_{an}, \quad (3.115)$$

где ρ_{np} - плотность продукта (воды при гидроиспытаниях), кг/м³;

V_{an} - объем аппарата, м³.

В рассматриваемом случае имеем:

$$\rho_{np} = 800 \text{ кг/м}^3$$

$$\rho_v = 1000 \text{ кг/м}^3 \text{ (плотность воды)}$$

$$G_{np} = 800 \cdot 7 = 5600 \text{ кг}, \quad (3.116)$$

$$G_v = 1000 \cdot 7 = 7000 \text{ кг}. \quad (3.117)$$

Принимаем $G_{np} = 7910 \text{ кг}$

3.5.3 Определение массы изоляции

Рассматриваемый аппарат не имеет изоляции, следовательно, $G_{из} = 0$.

Тогда:

$$G_{max} = 2958,2 + 7000 + 0 = 9958,2 \text{ кг}. \quad (3.118)$$

3.5.4 Определение нагрузки на одну опору и выбор опор

$$Q = \frac{G_{max}}{n} = \frac{9958,2}{2} = 4979,1 \text{ кг} = 49791 \text{ Н}, \quad (3.119)$$

где n – число опор;

G_{max} - максимальный вес аппарата, кг.

Число опор $n = 4$, а расчет ведем для $n = 2$.

По полученной нагрузке согласно ОСТ 26-665-79 выбираем опору типа 1 (т.к. аппарат без изоляции) грузоподъемностью $Q = 6300 \text{ кг}$ (размеры опоры представлены в таблице 2) [48]

Таблица 3.7 – Размеры опоры в миллиметрах

a	a ₁	b	c	c ₁	h	h ₁	s ₁	K	K ₁	d ₂	d ₁	f _{max}
185	230	230	60	130	360	24	12	35	70	35	M30	60

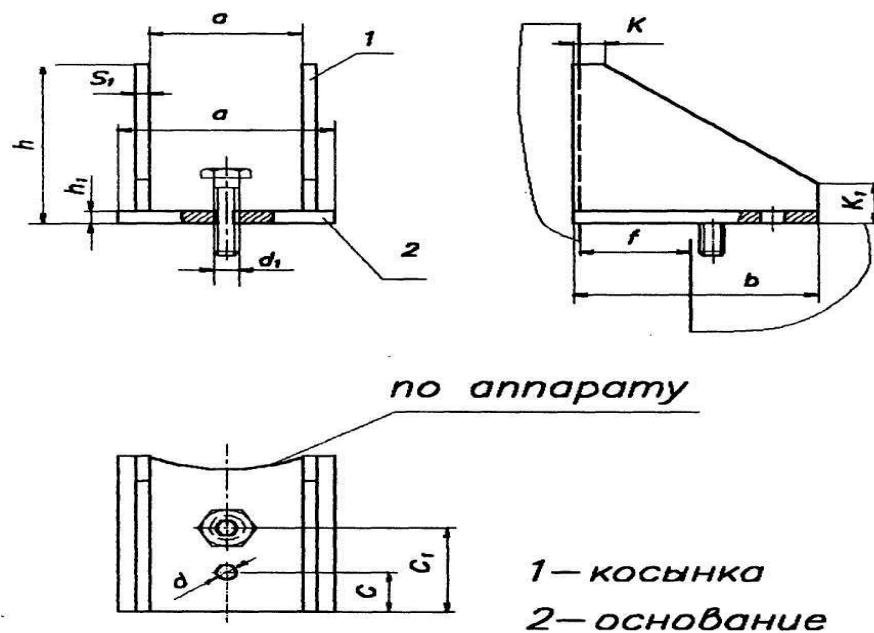


Рисунок 3.3 – Опора типа 1

4.5.5 Расчет опоры

Проведем проверку давления аппарата на фундамент:[49]

$$q = \frac{Q}{F_{on}} \leq [q], \quad (3.120)$$

где Q – нагрузка на опору, Н;

F_{on} – площадь опорной поверхности, мм^2 .

Исходя из рисунка 3.3 и таблицы 3.7 получаем:

$$F_{on} = a_1 \cdot (b - f) = 230 \cdot (230 - 60) = 39100 \text{ мм}^2. \quad (3.121)$$

Окончательно:

$$Q = \frac{49791}{39100} = 1,3 \text{ Мпа}. \quad (3.122)$$

Вывод: фундамент выбираем бетонным, т.к. для бетонного фундамента $[q] = 1,6 \text{ МПа}$.

Проведем проверку вертикального ребра опоры на устойчивость:

$$Q = \frac{2,24 \cdot Q}{k \cdot m \cdot s \cdot a} \leq [\sigma], \quad (3.123)$$

где k – коэффициент, зависящий от гибкости ребра;

m – число ребер в опоре (согласно рисунку 8, $m = 2$);

s - толщина ребра (согласно рисунку 8 и таблице 2, $s = s_1 = 12$ мм);

a - вылет ребра (согласно рисунку 8 и таблице 2, $a = b = 230$ мм);

Q – нагрузка на опору, Н;

$[\sigma]$ - допускаемое напряжение в ребрах, МПа.

Коэффициент k зависит от гибкости ребра, которая определяется по формуле:

$$\lambda = \frac{\ell}{0,289 \cdot s}, \quad (3.124)$$

где s - толщина ребра, мм (согласно рисунку 8 и таблице 2, $s = s_1 = 12$ мм);

ℓ - гипотенуза ребра, мм.

Исходя из рисунка 33 и таблицы 3.7 получаем:

$$\ell = \sqrt{(h - K_1)^2 + (b - K)^2} = \sqrt{(360 - 70)^2 + (230 - 35)^2} = 349,5 \text{ мм}. \quad (3.125)$$

Тогда:

$$\lambda = \frac{349,5}{0,289 \cdot 12} 100,8 \quad (3.126)$$

При $\lambda = 100,8$, коэффициент $k = 0,6$.

Материал опоры принимаем сталь Ст3, для которой допускаемое напряжение в ребрах $[\sigma] = 100$ МПа.

$$Q = \frac{2,24 \cdot 49791}{0,6 \cdot 2 \cdot 12 \cdot 230} = 37 \text{ Мпа} \leq [\sigma] = 100 \text{ Мпа}. \quad (3.127)$$

Вывод: условие прочности соблюдается.

3.6 Расчет перемешивающего устройства

В аппарате установлено перемешивающее устройство, для равномерного обогрева и распределения субстрата. [50]

Материал якорной мешалки сталь 12Х18Н10Т. [51]

3.6.1 Определение диаметра мешалки

Для якорных мешалок:

$$d_m = 0,7 \cdot D = 0,7 \cdot 2000 = 1400 \text{ мм}. \quad (3.128)$$

Принимаем $d_m = 1400$ мм [1]

3.6.2 Определение основных размеров мешалки

Подбираем якорную мешалку и определяем основные размеры соответствующие полученному диаметру: [52]

- Ширина мешалки $b = 100$ мм,
- Диаметр вала $d = 60$ мм,
- Диаметр ступицы $d_c = 110$ мм,
- Толщина лопасти $[s] = 18$ мм.

Определение центробежного числа Рейнольдса по формуле:

$$Re_{\omega} = \frac{\rho \cdot n \cdot d_m^2}{\mu} = \frac{800 \cdot 2,5 \cdot 1,4^2}{0,3} = 13066,6, \quad (3.129)$$

где ρ - плотность жидкости, кг/м³;

n – частота вращения мешалки, с⁻¹;

d_m - диаметр мешалки, м;

μ - вязкость, (Н×с)/м².

В рассматриваемом случае:

$$\rho_{\text{пр}} = 800 \text{ кг/м}^3$$

$$\mu = 0,3(\text{Н} \times \text{с})/\text{м}^2$$

$$n = 150 \text{ об/мин} = 2,5 \text{ с}^{-1}$$

Определение номинальной мощности (Вт), потребляемой мешалкой: [53]

$$N_M = k_N \cdot \rho \cdot n^3 \cdot d_m^5, \quad (3.130)$$

где k_N - критерий мощности;

При $Re_{\omega} = 13066,6$ критерий мощности равен $k_N = 0,2$ [54]

$$N_M = 0,2 \cdot 800 \cdot 2,5^3 \cdot 1,4^5 = 13455,6 \text{ Вт} = 13,4 \text{ кВт}$$

Определение мощности затрачиваемой на трение:

$$N_T = 0,18 \cdot N_M = 0,18 \cdot 13,4 = 2,41 \text{ кВт}. \quad (3.131)$$

Определение номинальной мощности электродвигателя:

$$N_{\text{э}} = \frac{N_M + N_T}{\eta_{\text{п}}} = \frac{13,4 + 2,41}{0,9} = 17,5 \text{ кВт} \quad (3.132)$$

где $\eta_{\text{п}} = 0,90 \div 0,96$ – К.П.Д. привода.

Принимаем $\eta_n = 0,90$; $N_3 = 18$ кВт.

3.6.3 Проверочный расчет мешалки

Определение крутящего момента вала мешалки:

$$M_{кр} = 9760000 \cdot \frac{150}{18} = 0,81 \cdot 10^6 \text{ Н} \cdot \text{мм.} \quad (3.133)$$

где n – частота вращения мешалки, мин⁻¹;

N – мощность привода мешалки, кВт.

Определяем радиус приложения равнодействующей силы:

$$r_0 = \frac{3}{4} \cdot \frac{R^4 - r^4}{R^3 - r^3}. \quad (3.134)$$

где R – радиус кривизны наружной части якоря, мм;

r – радиус ступицы, мм.

