

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 технологии утилизации тепла контактного газа
разложения диметилдиоксана и высококипящих продуктов»

Студент(ка)	Т.М. Юдинцева	
	(И.О. Фамилия)	(личная подпись)
Руководитель	Ю.В. Чариков	
	(И.О. Фамилия)	(личная подпись)
Консультанты	А.Е. Краснослободцева	
	(И.О. Фамилия)	(личная подпись)
	К.Ш. Нуров	
	(И.О. Фамилия)	(личная подпись)
Нормоконтроль	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 Юдинцева Татьяна Михайловна

- 1. Тема** «Разработка технологии утилизации тепла контактного газа разложения диметилдиоксана и высококипящих побочных продуктов».
- 2. Срок сдачи законченного дипломного проекта** 16 июня 2016 г.
- 3. Исходные данные к проекту (работе)** Производство изопрена, установка И-9.
- 4. Содержание дипломного проекта (перечень подлежащих разработке вопросов)** Аналитическая часть - обзор и описание действующей технологической схемы производства изопрена. Технологическая часть – описание технологической схемы получения изопрена. Расчетная часть - материальный и тепловой баланс стадии утилизации тепла контактного газа разложения и высококипящих побочных продуктов. Экономическое обоснование предлагаемого проекта - расчет капитальных вложений (инвестиций) по проектному варианту. Расчет эффективности и проектных решений. Безопасность и экологичность проекта- описание рабочего места, оборудования и выполняемых технологических операций. Опасные и вредные производственные факторы Мероприятия по разработке безопасных условий труда.

5. Ориентировочный перечень графического и иллюстративного материала

- 5.1 Схема производства изопрена.
- 5.2 Принципиальная схема установки И-3-9.
- 5.3 Схема разводка пара установки И-9.
- 5.4 Теплообменник.
- 5.5 Теплообменник. Детализация люка.
- 5.6 Теплообменник. Детализация опоры.
- 5.7 Сводная таблица технико-экономической эффективности проекта.
- 5.8 Таблица теплового баланса.

6. Консультанты по разделам

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

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

Руководитель дипломного проекта	_____	_____
	(подпись)	(И.О. Фамилия)
Задание принял к исполнению	_____	_____
	(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

выполнения дипломного проекта

Студента Юдинцевой Татьяны Михайловны

по теме «Разработка технологии утилизации тепла контактного газа разложения диметилдиоксана и высококипящих побочных продуктов».

Наименование раздела работы	Плановый срок выполнения раздела	Фактический срок выполнения раздела	Отметка о выполнении	Подпись руководителя
Введение	10.03.2016			
Аналитическая часть	20.03.2016			
Расчетно-технологическая часть	20.04.2016			
Экономическая часть	15.05.2016			
Безопасность и экологичность проекта	25.05.2016			
Нормоконтроль	05.06.2016			
Выполнение чертежей	01.06.2016			
Заключение	02.06.2016			
Предварительная защита	09.06.2016			
Оформление работы				

Руководитель дипломного проекта

_____ (подпись)

Ю.В. Чариков
(И.О. Фамилия)

Задание принял к исполнению

_____ (подпись)

Т.М. Юдинцева
(И.О. Фамилия)

АННОТАЦИЯ

Дипломный проект на тему «Разработка технологии утидизации тепла контактного газа разложения диметилдиоксана и высококипящих побочных продуктов» состоит из 96 страниц. В данной работе содержится 2 рисунка, 26 таблиц и 8 графических листов. Для составления этой работы было использовано 70 литературных источников, включая рабочие инструкции, учебно-методические пособия и нормативно-правовая литература.

В данном проекте рассматривается модернизация кожухотрубного теплообменника на установке И-3-9 утилизации тепла контактного газа разложения диметилдиоксана и высококипящих побочных продуктов и получение вторичного пара, для снижения затрат на приобретение энергоресурсов и получение дополнительной прибыли.

В литературном обзоре рассмотрен и систематизирован материал о способе получения изопрена и синтетических изопреновых каучуков.

В расчетно-технологическом разделе приведены теоретические основы процесса, а также описание технологической схемы процесса утилизации тепла контактного газа разложения диметилдиоксана и высококипящих побочных продуктов.

В разделе экономическое обоснование проекта приведен экономический расчет работ по внедрению технологии, что с экономической точки зрения привело к снижению затрат производства на приобретение энергоносителей и получению дополнительной прибыли. Так же имеется раздел по безопасности и экологичности технического объекта.

Внедрение данного дипломного проекта возможно в производстве изопрена на установке И-3-9, ООО «СИБУР-Тольятти».

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	8
ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ.....	10
1 АНАЛИТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ.....	10
1.1 Литературный обзор.....	10
1.2 Свойства получения изопрена.....	14
2 РАСЧЕТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ.....	22
2.1 Описание технологического процесса и схемы конденсации контактного газа разложения диметилдиоксана и высококипящих побочных продуктов.....	22
2.2 Технологическая схема получения вторичного пара при утилизации тепла контактного газа разложения диметилдиоксана и высококипящих побочных продуктов.....	27
2.3 Технологические расчеты.....	30
2.3.1 Материальный баланс.....	30
2.3.2 Тепловой баланс.....	33
2.3.3 Конструктивный расчет теплообменника.....	35
2.3.4 Расчет на прочность.....	37
3 БЕЗОПАСНОСТЬ И ЭКОЛОГИЧНОСТЬ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА.....	59
3.1 Характеристика технологического объекта.....	59
3.2 Идентификация профессиональных рисков.....	60
3.3 Методы и средства снижения профессиональных рисков.....	61
3.4 Обеспечение пожарной безопасности технического объекта.....	63
3.4.1 Идентификация опасных факторов пожара.....	63
3.4.2 Разработка технических средств и организационных мероприятий по обеспечению пожарной безопасности технического объекта.....	64
3.4.3 Организационные (организационно-технические) мероприятия по предотвращению пожара.....	66
3.5 Обеспечение экологической безопасности технического объекта.....	68