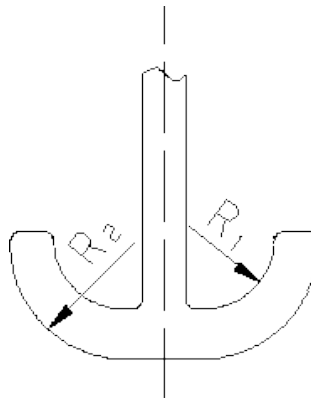


Рисунок 3.4 – Схема якорной мешалки

$$R = \frac{d^2}{2} = \frac{1212}{2} = 606 \text{ мм,} \quad (3.135)$$

$$r = \frac{d_c}{2} = \frac{110}{2} = 55 \text{ мм,} \quad (3.136)$$

$$r_0 = \frac{3}{4} \cdot \frac{606^4 - 55^4}{606^3 - 55^3} = 454 \text{ мм.} \quad (3.137)$$

Определение величины равнодействующей силы:

$$P = \frac{M_{кр}}{r_0 \cdot z} = \frac{0,81 \cdot 10^6}{454 \cdot 2} = 892,07 \text{ Н.} \quad (3.138)$$

где $M_{кр}$ - крутящий момент на валу мешалки (Н × мм);

z – число лопастей на валу.

Определение изгибающего момента у основания лопасти:

$$M_{изг} = P \cdot (r_0 - r) = 892.07 \cdot (454 - 55) = 355935.9 \text{ Н} \cdot \text{мм}. \quad (3.139)$$

Определение момента сопротивления лопасти:

$$w = \frac{M_{изг}}{[\sigma]},$$

где $[\sigma]$ – допускаемое напряжение материала мешалки, МПа [55]

Допускаемое напряжение определяется по формуле

$$[\sigma] = \eta \cdot \sigma^*$$

где η - поправочный коэффициент;

σ^* - нормативное допускаемое напряжение.

Для стали 12Х18Н10Т при $t_{ан} = 55^\circ \text{C}$ имеем: $\sigma^* = 142 \text{ МПа}$ [56].

Поправочный коэффициент $\eta = 1$, т.к. особые условия работы не оговорены.

$$[\sigma] = 1 \cdot 142 = 142 \text{ МПа}, \quad (3.140)$$

Тогда:

$$w = \frac{M_{изг}}{[\sigma]} = \frac{355935,9}{142} = 2506,6 \text{ мм}^3. \quad (3.141)$$

Определение толщины лопасти: [57]

$$s = \sqrt{\frac{6 \cdot w}{b}} = \sqrt{\frac{6 \cdot 2506,6}{100}} = 12,2 \text{ мм}. \quad (3.142)$$

где b – ширина якорной мешалки, мм

Вывод: $12,2 \text{ мм} < [s] = 18 \text{ мм}$ условие прочности выполняется, значит, мешалка подобрана, верно.

3.7 Вывод

Исходя из расчётной части, можно сделать следующие выводы:

1. Сделав расчеты материального баланса, определили, что из 500кг, ежедневно загружаемых в реактор пищевых отходов, получается 147 м^3 биогаза и 150 кг высокоэффективного биоудобрения.

2. Сделав расчеты теплового баланса, определили, что ежедневный приход-расход тепла равняется:
 - приход тепла 64252 кДж/сут.
 - расход тепла 64252 кДж/сут.
3. Определили расчетным путём объем реактора – 7м³.
4. Из таблиц стандартных значений приняли диаметр нашего аппарата равным 2000мм, высоту 3000мм.
5. Выбрали материал для изготовления реактора:
 - для аппарата выбрали низколегированную сталь 09Г2С,
 - для изготовления рубашки черную сталь ВСт3.
6. Определили:
 - толщину стенки цилиндрической обечайки (аппарата) – S=8мм,
 - толщину стенки цилиндрической обечайки (рубашки) - S=3мм,
 - толщину стенки днища - S=10мм,
 - толщину стенки крышки - S=3мм,
 - толщину стенки днища (рубашки) - S=4мм.
7. Расчетным путём определили характеристику опор аппарата:
 - материал опор – сталь Ст3,
 - число опор – 4,
 - фундамент для данных опор – бетонный.
8. Подобрали перемешивающее устройство - разборную якорную мешалку.
 - материал якорной мешалки – 12Х18Н10Т.
 - диаметр мешалки – 1400мм,
 - диаметр вала – 60мм,
 - диаметр ступицы - 110мм,
 - толщина лопасти – 18мм,
 - электродвигательна установка – 1,1 кВт,
 - частота вращения входного вала редуктора – 750 об/мин,
 - частота вращения выходного вала редуктора – 150 об/мин.

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

4.1 Описание производства и маркетинговый анализ

В данном дипломном проекте, для переработки твёрдых бытовых отходов в биогаз и биоудобрения предложена технология с применением металлического реактора. Выбирая необходимое оборудование, из ниже предложенных вариантов в таблице 1- Сравнительная характеристика биогазовых установок, учитывались технические характеристики и стоимость.

Таблица 4.1- Сравнительная характеристика биогазовых установок

Биогазовая установка БГУ-6. Украина, г.Симферополь.				
№ п/п	Технические характеристики:	Ед. изм.	Параметры	Цена
1	Емкость реактора	м3	6,0	1000000 руб.
2	Длина	м	3,5	
3	Ширина	м	1,5	
4	Высота	м	2,0	
5	Масса	т	2,0	
6	Установленная мощность электродвигателя	кВт	1,8	
7	Технологический процесс	сут.	Мезофильный (м), Термофильный (т)	
8	Теплоноситель		Вода	
9	Объем воды	л	350	
10	Температурный режим	°С	35 (м), 55 (т)	
11	Продолжительность переработки	сут.	10-20	
Биогазовая установка БГУ-8. Украина, г.Симферополь.				
№ п/п	Технические характеристики:	Ед. изм.	Параметры	Цена
1	Емкость реактора	м3	8,2	

Продолжение таблицы 4.1

№ п/п	Технические характеристики:	Ед. изм.	Параметры	
2	Длина	м	5,0	
3	Ширина	м	2,0	
4	Высота	м	3,2	
5	Масса	т	3,8	
6	Установленная мощность электродвигателя	кВт	2,2	
7	Технологический процесс	сут.	Мезофильный (м), Термофильный (т)	
8	Теплоноситель		Вода	
9	Объем воды	л	700	
10	Температурный режим	°С	35 (м), 55 (т)	
11	Продолжительность переработки	сут.	10-20	1400000 руб
Биогазовая установка БГУ-10. Россия, г.Киров.				
№ п/п	Технические характеристики:	Ед. изм.	Параметры	Цена
1	Емкость реактора	м³	10,0	1600000руб.
2	Длина	м	6,0	
3	Ширина	м	2,5	
4	Высота	м	4,5	
5	Масса	т	4,1	
6	Установленная мощность электродвигателя	кВт	2,6	
7	Технологический процесс	сут.	Мезофильный (м), Термофильный (т)	
8	Теплоноситель		Вода	
9	Объем воды	л	1400	
10	Температурный режим	°С	35 (м), 55 (т)	
11	Продолжительность переработки	сут.	10-15	

В результате проведенного исследования и анализа данных, мы делаем вывод, что ни одно из представленных установок не подходит нам по техническим характеристикам. Исходя из этого, принимаем решение о разработке собственной конструкции металлического реактора.

Одним из альтернативных способов получения энергии является получение биогаза с помощью биореактора. Состав биогаза: CH_4 (55-70%), CO_2 (28-43%), H_2S в малых количествах.

Биогазовая установка, выбранная в качестве проекта, включает в себя: метантенк, загрузочная емкость, измельчитель, насос навозный, бункер-отстойник, газгольдер, компрессор, ресивер, водогрейный котел, редуктор.

Биореактор объемом 7 м^3 вырабатывает 147 м^3 газа в сутки. Биореактор-метантенк снабжен системой перемешивания бродящей массы и системой поддержания оптимальной температуры брожения. Биореактор может перерабатывать до 500 кг отходов в сутки. Для измельчения отходов используется измельчитель стоимостью 120000 тыс.руб. После чего измельчённый субстрат подается в реактор при помощи навозного насоса стоимостью 55000 тыс. руб. Цена метантенка с мешалкой и автоматикой 1100000 тыс. руб. При выбранном термофильном режиме происходит подогрев сырья в реакторе при помощи водогрейного котла, стоимость которого 80000 тыс.руб. Сброженная масса удаляется через штуцер удаления и накапливается в бункере-отстойнике, стоимость которого примерно 50000 тыс. руб. Стоимость загрузочной емкости колеблется в районе 50000 тыс. руб. Из биореактора биогаз подается в газгольдер, примерная цена которого 4000000 млн. руб. при помощи компрессора 100000 тыс. руб. и ресивера 60000 тыс.руб. После чего биогаз подается на сжигание в газовых горелках, при помощи устройства, для понижения давления газа и поддержания этого давления постоянным на выходе из газгольдера, редуктора, стоимость которого 45000 тыс.руб.

4.2 Расчет годовой производственной мощности

В данном разделе рассчитаем производственную мощность установки. Производственная мощность определяется по ведущему оборудованию - биореактор, в котором осуществляется основной производственный процесс – анаэробное разложение биомассы и выделение биогаза [37].

$$M = Q_{\text{ч}} \cdot \Phi_{\text{эф}} = 6,125 \cdot 8280 = 50715 \text{ м}^3, \quad (4.1)$$

где $Q_{\text{ч}}$ – часовая производительность аппарата, м³/час;

$\Phi_{\text{эф}}$ – эффективный фонд времени работы оборудования в год, час.

В рассматриваемом проекте биореактор работает круглосуточно. Остановка производится только для выполнения планового ремонта.

$$\Phi_{\text{эф}} = (D_{\text{к}} - D_{\text{рем}}) \cdot 24 = (365 - 20) \cdot 24 = 8280 \text{ ч}, \quad (4.2)$$

где $D_{\text{к}}$ – календарная продолжительность года, сут;

$D_{\text{рем}}$ – плановые простои оборудования для ремонта, сут;

Таблица 4.2 - Расчет годовой производственной мощности основного оборудования

№ п/п	Показатели	Количество
1	Календарная продолжительность года, сут.	365
2	Плановые простои оборудования, сут.	20
3	Эффективное время работы оборудования, сут.	345
4	Эффективное время работы оборудования, час.	8280
5	Часовая производительность оборудования, т/час	6,125
6	Годовая производственная мощность, т/год	50715

4.3 Расчёт капитальных вложений (инвестиций) в производственное оборудование

Капитальные вложения – это единовременные затраты, необходимые для осуществления организационно-технических мероприятий по внедрению в производство новой или совершенствованию существующей техники, направленные на повышение его эффективности.

Капитальные затраты, связанные с реализацией проекта, рассчитываются в соответствии с вариантом выданного задания:

- затраты на приобретение вновь вводимого оборудования;
- затраты на демонтаж старого оборудования; и монтаж вновь вводимого оборудования;
- затраты на дополнительные производственные площади (если дополнительные площади требуются);
- затраты на модернизацию оборудования.

Таблица 4.3-Стоимость внедряемого оборудования

№	Наименование оборудования	Кол-во	Стоимость оборудования, руб.		Амортизация	
			за ед.	всего	%	руб.
1	Биореактор с мешалкой и автоматикой	1	1100000	1100000	6,7	73700
2	Загрузочная емкость	1	50000	50000	6,7	3350
3	Бункер-отстойник	1	50000	50000	6,7	3350
4	Газгольдер	1	4000000	4000000	6,7	268000
5	Насос навозный	1	55000	55000	6,7	3685
6	Компрессор	1	100000	100000	6,7	6700
7	Ресивер	1	60000	60000	6,7	4020
8	Измельчитель	1	120000	120000	6,7	8040
9	Водогрейный котел	1	80000	80000	6,7	5360
10	Редуктор	1	45000	45000	6,7	3015
	Итого	12	5660000	5660000	6,7	379220

Сопутствующие капитальные вложения.

Часовая заработная плата инженера – разработчика

$$З_{\text{час}} = \frac{Q_{\kappa}}{168} = \frac{20000}{168} = 119,05 \text{руб}, \quad (4.3)$$

где O_{κ} - размер оклада инженера – разработчика, руб.

Затраты на проектирование:

$$K_{np} = T_{np} \cdot З_{\text{час}} = 550 \cdot 119,05 = 65477,5 \text{руб}, \quad (4.4)$$

где $T_{np} = 550$ – трудоемкость проектирования техники, технологии, ч;

$З_{\text{час}}$ - часовая заработная плата инженера – разработчика, руб./ч.

Затраты на доставку и монтаж (демонтаж) оборудования, оснащение КИП:

а) доставка 2% от стоимости оборудования $K_{\text{дост}} = 0,02 \cdot 5660000 = 113200 \text{руб}$.

б) монтаж оборудования $K_{\text{монт}} = 0,10 \cdot 5660000 = 566000 \text{руб}$.

в) оснащение КИП $K_{\text{кип}} = 0,03 \cdot 5660000 = 169800 \text{руб}$.

г) пуско-наладочные работы $K_{\text{пн}} = 0,02 \cdot 5660000 = 113200 \text{руб}$.

е) оснащение участка электричеством $K_{\text{эл}} = 0,06 \cdot 5660000 = 339600 \text{руб}$.

ж) бетонирование рабочей площадки $K_{\text{бет.площ.}} = 0,05 \cdot 5660000 = 283000 \text{руб}$.

Сопутствующие капитальные затраты на оборудование:

$$K_{\text{сop}} = K_{np} + K_{об} + K_{\text{дост}} + K_{\text{монт}} + K_{\text{кип}} + K_{\text{пн}} + K_{\text{эл}} + K_{\text{бет.площ.}}, \quad (4.5)$$

$$K_{\text{сop}} = 65477,5 + 5660000 + 113200 + 566000 + 169800 + 113200 + 339600 + 283000 = \\ = 7310277,5 \text{руб},$$

где K_{np} - затраты на проектирование, руб;

$K_{об}$ - стоимость оборудования, руб;

$K_{\text{дост}}$ - доставка оборудования, руб;

$K_{\text{монт}}$ - монтаж оборудования, руб;

$K_{\text{кип}}$ - оснащение КИП оборудования, руб;

$K_{\text{пн}}$ - пуско-наладочные работы, руб;

$K_{\text{эл}}$ – оснащение участка электричеством, руб;

$K_{\text{бет.площ.}}$ – бетонирование рабочей площадки, руб.

4.4 Организация труда рабочих

Принимаем для расчета четырехбригадный график с 12-часовыми сменами.

Проектный баланс времени для следующих рабочих групп:

Производственные рабочие. В таблице 4.3 показан график сменности.

Номинальный годовой фонд времени одного рабочего:

$$\Phi_{np} = (D_k - D_{np} - D_{вых}) \cdot T_{см} - D_{пред} \cdot T_{сок} = (365 - 14 - 104) \cdot 8 - 6 \cdot 1 = 1970ч, \quad (4.6)$$

где D_k – количество календарных дней в году, дн;

D_{np} – количество праздничных дней в году, дн;

$D_{вых}$ – количество выходных дней, дн;

$T_{см}$ – продолжительность рабочей смены, ч;

$D_{пред}$ – количество предпраздничных дней, дн;

$T_{сок}$ – время, на которое сокращается предпраздничный день, ч.

Действительный фонд рабочего времени одного рабочего:

$$\Phi_{др} = D_k \cdot T_{дсм} \div 2 = 365 \cdot 12 \div 2 = 2190ч, \quad (4.7)$$

где D_k – количество календарных дней в году, дн;

$T_{дсм}$ – действительная продолжительность смены, ч.

Таблица 4.4 - График сменности

Смены	Часы	Дни месяца														
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
I	7 - 19	А	Г	Б	В	А	Г	Б	В	А	Г	Б	В	А	Г	Б
II	19 - 7	В	А	Г	Б	В	А	Г	Б	В	А	Г	Б	В	А	Г
Выходные		Б	В	А	Г	Б	В	А	Г	Б	В	А	Г	Б	В	А
		Г	Б	В	А	Г	Б	В	А	Г	Б	В	А	Г	Б	В

Смены	Часы	Дни месяца														
		16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
I	7 - 19	В	А	Г	Б	В	А	Г	Б	В	А	Г	Б	В	А	Г
II	19 - 7	Б	В	А	Г	Б	В	А	Г	Б	В	А	Г	Б	В	А
Выходные		Г	Б	В	А	Г	Б	В	А	Г	Б	В	А	Г	Б	В
		А	Г	Б	В	А	Г	Б	В	А	Г	Б	В	А	Г	Б

Количество часов переработки сверх нормы рабочего времени:

$$\Phi_{пер} = \Phi_{др} - \Phi_{нр} = 2190 - 1970 = 220ч. \quad (4.8)$$

где $\Phi_{др}$ – действительный фонд рабочего времени одного рабочего, ч;

$\Phi_{нр}$ – номинальный годовой фонд времени одного рабочего, ч.

Действительный эффективный фонд времени одного рабочего:

$$\Phi_{эдр} = \Phi_{др} \cdot (1 - B_0 \div 100) = 2190 \cdot (1 - 13 \div 100) = 1905,3ч, \quad (4.9)$$

где $\Phi_{др}$ – действительный фонд рабочего времени одного рабочего, ч;

B_0 – планируемый процент времени на отпуск рабочих, болезни, %.

Коэффициент подмены:

$$K_{подм} = \Phi_{др} \div \Phi_{эдр} = 2190 \div 1905,3 = 1,15ч. \quad (4.10)$$

где $\Phi_{др}$ – действительный фонд рабочего времени одного рабочего, ч;

$\Phi_{эдр}$ – действительный эффективный фонд времени одного рабочего, ч.

Списочная численность:

$$Ч_{сп} = K_{подм} \cdot Ч_{я} = 1,15 \cdot 2 = 3чел. \quad (4.11)$$

где $K_{подм}$ – коэффициент подмены;

$Ч_{я}$ – явочное число рабочих в сутки, чел.

Аналогично формуле (4.11) рассчитываем списочную численность для остальных рабочих. Результаты заносим в таблицу 4.5

Таблица 4.5 - Штаты рабочих цеха

Состав Бригады	Разряд	Явочное число рабочих		Коеф- фициент подмены	Списочная числен- ность рабочих в бригаде
		в смену	в сутки		
1.Производственные рабочие					
1.1) аппаратчик	6	1	2	1,15	3
1.3) слесарь	6	1	2	1,15	3
1.4) электрик	6	1	2	1,15	3
1.5) слесарь КИПиА	6	1	2	1,15	3
Итого		4	8		12

4.5 Заработная плата рабочих

Тарифная ставка рабочего 6 – го разряда:

$$T_{ст.б.раз} = 140 \text{ руб} / \text{ч.}$$

Оплата по тарифу:

$$Z_{тар} = T_{ст.б.раз} \cdot \Phi_{эдр} \cdot \sum \chi_{сн} = 140 \cdot 1905,3 \cdot 12 = 2514966 \text{ руб}, \quad (4.12)$$

где $T_{ст.б.раз}$ – тарифная ставка рабочего 6 – го разряда, руб./час;

$\Phi_{эдр}$ – действительный эффективный фонд времени одного рабочего, ч;

$\chi_{сн}$ – списочная численность рабочих, чел.

Расчет премии:

$$Z_{прем} = Z_{тар} \cdot K_{прем} = 2514966 \cdot 0,20 = 502999,2 \text{ руб}, \quad (4.13)$$

где $Z_{тар}$ – оплата по тарифу, руб;

$K_{прем}$ – коэффициент премирования (25%).

Доплата за работу в праздничные дни:

$$Z_{праз} = T_{ст.б.раз} \cdot t_{см} \cdot n_{см} \cdot \chi_{я} \cdot D_{пр} = 110 \cdot 12 \cdot 2 \cdot 12 \cdot 14 = 443520 \text{ руб}. \quad (4.14)$$

где $T_{ст.б.раз}$ – тарифная ставка рабочего 6 – го разряда, руб./час;

$t_{см}$ – продолжительность смены, ч;

$n_{см}$ – число смен в сутки,

$Ч_{я}$ – явочное число рабочих в смену, чел;

$Д_{пр}$ – количество праздничных дней в году, дн.