3.5.1 Идентификация экологических факторов технического объекта.....	68
3.5.2 Разработанные организационно-технические мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия технического объекта на окружающую среду.....	69
4 ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ.....	73
4.1 Технологическое описание и маркетинговый анализ.....	73
4.2 Расчёт годовой производственной мощности.....	74
4.3 Расчет капитальных вложений.....	74
4.4 Организация труда рабочих.....	75
4.5 Заработная плата рабочих.....	78
4.6 Расчет годового фонда заработной платы ИТР.....	80
4.7 Расчёт себестоимости продукции.....	83
4.8 Расчет расходов на содержание и эксплуатацию оборудования.....	83
4.9 Расчет цеховых расходов.....	84
4.10 Расчёт экономической эффективности проектных решений.....	87
4.11 Вывод.....	88
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	89
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	90

ВВЕДЕНИЕ

Изопреновый каучук – один из самых востребованных каучуков. Он занимает доминирующее положение в общем объеме производства каучуков и латексов. Его производительность достигает 640 тыс. тонн в год. Россия занимает одно из лидирующих мест в мире по производству синтетических изопреновых каучуков. Первыми заводами производства СКИ стали Волжский и Куйбышевский. Позже производство налажено в Стерлитамаке и крупнейшее производство на комбинате в Нижнекамске.

Каучук СКИ (синтетический каучук изопреновый) относится к каучукам общего назначения. Изопреновый каучук применяют вместо натурального каучука в производстве автомобильных шин (основная область применения), при изготовлении практически всех резиновых изделий (резинотехнические изделия и широкий ассортимент резиновой обуви) как самостоятельно, так и в сочетании с другими каучуками. Изопреновый каучук, содержащий неокрашивающие антиоксиданты, используют для получения цветных изделий широкого потребления: игрушки, спортивный инвентарь и др. Каучуки, заправленные нетоксичными антиоксидантами, применяют для изготовления медицинских изделий, соприкасающихся с пищевыми продуктами.

Специальные марки СКИ используют для производства вакуумных резин и в кабельной промышленности для изготовления электроизоляционных материалов. На основе СКИ готовят латекс изопренового каучука, используемый для получения губчатых резин и различных пленочных изделий.

Изопреновый каучук – это продукт стереоспецифической растворной полимеризации изопрена.

Производство изопрена на ООО «Тольяттикаучук» было введено в эксплуатацию в 1964 году, в цехах группы «И» завода по производству изопрена и изопренового каучука.

Первоначальный проект производства, с мощностью 45 000 т/год был выполнен Гипрокаучуком г. Москва на основании задания на проектирование,

утвержденного Заместителем Министра химической промышленности Фроловым А.Я. от 18 августа 1956 года.

Получение изопрена запроектировано из изобутилена и формальдегида.

Проект наращивания мощности до 90000 т/год выполнен Гипрокаучуком г. Москва в 1967 году.

Технологический процесс получения изопрена из изобутилена и формальдегида разработал ВИНЕФТЕХИМ г. Ленинград под руководством М.С. Немцова.

Целью данной работы является модернизация кожухотрубного теплообменника на установке И-3-9 утилизации тепла контактного газа разложения диметилдиоксана и высококипящих побочных продуктов и получение вторичного пара, для снижения затрат на приобретение энергоресурсов и получение дополнительной прибыли.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

1 АНАЛИТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

1.1 Литературный обзор

Синтетический изопреновый каучук является аналогом натурального каучука, синтез СКИ был осуществлен, но свойств натурального каучука в полной мере достичь не удавалось. [1] Причину этого установили, когда изучили пространственное строение натурального каучука. Оказалось, что он имеет стереорегулярное строение, группы $-\text{CH}_2$ в макромолекулах каучука расположены не беспорядочно, а по одну и ту же сторону двойной связи в каждом звене, то есть находиться в цис- положении. [2]

При исследованиях полимеризации изопрена в 1949 г. впервые был синтезирован полиизопрен, содержащий около 90% 1,4-звеньев (из них 70% 1,4-цис-). Каучук, который получил название СКИ-1, синтезировали полимеризацией изопрена в газовой фазе в присутствии металлического лития. Параллельно проводились работы по полимеризации изопрена в растворе в присутствии литийорганических соединений (каучук СКИ-2). Применение таких катализаторов позволило получить стереорегулярный изопреновый каучук с преимущественным содержанием 1,4-цис-звеньев (90–92%).

Открытие в 1954-1955 гг. комплексных катализаторов Циглера-Натта дало новый импульс для широких исследований полимеризации 1,3-диеновых углеводородов. Производство изопренового каучука было впервые открыто в США в 1958 г. В России за короткий срок была разработана промышленная технология получения цис-1,4-полиизопрена (содержание цис-1,4-звеньев 96-98%), в 1964 г. запущены первые заводы по производству изопренового каучука (СКИ).

Торговые марки изопренового каучука: отечественный – СКИ-3, зарубежный – америпол SN, IR-307, IR-310, натсин, эуропрен, курапрен. [3]

Выпускаемый отечественной промышленностью изопреновый каучук СКИ-3 по своим показателям практически не уступал зарубежным аналогам.