Доплата за работу в ночное время:

$$З_{ноч} = З_{тар} \cdot (1 + K_n) \div 3 = 2514996 \cdot (1 + 0,25) \div 3 = 1047915 \text{ руб.}, \quad (4.15)$$

где $З_{тар}$ – оплата по тарифу, руб.;

K_n – коэффициент доплат за работу в ночное время (30%)

Основной фонд заработной платы:

$$З_{осн} = З_{тар} + З_{прем} + З_{праз} + З_{ноч} = 2514996 + 502999,2 + 443520 + 1047915 = 4509430,2 \text{ руб.} \quad (4.16)$$

где $З_{тар}$ – оплата по тарифу, руб.;

$З_{прем}$ – премия, руб.;

$З_{праз}$ – доплата за работы в праздничные дни, руб.;

$З_{ноч}$ – доплата за работы в ночное время, руб.

Оплата дней отпуска:

$$З_{отп} = З_{осн} \cdot (\Phi_{др} - \Phi_{эдр}) \div \Phi_{эдр} = 4509430,2 \cdot (2190 - 1905,3) \div 1905,3 = 673822,9 \text{ руб.}, \quad (4.17)$$

где $З_{осн}$ – основной фонд заработной платы, руб.;

$\Phi_{др}$ – действительный фонд рабочего времени одного рабочего, ч;

$\Phi_{эдр}$ – действительный эффективный фонд времени одного рабочего, ч.

Оплата ученических отпусков:

$$З_{уч} = З_{осн} \cdot T_{уч} \div \Phi_{эдр} = 4509430,2 \cdot 28 \div 1905,3 = 66269,9 \text{ руб.}, \quad (4.18)$$

где $З_{осн}$ – основной фонд заработной платы, руб.;

$T_{уч}$ – продолжительность ученического отпуска, дн;

$\Phi_{эдр}$ – действительный эффективный фонд времени одного рабочего, ч.

Оплата выполнения государственных обязанностей:

$$З_{гос} = З_{осн} \cdot T_{гос} \div \Phi_{эдр} = 4509430,2 \cdot 1 \div 1905,3 = 2366,7 \text{ руб.}, \quad (4.19)$$

где $З_{осн}$ – основной фонд заработной платы, руб.;

$T_{гос}$ – время выполнения гос. обязанностей, дн;

Дополнительный фонд заработной платы:

$$Z_{\text{доп}} = Z_{\text{отп}} + Z_{\text{уч}} + Z_{\text{гос}} = 673822,9 + 66269,9 + 2366,7 = 742459,5 \text{ руб.} \quad (4.20)$$

где $Z_{\text{отп}}$ - оплата дней отпуска, руб.;

$Z_{\text{уч}}$ - оплата ученических отпусков, руб.;

$Z_{\text{гос}}$ - оплата выполнения государственных обязанностей, руб.

Годовой фонд заработной платы:

$$Z_{\text{год}} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}} = 4509430,2 + 742459,5 = 5251889,7 \text{ руб.} \quad (4.21)$$

где $Z_{\text{осн}}$ - основной фонд заработной платы, руб.;

$Z_{\text{доп}}$ - дополнительный фонд заработной платы, руб.

Отчисления на страховые выплаты:

$$OCB = Z_{\text{год}} \cdot K_c = 5251889,7 \cdot 0,3 = 1575565,9 \text{ руб.} \quad (4.22)$$

где $Z_{\text{год}}$ - годовой фонд заработной платы, руб.;

K_c - страховой налог (30%).

Таблица 4.6 - Расчет фонда заработной платы рабочих цеха

Группа Рабочих	Численность рабочих	Оплата	Доплата			Основной фонд заработной платы	Дополнительная заработная плата	Годовой фонд заработной платы	Отчисления на страховые выплаты
			Премия	Праздничные	Ночная смена				
Производственные рабочие	12	2514996	502999,2	443520	1047915	4509430,2	742459,5	5251889,7	1575565,9
Итого	12	2514996	502999,2	443520	1047915	4509430,2	742459,5	5251889,7	1575565,9

4.6 РАСЧЕТ СЕБЕСТОИМОСТИ ПРОДУКЦИИ

Таблица 4.7 - Расчет расхода сырья, основных и вспомогательных материалов

Вид сырья, материалов, полуфабрикатов	Ед. изм.	Расход на 1000 м³ продукции	Цена за единицу измерения, руб	Сумму, руб
		Проект	Проект	Проект
1 Сырье и материалы:				
Пищевые отходы	Т	3400	0	0
Вода	М³	3,4	14,085	47,889
2 Вспомогательные материалы				
Анаэробные и аэробные бактерии для биображения	Л	1,7	500	850
Итого				897,889

Таблица 4.8 - Расчет расхода топлива и энергии

Вид топлива, энергии	Ед. изм.	Расход на 1 тонну продукции	Цена за единицу измерения, руб	Сумму, руб
		Проект	Проект	Проект
Электроэнергия	<i>кВт·ч</i>	229,9	3,44	790,86
Итого				790,86

Основная заработная плата рабочим на 1 тонну продукции:

$$З_{осн.уд.} = З_{осн} \div M = 4509430,2 \div 50715 = 88,9 \text{ руб.} \quad (4.23)$$

где $З_{осн}$ - основной фонд заработной платы, руб.;

M - годовая мощность производства, т/год.

Дополнительная заработная плата рабочим на 1 тонну продукции:

$$З_{доп.уд} = З_{доп} \div M = 742459,5 \div 50715 = 14,64 \text{ руб.} \quad (4.24)$$

где $З_{доп}$ - дополнительный фонд заработной платы, руб.;

M - годовая мощность производства, т/год.

Удельные страховые выплаты на продукцию:

$$ОСВ_{уд} = ОСВ \div M = 1575565,9 \div 50715 = 31,06 \text{ руб.} \quad (4.25)$$

где ОСВ - отчисления на страховые выплаты, руб.;

M - годовая мощность производства, т/год.

4.7. Расчет расходов на содержание и эксплуатацию оборудования

Расчет расходов на содержание и эксплуатацию оборудования[19].

Амортизация оборудования основной технологической стадии – 1830209.

Амортизация внедряемого оборудования узла экструзии – 1675000.

Текущий ремонт и содержание оборудования учитывает заработную плату (основную и дополнительную) вместе с ОСВ рабочих по ремонту и содержанию оборудования (ремонтный и дежурный персонал цеха), затраты на материалы 15% от амортизации оборудования.

$$З_{осн} = З_{доп} + З_{осв} + 15\%_{\text{АМОРТИЗАЦИИ}} \quad (4.26)$$

$$З_{осн} + З_{доп} + З_{осв} + 15\%_{\text{АМОРТИЗАЦИИ}} = 4509430,2 + 742459,5 + 1575565,9 + \\ + 0,15 \cdot 379220 = 6884338,6 \text{ руб.}$$

Износ и восстановление инструмента, приспособлений – 6 % от амортизации оборудования:

$$6\%_{\text{АМОРТИЗАЦИИ}} = 0,06 \cdot 379220 = 22753,2 \text{ руб.} \quad (4.27)$$

Прочие расходы – 1% от амортизации оборудования.

$$1\%_{\text{АМОРТИЗАЦИИ}} = 0,01 \cdot 379220 = 3792,2 \text{ руб.} \quad (4.28)$$

Таблица 4.9 - Затраты на содержание оборудования

Наименование статей расходов	Проектная
Амортизация производственного оборудования	379220
Текущий ремонт и содержание оборудования	6884338,6
Износ и восстановление инструментов	22753,2
Прочие расходы	3792,2
Итого	7290104

Затраты на 1 тонну продукции составят:

$$З_{1т} = \sum_{затр} \div M = 7290104 \div 50715 = 143,75 \text{ руб.} \quad (4.29)$$

где $\sum_{затр}$ - затраты на содержание и эксплуатацию оборудования, руб.;

M - годовая мощность производства, т/год.

4.8. Расчет цеховых расходов

Статья 1: содержание персонала включает: заработную плату и отчисления на служащих рабочих цеха[18].

$$З_{год} + З_{осв} = 5251889,7 + 1575565,9 = 6827455,6 \text{ руб.}, \quad (4.30)$$

Статья 2: амортизация зданий по данным сметы цеховых расходов базового предприятия 0 руб.(т.к биогазовая установка находится вне помещения).

Статья 3: затраты на реализацию, опыты, исследования по данным предприятия 0.5% от 1 статьи.

$$6827455,6 \cdot 0.005 = 34137,3 \text{руб.} \quad (4.31)$$

Статья 4: затраты на охрану труда 10-20% от зарплаты всех работающих.

$$З_{\text{год ПР.ДЕЖ.РЕМ}} \cdot 10\% = 1575565,9 \cdot 0.1 = 157556,59 \text{руб.} \quad (4.32)$$

Статья 5: прочие расходы 0.5% от суммы расходов по статьям 1 – 4.

$$\begin{aligned} & (Статья1 + Статья2 + Статья3 + Статья4) \cdot 0.005 = \\ & = (6827455,6 + 0 + 34137 + 157556,59) \cdot 0.005 = 35095,7 \text{руб.} \end{aligned} \quad (4.33)$$

Таблица 4.10 - Цеховые расходы

Наименование статей расхода	Проектная
Содержание цехового персонала	6827455,6
Амортизация зданий	0
Затраты на реализацию, опыты, исследования	34137,3
Затраты на охрану труда	157556,59
Прочие расходы	35095,7
Итого	7054245,19

4.9. Расчёт экономической эффективности проектных решений

Ожидаемая прибыль:

$$П_{\text{биогаз}} = C_1 \cdot M_{\text{биогаз}} = 3 \cdot 50715 = 152145 \text{руб.}, \quad (4.35)$$

$$П_{\text{биоудобрения}} = C_2 \cdot M_{\text{биоудобрения}} = 55 \cdot 51780 = 2847900 \text{руб.}, \quad (4.36)$$

где C_1 – себестоимость одного м³биогаза, руб;

C_2 –себестоимость одного килограмма биоудобрения, руб;

$M_{\text{биогаз}}$ – производственная мощность, м³/год.