Таблица 1.1- Характеристики изопреновых каучуков, производимых в разных странах

Показатели	СКИ-3 (Россия)	Натсин 2200 (США)	Эуропрен JR-80 (Италия)	Курапрен JR-10 (Япония)
Содержание звеньев, %:				
1,4-цис-	98,5	98,6	98,0	98,2
1,4-транс-	0,8	0,7	1,2	1,3
3,4-	0,7	0,7	0,8	0,5
Средневязкостная молекулярная масса, $\cdot 10^{-3}$	878,3	722,8	574,1	762,7
Содержание гель-фракции в гексане, %	4,5	23	20	20
Индекс набухания гель-фракции в гексане	130	41	62	44
Степень кристалличности, %	30	30	28	29
Индукционный период кристаллизации, ч	3,0	5,0	4,5	-
Потеря массы при 105 ⁰ С, %	0,34	0,57	0,50	0,65
Содержание, % (масс.):				
Золы	0,22	0,24	0,09	0,19
Меди ($\cdot 10^4$)	0,3	0,09	0,20	следы
Железа ($\cdot 10^3$)	1,2	1,0	1,2	2,0
Титана ($\cdot 10^2$)	5,6	5,8	2,3	1,7
Стабилизатор	Аминного типа	Ионол	Фенольного типа	Ионол
Индекс сохранения пластичности, % (140 ⁰ С, 30 мин)	82	79	65	65
Индекс сохранения характеристической вязкости после вальцевания, % (120 ⁰ С, 10 мин)	96	89	85	85
Константа релаксации напряжения резины $\cdot 10^3$, мин ⁻¹ (120 ⁰ С, воздух)	2,0	3,3	3,9	3,8

Открытие промышленного производства стереорегулярного каучука СКИ явилось крупным научным и научно-техническим достижением ученых: достигнут химический состав изопрена идентичный натуральному каучуку, но некоторые различия все же имеются в составе у изопренового каучука с натуральным каучуком. [4]

Синтетические изопреновые каучуки уступают натуральному главным образом по когезионной прочности и клейкости сырых резиновых смесей, кроме того, имеются различия и в свойствах вулканизатов. В целях устранения этих недостатков были проведены исследования по модификации синтетического изопренового каучука, что привело к созданию технологий получения разных марок модифицированных изопреновых каучуков:

- СКИ-3Д – каучук диэлектрического назначения, при его получении проводят более тщательную отмывку полимеризата от примесей ионов металлов;
- СКИ-3В – вакуумированный каучук с пониженным содержанием летучих примесей;
- СКИ-3П – пищевой каучук, не содержащий противостарителей аминного типа и других вредных примесей;
- СКИ-3С – светлый каучук, в его состав входит нетемнеющий противостаритель фенольного типа агидол-2.

На основе каучука СКИ-3 разработаны различные модифицированные варианты 1,4-цис-полиизопренов, причем, как правило, при их получении сохраняется технология синтеза и выделения каучука:

- СКИ-3-01 – модифицирован п-нитрозодифиниламином (ПНДФА), вводимым в количестве 0,2 – 0,3% (масс.); такой каучук близок к натуральному по клейкости сырых резиновых смесей, но характеризуется нестабильностью пластичности при хранении. Введение специальной стабилизирующей добавки позволяет устранить этот недостаток, и такой каучук выпускают для использования в составе резин для крупногабаритных шин под торговой маркой СКИ-3-01 КГШ;
- СКИ-3-05 – каучук, также модифицированный с помощью ПНДФА [0,4 – 0,5% (масс.) в расчете на каучук], но с добавлением в качестве кислоты Льюиса, блокирующей свободные аминные группы модификатора, хлорид цинка [0,1% (масс.) в расчете на полимер];

- СКИ-3-08 – каучук, также модифицированный с помощью ПНДФА, но вместо хлорида цинка в него вводят динонилнафталинсульфокислоту (продукт НД);
- СКИ-3БЛК – серия изопреновых каучуков, модифицированные белками; в таких каучуках основным модификатором является обычно ПНДФА, а дополнительным – белок. Из этой серии каучуков наибольший практический интерес представляют СКИ-3-01 с введением в них кератина (1,3%), лецитина (0,05 – 0,1%) и белка. Такие каучуки по когезионной прочности превосходят каучук СКИ-3 и приближаются к НК;
- СКИ-3КП – каучук с повышенной когезионной прочностью, модифицированный производными алкилфенолоаминных смол. Которые обладают к тому же свойствами противостарителя. [5]

Недавно в России освоено производство нового типа изопренового каучука – СКИ-5. Этот безгелевый каучук, содержащий 98 – 100% 1,4-цис-звеньев, по молекулярной массе близок к «титановому» СКИ-3, но обладает более широким молекулярно-массовым распределением (таким же, как натуральный каучук). Каучук получают с помощью полимеризации в растворе на каталитическом комплексе, состоящем из соединений неодима (хлоридов или карбоксилатов, чаще октаноатов) и триизобутилалюминия, диизобутилалюминийгидрида или их смеси. В качестве модификатора каталитической системы применяют такие электродоноры, как этиловый спирт или трибутилфосфат. [6] Особенностью этой системы является то, что неодим не меняет своей степени окисления (Nd^{3+}), поэтому он не оказывает влияния на старение полимера, и такой каучук не требует тщательной отмывки от остатков каталитического комплекса.

Затраты на производство СКИ из изопрена обычно составляют 25-30% от себестоимости СКИ, т.е. эффективность производства в целом определяют затраты на производство изопрена. Поэтому основное внимание уделяют совершенствованию существующих и созданию новых процессов его производства на основе доступного углеводородного сырья. Основным сырьем для изопреновых каучуков является изопрен. [7]

1.2 Способы получения изопрена

Изопрен –легколетучая бесцветная жидкость с характерным запахом.

Изопрен является гомологом 1,3-бутадиена, водород которого при втором углеродном атоме замещен метильной группой CH_3 . В нормальных условиях легко воспламеняется, токсичен. Предельно допустимая концентрация изопрена в рабочей зоне 40 мг/м³. Изопрен почти нерастворим в воде, но хорошо растворяется в спирте, эфире и других органических растворителях. Изопрен, или 2-метил-1,3-бутадиен в настоящее время является как исходный мономер для получения стереорегулярного изопренового каучука.

Мировые мощности по производству синтетического изопренового каучука (СКИ) превышают 1,3 млн. т/год. СКИ пользуются большим спросом в мире, так как практически являются полноценной альтернативой натурального каучука (НК) и, в принципе, более предпочтительны из-за возможности целенаправленного регулирования их свойств. Затраты на производство СКИ из изопрена обычно составляют 25-35% от себестоимости СКИ, т.е. эффективность производства в целом определяют затраты на производство изопрена. Основное внимание уделяют усовершенствованию существующих и разработке новых процессов его производства на основе доступного углеводородного сырья. [8]

В настоящее время промышленное применение нашли следующие способы получения изопрена:

- 1) производство изопрена из изобутилена и формальдегида;
- 2) получение изопрена из пиролизных фракций;
- 3) одностадийное вакуумное дегидрирование изопентанов;
- 4) производство изопрена из ацетилен и ацетона
- 5) двухстадийное дегидрирование изопентана.

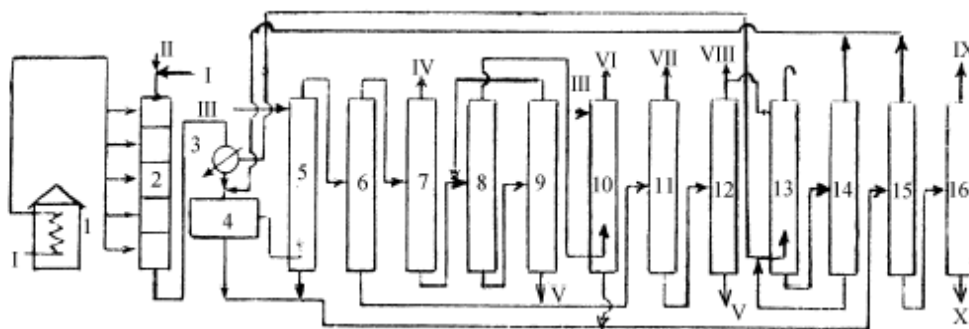
Каждый из методов, который перечислен, существует в нескольких вариантах. Основная причина такого множества методов получения изопрена, является возможность использования разных видов сырья. Более простой вариант получения изопрена - извлечение из фракций C_5 пиролиза нефти, содержащей

15-20% изопрена. Эта фракция получается в качестве побочного продукта при получении этилена и пропилена в количествах, не более 15-20% от выхода этилена. Однако для реализации метода необходимо доставлять эту фракцию с различных нефтеперерабатывающих заводов, что создает неудобства. Изопентан и изопентены, имеющие углеводородные скелеты конечного продукта, являются труднодоступными продуктами, так как они широко применяются в виде высокооктановой добавки к качественным бензинам (не содержащим свинец). Ограничивается возможность их применения для получения изопрена.

Не так давно широкое распространение имел двухстадийный процесс производства изопрена из изобутилена и формальдегида.

Пары диметилдиоксана смешивают с водяным паром и переправляют в контактное оборудование 2, в которое из пароперегревательной печи 1 подается перегретый пар, нагретый до 975 К. Газовая смесь поступает в каскад теплообменных аппаратов 3, в которых теплоносители конденсируются. Конденсат, состоящий из двух фаз - органической и водной выстаивается в емкости 4. Масляный слой поступает на отмывную колонну 5, в которой происходит экстрагирование растворенного формальдегида водой. Отмытое сырье направляется на ректификационную колонну 6, где легкие углеводороды, в основном изобутилен и изопрен, отделяются от неразложенного диметилдиоксана и других менее летучих веществ. Продукт из колонны 6 подается в ректификационную колонну 7, где отбирается высококонцентрированный изобутилен, возвращаемый на синтез диметилдиоксана. Кубовый остаток из колонны 7 – изопрен-сырец приходит на узел четкой ректификации (колонны 8, 9) для разделения от высококипящих примесей, циклопентадиена и карбонильных соединений, которые нуждаются в дополнительной водной отмывке в колонне 10. Кубовый остаток из колонны 11 проходит в вакуумную колонну 12, в которой диметилдиоксан-возврат разделяется от высококипящего побочного продукта второй стадии, в основном олигомеров изопрена (так называемое «зеленое масло»).

Технологическая схема получения изопрена разложением диметилдиоксана представлена на рисунке 1.1



1 – пароперегревательная печь; 2 – реактор; 3 – конденсатор; 4 – отстойник; 5, 10 – колонны для отмывания; 6 – колонна разделения сырого изопрена; 7 – колонна отгонки изобутилена-возврата; 8, 9 – колонны выделения изопрена-ректификата; 11 – колонна выделения фракции МДГП; 12 – колонна выделения возвратного ДМД; 13 – абсорбер; 14 – десорбер; 15 – колонна отгонки «легкой органики»; 16 – колонна рекуперации формальдегида. Поток: I – водяной пар; II – пары ДМД; III – промывная вода; IV – изобутилен-возврат; V – высококипящие примеси; VI – изопрен-ректификат; VII – фракции МДГП; VIII – ДМД-возврат; IX – рекуперированный формальдегид; X – сточные воды.