$M_{\text{биоудобрения}}$ – производительная мощность, т/год.

При переработки ТБО выход на каждые 1000м³ газа 1021 кг удобрения, отсюда получаем:

$$M_{\text{биоудобрения}} = \frac{1021 \cdot 50715}{1000} = 51780 \text{ т/год.} \quad (4.37)$$

Налог на прибыль:

$$H_{\text{пр}} = P_{\text{ож}} \cdot K_{\text{нал}} = 3000045 \cdot 20 \div 100 = 600009 \text{ руб.}, \quad (4.38)$$

где $P_{\text{ож}}$ - ожидаемая прибыль, руб.;

$K_{\text{нал}}$ – 20 % налог на прибыль.

Чистая ожидаемая прибыль:

$$P_{\text{чист}} = P_{\text{ож}} - H_{\text{пр}} = 3000045 - 600009 = 2400036 \text{ руб.} \quad (4.39)$$

где $P_{\text{ож}}$ - ожидаемая прибыль, руб.;

$H_{\text{пр}}$ - налог на прибыль, руб.

Срок окупаемости капитальных вложений:

$$T_{\text{ок}} = K_{\text{соп}} \div P_{\text{чист}} = 7310277,5 \div 2400036 = 3,04 \text{ года} \quad (4.40)$$

где $K_{\text{соп}}$ – сопутствующие капитальные затраты, руб.;

$P_{\text{пр}}$ - чистая ожидаемая прибыль, руб.

4.10 Вывод

Таблица 4.11 - Показатели

Показатели	Единицы измерения	Проектный вариант
Производственная мощность	м ³ /год	50715
Себестоимость продукции	руб/т	1688,75
Капитальные вложения	руб	7310277,5
Чистая прибыль	руб	2400036
Срок окупаемости	лет	3,04

В результате произведенного экономического расчета внедрения нового оборудования для переработки ТБО с последующим получением биогаза и биоудобрения, общие капитальные вложения составили 7310277,5 руб., чистая прибыль составляет 2400036 руб., а срок окупаемости – 3,04 года, следовательно, проект эффективен.

БЕЗОПАСНОСТЬ И КОЛОГИЧНОСТЬ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА

5.1 Технологическая характеристика объекта, биогазового комплекса

Расположение биогазового комплекса (БГК) должно быть вблизи источников сырья. Факторами, влияющими на место расположения, являются:

- наличие свободных площадей;
- место предполагаемого складирования переработанного субстрата;
- расположение потребителей выработанного биогаза;
- расположение жилого фонда, школ, детских садов, больниц и т.п.

Предложенная в данном дипломном проекте биогазовая установка может располагаться на территории крупных пищевых комплексов, химических предприятиях и т.д. Расположение БГК займет примерно 40 м². Режим переработки – непрерывный. Вид производственной продукции - производство биогаза (для последующего сжигания на газовых горелках) и органических удобрений. [59]

Биогазовая установка включает в себя такое оборудование как: [60]

- загрузочная емкость;
- измельчитель;
- насос;
- биореактор с автоматикой;
- водогрейный котел;
- емкость для хранения удобрения;
- конденсор;
- ресивер;
- компрессор;
- газгольдер.

Непосредственная задача работников комплекса заключается в наблюдении за процессом производства. [61]

Установка оснащена автоматикой и устройствами контроля, позволяющими контролировать и поддерживать рабочий режим, а также отключать установку в случае аварийных ситуаций: [62]

- падение давления газа ниже минимального уровня;
- превышение максимально допустимого уровня давления газа;
- срабатывание датчика ограничения температуры;
- сбой (падение) в подаче энергии;
- срабатывание газо или пожароизвещателя;
- срабатывание системы температурного контроля воздуха в помещении;
- сбой в работе вентиляции.

Установка оснащена датчиками аварийного отключения по следующим параметрам: [63]

- падение давления газа ниже минимального уровня;
- превышение максимально допустимого уровня давления газа;
- срабатывание датчика ограничения температуры;
- действие датчика аварийного отключения;
- сбой (падение) в подаче энергии; [64]
- срабатывание газо- или пожароизвещателя;
- срабатывание системы температурного контроля воздуха в помещении;
- сбой в работе вентиляции.

Таблица 5.1 - Спецификация оборудования, инструментов для
производственного участка, рабочего места

Технологический процесс	Технологическая операция, вид выполняемых работ	Наименование должности работника, выполняющего технологический процесс, операцию	Оборудование, устройство	Материалы, вещества
Установка по производству биогаза	Сбор пищевых отходов	Оператор БГК	Загрузочная емкость	Углеродистая сталь: 12X18H10T Твердые бытовые отходы. Вода. Анаэробные и аэробные бактерии для биоброжения.
Установка по производству биогаза	Предназначен для измельчения пищевых отходов	Оператор БГК	Измельчитель	Твердые бытовые отходы. Вода. Анаэробные и аэробные бактерии для биоброжения.

Продолжение таблицы 5.1

Технологический процесс	Технологическая операция, вид выполняемых работ	Наименование должности работника, выполняющего технологический процесс, операцию	Оборудование, устройство	Материалы, вещества
Установка по производству биогаза	Предназначен для подачи субстрата в биореактор	Оператор БГК	Насос	Твердые бытовые отходы. Вода. Анаэробные и аэробные бактерии для биображения.
Установка по производству биогаза	Происходит метановое брожение с разложением органических веществ субстрата	Оператор БГК	Металлический биореактор с перемешивающим устройством	Корпус реактора: 09Г2С, рубашка реактора: ВСтЗ, якорная мешалка: 12Х18Н10Т ТБО. Вода. Аэробные Анаэробные и бактерии для биображения.

Продолжение таблицы 5.1

Технологический процесс	Технологическая операция, вид выполняемых работ	Наименование должности работника, выполняющего технологический процесс	Оборудование, устройство	Материалы, вещества
Установка по производству биогаза	Предназначен для накопления сброженной массы и переработка в удобрение	Оператор БГК	Бункер-отстойник	Биоудобрение
Установка по производству биогаза	Предназначен для нагрева воды		Водогрейный котел	Вода
Установка по производству биогаза	Предназначен для накопления и хранения сжатого газа под давлением и для	Оператор БГК	Ресивер	Биогаз

Продолжение таблицы 5.1

Технологический процесс	Технологическая операция, вид выполняемых работ	Наименование должности работника, выполняющего технологический процесс, операцию	Оборудование, устройство	Материалы, вещества
	сглаживания перепадов давления газа.			
Установка по производству биогаза	Предназначен для повышения давления и перемещения биогаза	Оператор БГК	Компрессор	Биогаз
Установка по производству биогаза	Предназначен для хранения биогаза	Оператор БГК	Газгольдер	Биогаз
Установка по производству биогаза	устройство для снижения давления газа	Оператор БГК	Редуктор	Биогаз

5.2 Идентификация профессиональных рисков

Профессиональным риском называется фактор, воздействие которого на работника в определенных условиях приводит к травме или другому внезапному резкому ухудшению здоровья.[19]

Вредным называется производственный фактор, воздействие которого на работника в определенных условиях приводит к постепенному ухудшению здоровья, профессиональному заболеванию или снижению работоспособности. [20]

ГОСТ 12.0.003-74 подразделяет опасные и вредные производственные факторы по происхождению на четыре группы [20]: а). Физические. б) Химические. в) Биологические. г) Психофизиологические.

Идентификация опасных и вредных производственных факторов приведена в таблице 5.2

Таблица 5.2 - Вредные производственные факторы.

Производственно-технологическая и/или эксплуатационно-технологическая операция, вид выполняемых работ	Опасный и /или вредный производственный фактор	Источник опасного и / или вредного производственного фактора
Биогазовая установка	Повышенная температура поверхностей оборудования, трубопроводов.	Нарушение термоизоляции аппаратов и трубопроводов.

Продолжение таблицы 5.2

Производственно-технологическая и/или эксплуатационно-технологическая операция, вид выполняемых работ	Опасный и /или вредный производственный фактор	Источник опасного и /или вредного производственного фактора
	Повышенная или пониженная температура воздуха рабочей зоны	Недостаточное отопление в зимний период, и охлаждение в летний период
	Повышенный уровень шума на рабочем месте	Нарушение шумоизоляции аппаратов и трубопроводов.
	Содержание вредных веществ в воздухе и загазованность рабочей зоны	Возможные утечки: недостаточная герметичность сосудов, своевременная замена противогазов
	Повышенный уровень вибрации	Наличие движущих машин и механизмов
	Монотонность труда рабочих	Операторы наблюдают за приборами в течение 12 часов
	Наличие электричества	Нарушение целостности электрического оборудования

Продолжение таблицы 5.2

Производственно-технологическая и/или эксплуатационно-технологическая операция, вид выполняемых работ	Опасный и /или вредный производственный фактор	Источник опасного и /или вредного производственного фактора
	Подвижные части производственного оборудования	Разрушение динамического оборудования

5.3 Методы и средства снижения профессиональных рисков

В данном разделе подобраны и обоснованы используемые организационно-технические методы и технические средства (способы, устройства) защиты, частичного снижения, или полного устранения опасного и/или вредного производственного фактора. Методы и средства защиты выбираются по действующим на данный момент времени нормативным документам, в зависимости от типа реализуемого технологического процесса, используемого состава производственно-технологического и инженерно-технического оборудования, используемых технических средств ослабления или полного устранения опасного и/или вредного производственного фактора и применяемых для этих целей при необходимости средств индивидуальной защиты работника.

Таблица 5.3 – Методы и средства снижения воздействия опасных и вредных производственных факторов.