Рисунок 1.1 - Технологическая схема
процесса разложения диметилдиоксана (ДМД)

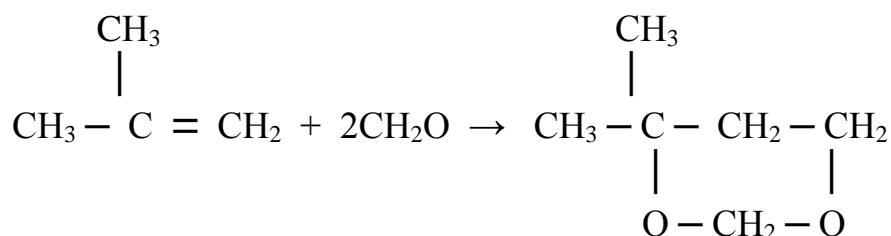
Из диметилдиоксана-возврата после разделения можно получить экстрагент для получения высококипящего побочного продукта первой стадии синтеза из водной жидкости – смесь изопропилэтилового спирта и диметилдиоксана. Контактный газ из реактора подается на конденсацию, осуществляемую водой. Конденсат подается в отстойник, где проходит его разделение на масляный и водный слои. Масляный слой подвергается ректификации в двухколонной системе. При этом получают изобутилен, возвращаемый на первую стадию синтеза, фракция диметилдиоксан-сырца и изопрен-сырца, содержащая в небольшом количестве карбонильные соединения (альдегиды).

Изопрен - сырец поступает на ректификацию для получения изопрена-ректификата, который отмывают от карбонильных соединений конденсатом. Для того, чтобы изопрен не полимеризовался в колонны отгонки изопрена-

сырца и выделения изопрена-ректификата подают ингибитор полимеризации. [4] Одним из главных достоинств получения изопрена из изобутилена и формальдегида по сравнению с другими способами получения этого мономера является высокая чистота продукта и при достаточно простых методах его выделения и очистки. Состав изопрена-ректификата приведен ниже (в% (мас.)).

Изобутилен	0,007
Изопрен	99,70
Изопентан	0,002
Метиленциклобутан	0,0002
МЭЭ	0,015
Ацетиленистые соединения ..	0,00015
Триметилэтилен	0,10
Циклопентадиен	0,0001
Изопентен	0,20
Карбонильные соединения ...	0,00030

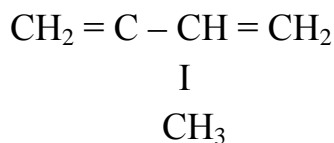
На первой стадии при соединении изобутилена с формальдегидом в присутствии кислотного катализатора образуется 4,4- диметилдиоксан-1,3 (ДМД)



4,4-диметилдиоксан-1,3

Основные реакции на каждой стадии процесса сопровождаются многочисленными побочными превращениями.[4] На первой стадии образуются побочные продукты, это в основном, диоксановые спирты и их производные. Побочные продукты, которые указаны кипят при более высоких температурах, чем диметилдиоксан, и поэтому получили название высококипящих побочных продуктов при производстве изопрена.

На второй стадии процесса диметилдиоксан разлагают на кальцийбор-фосфатсодержащих катализаторах с участием водяного пара при температуре 250-450°C.



Изопрен

В качестве побочных продуктов образуется формальдегид, изобутилен, изопропенилэтиловый спирт (ИПЭС), метилдигидропиран (МДГП), метилентетрагидропиран (МТГП), зеленое масло и др. Формальдегид, изобутилен и ИПЭС направляются в рецикл, зеленое масло сжигается, а фракцию метилдигидропирановую, представляющую собой смесь МДГП, МТГП и легких компонентов с температурой кипения 40-85°C, поступает на каталитическое разложение. Выход высококипящих побочных продуктов составляет 410-450 кг на 1 т изопрена. Некоторая часть высококипящих побочных продуктов находит достойное применение (например, флотореагента-оксаля), легкая углеводородная часть высококипящих побочных продуктов разлагается в изопрен и исходные продукты синтеза, а остальные остатки сжигаются. [8] Существует еще один способ переработки высококипящих побочных продуктов при производстве изопрена через каталитическое расщепление фракции высококипящих побочных продуктов (температура кипения от 150 до 300°C) при постоянной температуре 410°C.

В качестве катализатора нашли используют окись кремния и алюмосиликат. Получение изопрена достигается 14-17%, формальдегида - 27-33%. Минус в способе получения – превышение отходов кокса, усложнение технологического процесса за счет долгой окислительной регенерации катализатора и заниженный выход целевых продуктов. Известен еще один способ получения изопрена из изобутилена и формальдегида, который является одностадийным процессом проходящего в газовой фазе на гетерогенном катализаторе при температуре 250- 400°C. [9]

В качестве катализаторов во всех процессах используют окись алюминия, алюмосиликат, фосфорную кислоту с оксидом хрома и марганца, алюмосиликат с нанесенным оксидом вольфрама и фосфатом меди, нанесенные на селикагель. Существует также способ получения изопрена, включающий взаимодействие формальдегида с изобутиленом в газовой фазе с использованием твердофазного катализатора, содержащего гетерополиоксидную кислоту или ее соли в количестве от 0,1 до 92 мас.% на пористом носителе состава Al_2O_3, SiO_2 , который проходит в условиях газовой конденсации при 200-450°C, при атмосферном давлении, при скорости подачи сырья 0.5-15 г/г час и в массовом отношении изобутилена к формальдегиду, равном 1:2, возможно, в присутствии газоразбавителя в проточном реакторе при условиях непрерывного потока в реакторе с использованием неподвижным слоем катализатора в условиях газовой фазы. Главной особенностью газовой конденсации является то, что все реагенты находятся в одной фазе, что создает однородный доступ к катализатору и для формальдегида, и для изобутилена.

Рассмотрев более распространенные способы получения изопрена, нужно отметить, что недостатком во всех указанных способах является невысокая селективность процесса с образованием большого количества побочных продуктов при процессах с повышенной температурой.[5] А также, используемые катализаторы при высоких температурах быстро теряют свою активность. Таким образом, основной задачей в будущем является: упрощение технологического процесса; оптимизация показателей процесса: селективности и выхода изопрена и побочных продуктов [6].

Таким образом при проведении процесса разложения в схеме получения изопрена из изобутилена и формальдегида позволит снизить себестоимость на продукцию. [10]

Производство изопрена на ООО «Тольяттикаучук» было введено в эксплуатацию в 1964 году, в цехах группы «И» завода по производству изопрена и изопренового каучука.

Первоначальный проект производства, с мощностью 45 000 т/год был выполнен Гипрокаучуком г. Москва на основании задания на проектирование, утвержденного Заместителем Министра химической промышленности Фроловым А.Я. от 18 августа 1956 года.

Получение изопрена запроектировано из изобутилена и формальдегида.

Проект наращивания мощности до 90000 т/год выполнен Гипрокаучуком г. Москва в 1967 году.

Технологический процесс получения изопрена из изобутилена и формальдегида разработал ВИНЕФТЕХИМ г. Ленинград под руководством М.С. Немцова.

В рассматриваемый процесс входят следующие стадии:

- конденсация контактного газа разложения диметилдиоксана и высококипящих побочных продуктов;
- выделение изопрен-изобутиленовой фракции;
- отмывка изопрен-изобутиленовой фракции от формальдегида, ректификация изопрен-изобутиленовой фракции;
- химическая очистка изопрена от циклопентадиена (ЦПД);
- ректификация изопрена-сырца;
- отмывка изопрена-ректификата от карбонильных соединений и отгонка углеводородов из промывной воды;
- переработка водного слоя конденсата контактного газа разложения диметилдиоксана (ДМД) и высококипящих побочных продуктов (ВПП);
- выделение и ректификация диметилдиоксана;
- абсорбция отдувочных газов;
- система подогрева горячей воды;
- система перекачки конденсата;
- система ингибирования;
- ингибирование товарного изопрена;
- пароснабжение;
- система обогрева маслоспутников;

- дегазация водного слоя реакторов.

Повышение эффективности технологического процесса производства продукции может быть достигнуто многими способами. К ним относятся совершенствование стадии получения продуктов, выражающееся во внедрении новых катализаторов и реакторов. Также может быть использована интенсификация процессов очистки сырья и разделения продуктов реакции и модернизация их аппаратного оформления. Значимые результаты может дать совершенствование тепловых процессов вспомогательного оборудования.

Полученный вторичный пар необходимого давления может быть использован для обогрева кубовых продуктов колонных аппаратов либо направлен на разбавление КГ на установку И-8.

Экономический эффект в этом случае будет получен от снижения расхода пара высокого давления с ТЭЦ.

2 РАСЧЕТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

2.1 Описание технологического процесса и схемы конденсации контактного газа разложения диметилдиоксана и высококипящих побочных продуктов

Контактный газ разложения ДМД и ВПП из установки И-8 поступает в отделение И-9 по двум коллекторам – № 1 и № 2. [11]

Для утилизации тепла контактный газ проходит холодильники № 500/І,ІІ, в которых за счет испарения парового конденсата, поступающего из сепараторов № 501/І,ІІ, происходит охлаждение контактного газа. Подача конденсата в сепараторы № 501/І,ІІ производится насосом № 212/І-ІV. Имеется возможность подачи конденсата в отделения И-6 и И-16.

Расход конденсата от насоса № 212/І-ІV в сепараторы № 501/І,ІІ и отделения И-6 и И-16 регистрируется прибором поз. 864.

Температура контактного газа до и после холодильников № 500/І,ІІ регистрируется прибором МЕТРАН-900 поз. 7045.

Уровень в сепараторах № 501/І,ІІ выдерживается регуляторами поз. 865 и поз. 8172, клапаны которых расположены на линии подачи конденсата от насоса № 212/І-ІV.

Предусмотрена сигнализация верхнего и нижнего предела уровня в сепараторах № 501/І поз. 865 и № 501/ІІ поз. 8172.

Для защиты аппаратов № 500/І,ІІ, 501/І,ІІ от завышения давления на линиях вторичного пара в теплообменник № 208а установлены предохранительные клапаны, сброс от которых производится в атмосферу.

Контактный газ после холодильников № 500/І,ІІ или минуя их, поступает в 4 параллельно работающие системы конденсации № 1-4, охлаждаемые оборотной водой, и в систему конденсации № 5. Предусмотрен сброс пара, поступающего из отделения И-8 по коллекторам контактного газа в атмосферу при пуске или останове отделений И-8, И-9 через воздушки перед системами конденсаций № 1, 3, 4.