Опасный или вредный Производственный фактор	Организационные методы и технические средства защиты, снижения, устранения опасного и / или вредного производственного фактора	Средства индивидуальной защиты работника
Повышенная температура поверхностей оборудования, трубопроводов.	Следить за целостностью изоляции, соблюдение правил эксплуатации оборудования	Спец.одежда: костюм ХБ, рукавицы, каска, обувь
Повышенная или пониженная температура воздуха рабочей зоны	Тепловые завесы применяются в зимний период в корпусах, а в летний системы кондиционирования, для обеспечения нормального температурного режима в производственных помещениях.	Наличие спецодежды, которая соответствует разным климатическим сезонам.
Повышенный уровень шума на рабочем месте	Производить шумоизоляцию мест с помощью использования защитных кожухов, оборудования кабинок	Использование защитных наушников, беруш
Содержание вредных веществ в воздухе и загазованность рабочей зоны	Наблюдать за герметичностью оборудования, коммуникаций, выявлять источники загазованности и немедленно принимать меры для устранения утечек.	Фильтрующие противогазы с коробкой марки «М», "ДОТ М-600"

Продолжение таблицы 5.3

Повышенный уровень вибрации	Выдача в ремонт оборудования с повышенной вибрацией	Использование мягких покрытий на вибрирующих частях приборов или оборудования Использование защитных наушников.
Наличие электричества	Соблюдать правила ГОСТ12.1.030-81.ССБТ Электробезопасность. Защитное заземление.	Диэлектрический инструмент, резиновые перчатки, диэлектрические боты, защитные очки
Подвижные части производственного оборудования	использование защитных ограждений и устройств для движущихся элементов оборудования	Использование спец.одежды, спец.обуви, защитных перчаток.

5.4 Обеспечение пожарной безопасности технического объекта

В данном разделе проводится идентификация потенциального возникновения класса пожара и выявленных опасных факторов пожара с разработкой технических средств и/или организационных методов по обеспечению (улучшению) пожарной безопасности технического объекта (производственно-технологического и инженерно-технического оборудования, произведенной продукции, используемых сырьевых материалов, а также должны быть указаны реализующиеся пожаробезопасные характеристики произведенных технических объектов в процессах их эксплуатации (хранения, конечной утилизации по завершению жизненного цикла). [64]

Идентификация опасных факторов пожара.

1. Классификация пожаров по виду используемого горючего материала

для обозначения (конкретизации) области применения средств пожаротушения.

2. Классификация пожаров по сложности их тушения, производимая при определении состава сил технического персонала и используемых технических средств подразделений пожарной охраны и других технических (вспомогательных) служб, необходимых для тушения пожаров.

3. Классификация опасных факторов пожара, используемая при обосновании разрабатываемых (применяемых) мер пожарной безопасности, необходимых для эффективной защиты людей и материального имущества при пожаре.

Пожары классифицируются по виду горючего материала и подразделяются на следующие классы:

- 1) пожары, связанные с горением твердых горючих веществ и конструкционных материалов (А);
- 2) пожары, связанные с воспламенением и горением жидкостей или плавящихся твердых веществ и материалов (В);
- 3) пожары, связанные с воспламенением и горением газов (С);
- 4) пожары, связанные с воспламенением и горением металлов (D);
- 5) пожары, связанные с воспламенением и горением веществ и материалов электроустановок, находящихся под электрическим напряжением (Е);
- 6) пожары радиоактивных веществ материалов и радиоактивных отходов (F).

Таблица 5.4 – Идентификация классов и опасных факторов пожара.

Участок, подразделение	Оборудование	Класс пожара	Опасные факторы пожара	Сопутствующие проявления факторов пожара
Установка по производству биогаза	Загрузочная емкость	A		
Установка по производству биогаза	Измельчитель	A		
Установка по производству биогаза	Насос	A		
Установка по производству биогаза	Металлический биореактор с перемешивающим устройством	C		
Установка по производству биогаза	Бункер-отстойник	A		
Установка по производству биогаза	Водогрейный котел	E		
Установка по производству биогаза	Ресивер	C		

Продолжение таблицы 5.4

Участок, подразделение	Оборудование	Класс пожара	Опасные факторы пожара	Сопутствующие проявления факторов пожара
Установка по производству биогаза	Компрессор	С		
Установка по производству биогаза	Газгольдер	С		
Установка по производству биогаза	Редуктор	С		

5.5 Разработка технических средств и организационных мероприятий по обеспечению пожарной безопасности технического объекта (дипломного проекта)

Пожаробезопасность обеспечивается за счет систем предотвращения пожара и систем пожарозащиты, организационными и организационно-техническими мероприятиями. Данная установка по виду горючего материала относится к классу «А», «Е», «С» т. е к пожару, связанным:

- с горением твердых горючих веществ и конструкционных материалов;
- с воспламенением и горением веществ и материалов электроустановок, находящихся под электрическим напряжением;
- пожары, связанные с воспламенением и горением газов. [65]

К системе предотвращения пожара относятся: предотвращение образования горючей среды и образования в ней (или внесения в нее) источников зажигания, обеспечение пожарной безопасности технологического

оборудования, электроустановок, систем отопления и вентиляции. К системе пожарозащиты относятся: применение средств пожаротушения, пожарной сигнализации и средств извещения о пожаре, организация пожарной охраны объекта. [66]

5.6 Организационные (организационно-технические) мероприятия по предотвращению пожара.

В данном разделе разрабатываются организационные мероприятия по предотвращению возникновения пожара или опасных факторов способствующих возникновению пожара.

По данному разделу оформляется таблица 5.6

Таблица 5.5 – Организационно-технические мероприятия по обеспечению пожарной безопасности.

Наименование технологического процесса, оборудования технического объекта	Наименование видов реализуемых организационных (организационно-технических) мероприятий	Предъявляемые требования по обеспечению пожарной безопасности, реализуемые эффекты
Установка по производству биогаза	Организация паспортизации веществ, материалов, изделий, технологических процессов, зданий и сооружений в части обеспечения пожарной безопасности. Привлечение общественности к	Определить места и допустимое количество единовременно находящихся на работников; Определить и оборудовать места для курения; Установить порядок уборки горючих отходов и пыли, хранения спецодежды.

Продолжение таблицы 5.5

Наименование технологического процесса, оборудования технического объекта	Наименование видов реализуемых организационных (организационно-технических) мероприятий	Предъявляемые требования по обеспечению пожарной безопасности, реализуемые эффекты
	вопросам обеспечения пожарной безопасности. Организация обучения работающих правилам пожарной безопасности. Разработка инструкций о порядке обращения с пожароопасными веществами и материалами; изготовление средств наглядной агитации. Нормирование численности людей на объекте по условиям их безопасности при пожаре. Разработка мероприятий по действиям администрации и работающих на случай возникновения пожара и организацию эвакуации.	Определить порядок обесточивания электрооборудования в случае пожара и по окончании рабочего дня; регламентировать: порядок проведения временных огневых и других пожароопасных работ; разработать действия работников при обнаружении пожара; определить порядок и сроки прохождения противопожарного инструктажа и занятий по пожарно-техническому минимуму. Разработать и вывесить на видных местах планы (схемы) эвакуации людей в случае пожара, а также

Продолжение таблицы 5.5

Наименование технологического процесса, оборудования технического объекта	Наименование видов реализуемых организационных (организационно-технических) мероприятий	Предъявляемые требования по обеспечению пожарной безопасности, реализуемые эффекты
	людей. Обеспечение необходимых количеств и видов пожарной техники	предусмотреть систему (установку) оповещения людей о пожаре, разработать инструкцию, определяющая действия персонала по эвакуации людей.

5.7 Обеспечение экологической безопасности технического объекта.

В данном разделе проводится идентификация негативных (вредных, опасных) экологических факторов, возникающих при реализации технологического процесса (изготовления, транспортировки), и/или возникающих при эксплуатации проектируемого производственно-технического объекта и/или возникающих при утилизации производственно-технологических отходов и брака, и/или возникающих при утилизации технологического объекта завершившего свой жизненный цикл. Разрабатываются конкретные технические и организационно-технические мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия на окружающую среду производимом данным техническим объектом в процессе его производства, технической эксплуатации и конечной утилизации по завершению его жизненного цикла. [67]

По виду реализуемого производственно-технологического процесса, и осуществляемой функциональной эксплуатацией техническим объектом

необходимо провести идентификацию негативных экологических факторов, результаты которой отразить в таблице 5.7

При идентификации экологических факторов использовать действующие (при наличии – и перспективные нормативные требования, планируемые к введению в будущем) нормативные документы. [68]

Таблица 5.7 – Идентификация экологических факторов технического объекта [69]

Наименование технического объекта, технологического процесса	Структурные составляющие технического объекта, технологического процесса	Воздействие технического объекта на атмосферу (вредные и опасные выбросы в окружающую среду)	Воздействие технического объекта на гидросферу (образующие сточные воды, забор воды из источников водоснабжения)	Воздействие технического объекта на литосферу (почву, растительный покров, недра)
Биогазовая установка,	Загрузочная емкость;	Возможен выброс метана в атмосферу при утечке	отсутствует	Разрушение почвы при строительстве
Получение биогаза при брожении пищевых отходов	Измельчитель; Насос; Металлический биореактор с перемешивающим устройством			

Продолжение таблицы 5.7

Наименование технического объекта, технологического процесса	Структурные составляющие технического объекта, технологического процесса	Воздействие технического объекта на атмосферу (вредные и опасные выбросы в окружающую среду)	Воздействие технического объекта на гидросферу (образующие сточные воды, забор воды из источников водоснабжения)	Воздействие технического объекта на литосферу (почву, растительный покров, недра)
	Бункер-отстойник; Водогрейный Котел; Ресивер; Компрессор; Газгольдер; Редуктор; Коммуникации;			

Необходимо разработать мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия на окружающую среду рассматриваемого технического объекта (дипломного проекта), согласно нормативных документов оформить Таблицу 5.8 [70]

Таблица 5.8 – Разработанные организационно-технические мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия технического объекта на окружающую среду.