С целью снижения температуры контактного газа перед поступлением в конденсаторы № 1а он проходит закалку. Закалка производится впрыскиванием

через форсунки в линию контактного газа формальдегидной воды, которая подается насосом № 324/III-IV (324/I-II) из ёмкости № 7.

Температура контактного газа после закалки регистрируется прибором МЕТРАН-900 поз. 7045.

На системе конденсации (№ 1-3) контактный газ поступает в 2 параллельно работающие конденсатора № 1а/I-VI. На системе № 4 газ проходит последовательно через аппараты № 1а/VII-VIII и 1а/IX-X соответственно.

Несконденсированные газы из аппаратов № 1а/I-VI поступают в скрубберы № 1б/I-III, а из аппаратов № 1а/VIII,X в скруббер № 1б/IV, предназначенные для отмывки контактного газа от формальдегида формальдегидной водой, подаваемой насосом № 31/I-II из отстойника № 303 через межтрубное пространство холодильника № 5, или минуя его.

Расход формальдегидной воды в аппараты № 1б/I-IV регулируются расходомерами поз. 508, 509, 512, 510, клапаны которых установлены на линиях подачи воды в скруббера № 1б/I-IV. [12]

Из скрубберов № 1б/I-III газ поступает в конденсаторы № 2/I-III, а из скруббера № 1б/IV – в конденсатор № 2/III либо в линию отдувок в скруббер № 1б/V.

Конденсат из аппаратов № 1а системы конденсации № 1-3 через холодильник № 300/I-III, а из аппаратов № 1а/VII,IX системы конденсации № 4 – через холодильник № 300/IV сливается в ёмкость № 304. Сюда же поступают сконденсированные продукты из конденсаторов № 2/I-IV, из аппаратов № 1а/VIII,X системы конденсации № 4, а также водный слой емкости № 310/I-II, продукт из отстойника № 90, емкостей № 317, 244, от насосов № 51б/III-IV, 360а.

Отдувки после аппаратов № 2/I-III поступают в скруббер № 1б/V, орошаемый умягченной водой, расход регулируется расходомером поз. 507, клапан которого установлен на линии подачи воды от насоса № 144/I-II.

Имеется возможность подачи на орошение скруббера № 1б/V парового конденсата от насоса № 212/I-IV.

На системе конденсации № 5 контактный газ поступает в конденсатор № 1а/XI, где происходит его частичная конденсация. В межтрубное пространство конденсатора № 1а/XI подаётся горячая вода от насоса № 209/I-II. Подогретая горячая вода после конденсатора № 1а/XI поступает в теплообменник № 208, 208а.

Несконденсированные газы из конденсатора № 1а/XI поступают в конденсатор № 2/IV, в трубное пространство которого подаётся обратная вода.

Конденсат из конденсатора № 1а/XI через межтрубное пространство холодильника № 505, охлаждаемого обратной водой, и конденсатора № 2/IV сливается в ёмкость № 304.

Отдувки после конденсатора № 2/IV поступают в скруббер № 1б/II-III.

Температура конденсата контактного газа на линии слива из конденсатора № 1а/XI в холодильник № 505 регистрируется прибором МЕТРАН-900 поз. 7066.

Температура несконденсированных газов, поступающих из конденсатора № 1а/XI в конденсатор № 2/IV, регистрируется прибором МЕТРАН-900 поз. 7066.

Температура отдувочных газов из конденсатора № 2/IV в скруббер № 1б/II-III регистрируется прибором МЕТРАН-900 поз. 7066.

Температура горячей воды из конденсатора № 1а/XI в теплообменник № 208 регистрируется прибором МЕТРАН-900 поз. 7066.

Для защиты аппаратов систем конденсации № 1,2,3,4,5 от завышения давления на линиях отдувок из аппарата № 2 (системы конденсации № 1,2,3) и скруббера № 1б/IV (система конденсации № 4) в скруббер 1б/V установлены предохранительные клапаны, сброс от которых производится в ёмкость № 360.

Слив из скрубберов № 1б/I-V осуществляется в ёмкость № 7, откуда насосом № 324/I-II (324/III-IV) подается в ёмкость № 304 и частично на закалку контактного газа.

Расход формальдегидной воды от насоса № 324 в ёмкость № 304 регистрируется прибором поз. 819.

Уровень в ёмкости № 7 выдерживается регулятором уровня поз. 8122, клапан которого установлен на линии подачи формальдегидной воды от насоса № 324/I-II (324/III-IV) в ёмкость № 304.

Имеется возможность приёма на переработку в ёмкость № 304 привозного изопрена из цеха Д-1-И-1-Д-1а и водного слоя из отделения И-7 установки И-6, а также тяжёлых углеводородов из нижней части испарителя № 1 отделения И-8 установки И-8.

Отдувки после скруббера № 16/V поступают в межтрубное пространство конденсаторов № 3/I,II и № 85, охлаждаемых рассолом (-)5 °С, для дополнительной конденсации.

Конденсаторы № 85, № 3/I,II могут работать по следующей схеме:

1. Конденсатор № 85 и последовательно к нему один или два конденсатора № 3.
2. Один конденсатор № 85.
3. Один или два параллельно работающих конденсатора № 3.

Слив из аппаратов № 3/I,II и № 85 осуществляется в ёмкость № 87.

Несконденсированные газы после рассольных конденсаторов поступают в колонну № 14/I (№ 14/II).

Давление в коллекторе контактного газа в пределах $0,2 \div 1,2$ кгс/см² выдерживается регулятором поз. 6091, клапан которого находится на линии отдувок от конденсаторов № 3/I,II, № 85 в колонну № 14/I (14/II), с выводом показаний в АСОДУ.