Наименование технического объекта	Установка по производству биогаза
Мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия на атмосферу	Чтобы не допустить опасных выбросов метана в атмосферу, необходимо постоянно соблюдать технологический режим, следить за давлением в системе и не допускать разгерметизации оборудования.
Мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия на гидросферу	Негативное воздействие на гидросферу отсутствует.
Мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия на литосферу	Кроме разрушения почвы при строительстве никаких негативных воздействий на почву не будет производиться, следовательно мероприятия по снижению негативного воздействия на литосферу проводиться не будут.

5.8 Вывод

1. В разделе «Безопасность и экологичность технического объекта» приведена характеристика технологического процесса переработки твердых бытовых отходов, перечислены технологические операции, должности работников, производственно-техническое и инженерно-техническое оборудование, применяемые сырьевые технологические и расходные материалы, комплектующие изделия и производимые изделия (таблица 1).

2. Проведена идентификация профессиональных рисков по осуществляемому технологическому процессу переработки твердых бытовых отходов, выполняемым технологическим операциям, видам производимых работ. В качестве опасных и вредных производственных факторов идентифицированы следующие параметры: повышенная температура поверхностей оборудования, трубопроводов; повышенная или пониженная температура воздуха рабочей зоны; повышенный уровень шума на рабочем месте; содержание вредных веществ в воздухе и загазованность рабочей зоны; повышенный уровень вибрации; излучение; монотонность труда рабочих; наличие электричества; подвижные части производственного оборудования (таблица 2).

3. Разработаны организационно-технические мероприятия, включающие технические устройства снижения профессиональных рисков, а именно:

следить за целостностью изоляции; соблюдение правил эксплуатации оборудования; применять тепловые занавесы в зимний период в корпусах, и системы кондиционирования в летний, для обеспечения нормального температурного режима в производственных помещениях; производить звукоизоляцию шумных мест с помощью использования защитных кожухов, оборудования кабинок. Произвести отделку помещений звукопоглощающими материалами; следить за герметичностью оборудования, коммуникаций, выявлять источники загазованности и немедленно принимать меры для устранения пропусков. Организация ремонта оборудования с повышенной вибрацией. Соблюдать правила электробезопасности ГОСТ12.1.030-81.ССБТ; произвести защитное заземление, зануление; использование защитных ограждений и устройств для движущихся элементов оборудования; проверка герметичность оборудования; своевременная замена противогазов.

Подобраны средства индивидуальной защиты для работников (таблица 3).

4. Разработаны мероприятия по обеспечению пожарной безопасности технического объекта. Проведена идентификация класса пожара и опасных факторов пожара и разработка средств, методов и мер обеспечения пожарной безопасности (таблица 4). Разработаны средства, методы и меры обеспечения пожарной безопасности (таблица 5). Разработаны мероприятия по обеспечению пожарной безопасности на техническом объекте (таблица 6).

5. Идентифицированы экологические факторы в соответствии с федеральными законами от 04.05.1999 № 96-ФЗ "Об охране атмосферного воздуха", и «Федеральный закон от 24.06.1998 № 89-ФЗ "Об отходах производства и потребления", водный кодекс Российской Федерации» от 03.06.2006 № 74-ФЗ (таблица 7). Также разработаны мероприятия по обеспечению экологической безопасности на техническом объекте в соответствии с федеральным законом от 10.01.2002 № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды», и федеральным законом от 04.11.2004 № 128-ФЗ «О ратификации Киотского протокола к рамочной Конвенции Организации Объединённых Наций об изменении климата» (таблица 8).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе были рассмотрены теоретические аспекты процесса переработки твердых бытовых отходов и получение биогаза и высокоэффективного биоудобрения. Выполнены технологические и конструктивные расчеты основного и вспомогательного оборудования биогазовой установки. Расчет экономической части проекта, показал, что разработка и внедрение биогазовой установки является целесообразным. Срок окупаемости составляет проекта 3 года. Безопасность рабочего места представлена в разделе «Безопасность и экологичность проекта».

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Петров, В.Г. Линии сортировки мусора. Перспективы применения / В.Г. Петров, А.А. Чечина. – Изд-во Института прикладной механики УрО РАН, 2005- 112 с.
- 2 Рихванова, М.А. // Волна / М.А. Рихванова. 2000. № 2. С.26-35.
- 3 Инструкция по проектированию, эксплуатации и рекультивации полигонов для твердых бытовых отходов: утв. Минстроем России 02.11.96, согласована с Госкомсанэпиднадзором России 10.06.96 -№01-8/1711.
- 4 Веденеев, А.Г. «Биогазовые установки», 2005, ОФ. «Флюид» Ассоциации «Фермер».
- 5 ОФ «Флюид». «Биоэнергетические модули для анаэробного сбраживания навоза типа БЭМС с реакторами объемом 5,0; 25,0; 50,0; 100,0 м3». Руководство по эксплуатации , 2004. Бишкек.
- 6 Трутнев Ю. П. Нужно ли строить в России мусоросжигательные заводы? // Твердые бытовые отходы. - 2007. - № 1. 9-12 с.
- 7 Тугов А. Н. Киловатты из мусора // Твердые бытовые отходы. -2007. - № 1. 11-16 с.
- 8 Колотырин К. П. Управление развитием эколого-экономических систем в сфере обращения с отходами потребления. Автореферат диссертации на соискание ученой степени д. э. н. по специальности 08.00.05. -Саратов, 2010, - 39 с.
- 9 Шудегов В. Е. Обращение с отходами: проблемы законодательного обеспечения и государственное регулирование // Твердые бытовые отходы. - 2007. - № 1.- 4-9 с.
- 10 Принцип «отходы - в доходы» -наш принцип! // Твердые бытовые отходы. - 2010. - № 10. - 26-29 с.
- 11 Билитевски Б. Сжигание отходов: опыт Германии // Твердые бытовые отходы. - 2007. - № 1. - 47-49 с.

- 12 Сурков Д. П. Британии придется импортировать мусор, чтобы «прокормить» новые перерабатывающие заводы //Рециклинг отходов. -2010. - № 4. 23 с.
- 13 Волкова. Г. П. Пекин через несколько лет ожидает «мусорный кризис» // Рециклинг отходов. - 2009. -№ 3. - 27 с.
- 14 Образовательный портал [электронный ресурс] / Лисичкин Г. В. Экологический кризис и пути его преодоления //Режим <http://www.pereplet.ru/obrazovanie/stsoros/686.html>, свободный (Дата обращения 24.03.2016)
- 15 Васильев С. Управление отходами: из опыта ближнего зарубежья // Рециклинг отходов. - 2009. - № 3. - 22-25 с.
- 16 Обзор рынка переработки отходов // Твердые бытовые отходы. - 2010. - № 5. - 42-46 с.
- 17 Лащинский А. А, Конструирование сварных химических аппаратов: Справочник . Л .: Машиностроение, – 1981. – 382 с.
- 18 Кравченко Д.Б. Экономико-экологическое управление системой утилизации твердых бытовых отходов : автореф. дис. на соиск. учен. степ. к.э.н. Кравченко Д.Б.
- 19 Сена, Л.А. Единицы физических величин и их размерности: учебно-справочное руководство / Л.А. Сена : - 3-е изд., перераб. и доп. - М.: Наука, 1988. - 432 с
- 20 Чернов,Г.В. Антропогенная эпоха мусора. – 2008. №48, – 14-15 с.
- 21 Систер В.Г. Мирный А.Н., Скворцов Л.С. и др. Твердые бытовые отходы (сбор, транспорт и обезвреживание). Справочник. – М., Академия коммунального хозяйства им. К.Д.Памфилова, – 2001. – 319 с.
- 22 Мусорный рынок затарен [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://wood-pellets.com>.
- 23 Некрасов, Б.В. Краткий справочник химика / Под ред. Б.В. Некрасова - М.-Л.: Химия, 1964. - 559 с.

- 24 Дубровский, В.Д. «Метановое сбраживание сельскохозяйственных отходов» / В.Д. Дубровский, У.А. Виестур, 1988, Рига «Зинатне».
- 25 Сариев В.Н. Пути достижения оптимального хозяйствования твердыми муниципальными отходами. М., 5, – 1995. – 73-75 с.
- 26 Бударин, В.А. «Определение воздействия жидких органических удобрений (ЖОУ) на черенкование и развитие некоторых видов растений» / В.А. Бударин, С.К. Кыдыралиев, В.И. Цветчих, Л.В. Бударина. Институт энергетики и электроники ЮО НАН КР, Институт биосферы ЮО НАН КР, Областной детский центр экологии, краеведения и технического творчества (ОДЦ ЭКиТТ), г. Джалалабад.
- 27 Дубровский, В.Д. «Метановое сбраживание сельскохозяйственных отходов» / В.Д. Дубровский, У.А. Виестур, 1988, Рига «Зинатне».
- 28 Некрасов, В.Н. «Микробиологическая анаэробная конверсия биомассы» / В.Н. Некрасов // 2001, рукопись.
- 29 Гелетуха, Г.Г. Скважина в пригороде. Утилизация свалочного газа / Г.Г. Гелетуха, Ю.А. Матвеев, К.Н. Копейкин // Деньги и Технологии, 2002, №4, - 34-45 с.
- 30 Кабанов, В.А. Энциклопедия Полимеров / П - Я; ред. коллегия: В.А. Кабанов (глав.ред) [и др.] Т.3 - М. "Советская Энциклопедия", 1977. - 1152 с.
- 31 Систер, В.Г., Твердые бытовые отходы (сбор, транспорт и обезвреживание) / В.Г. Систер, А.Н.. Мирный, Л.С. Скворцов. Справочник. – М., Академия коммунального хозяйства им. К.Д.Памфилова, 2001. 319 с.
- 32 Журнал "Итоги" №18 за 1999 г. "СУДЬБЫ ВЫВОЗА МУСОРА У "НИХ" И У НАС".
- 33 Бордунов, В.В, Вариант Комплексной переработки твердых бытовых отходов / В.В. Бордунов, В.В. Леоненко, Экол. и пром-ть России. 2004. - 32-33 с.
- 34 Шубов, Л.Я., Технология отходов мегаполиса. Технические процессы в сервисе / Л.Я. Шубов, М.Е. Ставрорский, Д.В. Шехирев, Учебное пособие. – М.: 2002. 120 с.

- 35 Патент Российской Федерации RU2244203. МОКРЫЙ ГАЗГОЛЬДЕР ПЕРЕМЕННОЙ ЕМКОСТИ. Имя изобретателя: Андрюхин Тимофей Яковлевич Имя патентообладателя: Андрюхин Тимофей Яковлевич Адрес для переписки: 125445, Москва, Ленинградское ш., 112/1-4, кв.930,Т.Я.Андрюхину. Дата начала действия патента: 2003.07.28
- 36 Тимонин, А.С. Основы конструирования и расчёта химико-технологического и природоохранного оборудования / А.С. Тимонин. Справочник Т.1. – Калуга: Издательство Бочкарёвой Н.Ф., 2006. – 852 с.
- 37 Туровец, О.Г. Организация производства и управление предприятием./ О.Г. Туровец, М.И. Бухалков, В.Б. Родинов; - М.: ИНФРА-М, 2002. - 528 с.
- 38 Лашинский, А.А.Основы конструирования и расчёта химической аппаратуры / Лашинский А.А., Толчинский А.Р.: "Машиностроение", 1970 г.- 752 с.
- 39 Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков А.А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии. Учебное пособие для вузов/Под ред.чл.-корр.АН СССР П.Г.Романкова. - 10-е изд., перераб. и доп. - Л.: Химия, 1987. - 576 с.
- 40 Основные процессы и аппараты химической технологии: Пособие по проектированию/Г. С. Борисов, В.П.Брыков, Ю.И. Дытнерский и др. Под ред.Ю.И.Дытнерского, 2-е изд., перераб. и дополн. М.:Химия, 1991. - 496 с.
- 41 Иоффе И.Л. Проектирование процессов и аппаратов химической технологии: Учебник для техникумов. - Л.: Химия, 1991. -352 с., ил.
- 42 Гельперин Н.И. Основные процессы и аппараты химической технологии. В двух книгах. Книга 1. -М.: Химия, 1981 - 812 с., ил.
- 43 Гельперин Н.И. Основные процессы и аппараты химической технологии. В двух книгах. Книга 2. -М.: Химия, 1981 - 812 с., ил.
- 45 Дытнерский Ю.И. Процессы и аппараты химической технологии: Учебник для вузов. Изд. 2-е. В 2-х кн. Часть 1. Теоретические основы

процессов химической технологии. Гидромеханические и тепловые процессы и аппараты. М.: Химия, 1995. - 400 с.: ил.

46 Дытнерский Ю.И. Процессы и аппараты химической технологии: Учебник для вызов. Изд. 2-е. В 2-х кн. Часть 2. Массообменные процессы и аппараты. М.: Химия, 1995. - 368 с.: ил.

47 Общая химическая технология: Учеб.для химико-техн.спец.вузов. В 2-х т. Т.1: Теоретические основы химической технологии/И.П.Мухлёнов, А.Я.Авербух, Е.С.Тумаркина и др.; Под ред. И.П.Мухлёнова.- 4-е изд., перераб. и доп.- М.: Высш.шк., 1984.- 256 с., ил.

48 Общая химическая технология: Учеб.для химико-техн.спец.вузов. В 2-х т. Т.2: Важнейшие химические производства. Изд. 3-е, перераб. и доп.- М.: "Высш.школа", 1977

49 А.Н.Плановский, В.Н.Рамм, С.З.Коган. Процессы и аппараты химической технологии.ч.1

50 А.Н.Плановский, В.Н.Рамм, С.З.Коган. Процессы и аппараты химической технологии.ч.2

51 А.Н.Плановский, В.Н.Рамм, С.З.Коган. Процессы и аппараты химической технологии.ч.3

52 Справочник химика. Том 5. Сырье и продукты промышленности неорганических веществ. Процессы и аппараты. Коррозия. Гальванотехника. Химические источники тока. 2 изд., перераб. и допол., Изд-во "Химия", Л, М. 1968

53 Справочник химика. Том 6. Сырье и продукты промышленности органических веществ. 2 изд., перераб. и допол., Изд-во "Химия", Л, М. 1967

54 Справочник химика. дополнительный том. Номенклатура органических соединений. Техника безопасности. Сводный предметный указатель. 2 изд., перераб., Изд-во "Химия", Л, 1968

55 Водоподготовка: Справочник. / Под ред. д.т.н., действительного члена Академии промышленной экологии С.Е.Беликова. М.: Аква-Терм, 2007. - 240 с.

- 56 Фрог Б.Н., Левченко А.П. Водоподготовка: Учебн. пособие для вузов. М., Издательство МГУ, 1996 г. 680 с.; 178 ил.
- 57 Очистка и использование сточных вод в промышленном водоснабжении / А.М.Когановский, Н.А.Клименко, Т.М.Левченко, Р.М.Марутовский, И.Г.Рода. - М.: Химия, 1983. -288 с., ил.
- 58 Теплофизические свойства газообразного и жидкого метана: ГСССД. Серия монографий. /Авт.: В.А.Загорульченко, А.М.Журавлёв - . М.: Издательство стандартов, 1969
- 59 Термодинамические свойства индивидуальных веществ. Справочное издание: В 4-х т./ Л.В.Гурвич, И.В.Вейц, В.А.Медведев и др. -3-е изд., перераб. и расширен. - Т.1.Кн.2 - М.: Наука, 1978. - 328 с.
- 60 Термодинамические свойства индивидуальных веществ. Справочное издание: В 4-х т./ Л.В.Гурвич, И.В.Вейц, В.А.Медведев и др. -3-е изд., перераб. и расширен. - Т.2.Кн.1 - М.: Наука, 1979. - 440 с.
- 61 Конструкционные материалы: Справочник / Б.Н.Арзамасов, В.А.Брострем, Н.А.Буше и др.; Под общ.ред. Б.Н.Арзамасова. - М.: Машиностроение, 1990. - 688 с.; ил. - (Основы проектирования машин)
62. Химические свойства неорганических веществ: Учеб. пособие для вузов. 3-е изд., испр./ Р.А.Лидин, В.А. Молочко, Л.Л.Андреева; Под ред. Р.А.Лидина. - М.: Химия, 2000. 480 с.: ил.
- 63 Материалы в приборостроении и автоматике: Справочник / Под ред. Ю.М.Пятина. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Машиностроение, 1982. - 528 с., ил.
- 64 Н.Б.Ваграфик / Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей, 2-е изд. доп. и перераб., Изд-во "Наука", -М.: 1972
- 65 Дворецкий С.И., Кормильцин Г.С., Калинин В.Ф. / Основы проектирования химических производств: Учебн. пособие. М.: Издательство "Машиностроение-1", 2005, 280 с.

66 Проектирование пищевых производств: программа, метод, указания и задания / Сост.Е.В.Хабарова. - Тамбов: Изд-во Тамб.гос. техн. ун-та, 2007. 16 с. - 100 экз

67 П.С.Нанасов / Управление проектно-строительным процессом (теория, правила, практика): Учебное пособие. Издательство АСВ, -М.: 2005, 160 с.

68 Монтаж трубопроводов. Справочник рабочего / А. А. Персион, К.А.Гарус. - К.: Будивельник, 1987. -208 с.

69 Альперт Л.З. / Основы проектирования химических установок: Учеб. пособие для учащихся химико-механич.спец. техникумов. - 4-е изд., перераб. и доп. - М.: Высш.шк., 1989. - 304 с.; ил.

70 Курс физической химии. Том 2. / под.ред. Я.И.Герасимова изд. 3-е испр., - М.: Химия, 1973

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Перв. примен.		Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
						Документация		
		A1			16.ДП.ХХПлТ.6.62.00.000 СБ	Сборочный чертеж		
						Сборочные единицы		
Справ. №			1		16.ДП.ХХПлТ.6.62.01.000	Крышка	1	
			2		16.ДП.ХХПлТ.6.62.02.000	Рубашка МЗ	1	
			3		16.ДП.ХХПлТ.6.62.03.000	Обечайка 3600x20	1	
			4		16.ДП.ХХПлТ.6.62.04.000	Обечайка 3600x14	1	
			5		16.ДП.ХХПлТ.6.62.05.000	Днище 3000x20	1	
			6		16.ДП.ХХПлТ.6.62.06.000	Днище 3200x14	1	
			7		16.ДП.ХХПлТ.6.62.07.000	Штуцер Ду1100	12	
			8		16.ДП.ХХПлТ.6.62.08.000	Люк Ду500	5	
			9		16.ДП.ХХПлТ.6.62.09.000	Теплообменник	1	
			10		16.ДП.ХХПлТ.6.62.10.000	Люк Ду500 Ру10	3	
			11		16.ДП.ХХПлТ.6.62.11.000	Люк Ду400 Ру16	1	
			12		16.ДП.ХХПлТ.6.62.12.000	Штуцер	16	
			13		16.ДП.ХХПлТ.6.62.13.000	Штуцер	5	
Подп. и дата						Стандартные изделия		
			1			Болт М20х90		
						ОСТ26-2037-96	32	20х13
			2			Гайка М20		
Подп. и дата						ОСТ26-2038-96	32	20х13
					16.ДП.ХХПлТ.6.62. 00.000 СБ			
Инв. № подл.	Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Металлический реактор Сборочный чертеж		
	Разраб.	Желтоухова						
	Проб.	Щукин						
	Н.контр.	Петрова						
	Утв.	Остапенко				Лит. Лист Листов 1 2 ТГУ, ИХиИЗ, гр. МАХПз-1001		

Копировал

Формат А4

Продолжение приложения А

[illegible]

Копировал

Формат А4