Из ёмкости № 304 и № 87 соответственно насосами № 301/I,III и № 8/I-II продукты конденсации подаются в отстойник № 303. Кроме того, в отстойник № 303 поступает насыщенный абсорбент из колонны № 14/I (14/II).

Уровни в емкостях № 304 и № 87 выдерживаются регуляторами уровня поз. 8035, 505, клапаны которых установлены на линиях нагнетания насосов № 301/I,III и № 8/I-II.

Предусмотрена регистрация и сигнализация верхнего и нижнего предела уровня в ёмкости № 87 поз. 505.

Из отстойника № 303 водный слой насосом № 31/I-II подаётся в колонну № 33/I (№ 33/II) для отгонки из формальдегидной воды диметилдиоксана, непредельных спиртов и других органических продуктов. [12]

Уровень раздела фаз в отстойнике № 303 выдерживается регулятором расхода поз. 511, клапан которого установлен на линии подачи водного слоя в колонну № 33/I (33/II) с коррекцией по уровню раздела фаз (поз. 8886) в отстойнике № 303. Предусмотрена сигнализация верхнего и нижнего предела уровня в ёмкости № 303. поз. 8886.

Предусмотрена регистрация и сигнализация нижнего предела давления в отстойнике № 303 поз. 8885.

Для защиты отстойника № 303 от завышения давления установлены предохранительные клапаны, сброс от которых производится в ёмкость № 360.

Масляный слой из отстойника № 303 поступает в сборник № 1/I. Для усреднения состава масляного слоя предусмотрена циркуляция его через ёмкость № 1/I насосом № 1а. Из ёмкости № 1/I масляный слой насосом № 320/III-IV через теплообменник № 312 поступает в колонну № 306/I (306/II) для отгонки изопрен-изобутиленовой фракции от диметилдиоксана-сырца. Отстоявшаяся вода из ёмкости № 1/I выводится в ёмкость № 304.

Отдувки из ёмкости 1/I сбрасываются в скруббер № 1б/V. Уровень в ёмкости № 1/I регистрируется прибором поз. 843, предусмотрена сигнализация верхнего и нижнего предела.

Давление в ёмкости № 1/I регистрируется прибором поз. 605.

Для защиты ёмкости № 1/I от завышения давления установлены предохранительные клапаны, сброс от которых производится в ёмкость № 360.

Для обеспечения безаварийной работы насосов № 8/I-II, 324/III-IV предусмотрена сигнализация и блокировка, запрещающая пуск и работу насосов при:

- а) незаполненном насосе;
- б) снижении разности давлений в трубопроводах нагнетания и всаса;
- в) достижении максимальной токовой нагрузки.

Для исключения попадания крошки полимера и кокса на рабочие колёса насосов № 31/I-II на линии водного слоя из отстойника № 303 к насосам № 31/I-II установлены фильтры.

Для обеспечения безаварийной работы насосов № 8/I-II, 31/I-II, 324/III-IV предусмотрено дистанционное отключение насосов из операторной и сигнализация об останове электродвигателей насосов № 8/I-II, 31/I-II, 324/III-IV.

2.2 Технологическая схема получения вторичного пара при утилизации тепла контактного газа разложения диметилдиоксана и высококипящих побочных продуктов

Контактный газ двумя параллельными потоками поступает в трубное пространство теплообменников 500а/1,2.

В межтрубное пространство этих испарителей подается паровой конденсат, который частично испаряется и в виде газожидкостной смеси поступает в сепараторы 501/1,2.

Образующийся вторичный пар в холодильниках № 500/I,II используется в кипятильниках № 34/III, № 15/I (№ 15/II) и в подогревателе № 208а. Имеется возможность подачи вторичного пара в отделение И-9а.

После теплообменников 500а/1,2 КГ поступает в сепаратор 501/1.

Расход вторичного пара из сепаратора № 501/I регистрируется прибором поз. 510 и поз. 5172 (сепаратор № 501/II).

Давление в сепараторах № 501/I,II выдерживается регулятором поз. 6019/I,II, клапан которого находится на линии вывода вторичного пара в теплообменник № 208а.

Пар при давлении в сепараторах генерируется до 20 т/час пара, который поступает в эжекционную систему и смешивается с рабочим паром высокого давления (давлением 20 ати), далее смешанный пар с давлением 3 ати поступает в пароперегреватель и далее на производство контактного газа в отделение И-8. [13]

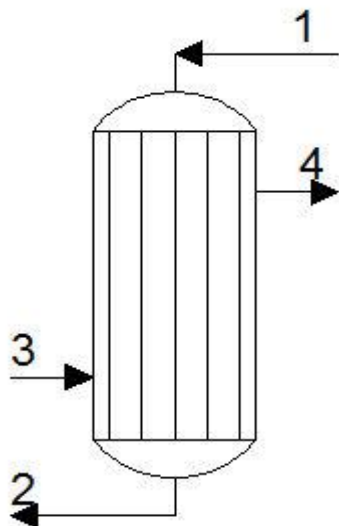
Контактный газ для дальнейшего охлаждения поступает в конденсаторы 01а/1,2. Далее конденсат контактного газа отделяется от контактного газа в се-

параторах 503а/1,2. Часть горячей воды байпасируется мимо конденсаторов 01а/1,2. Контактный газ поступает параллельными потоками в трубное пространство теплообменников 1а/3,4, 01а/3 и 1а/11 в, а в межтрубное пространство этих теплообменников подается умягченная вода, которая испаряется под вакуумом 0,6 ата, а затем конденсируется в теплообменниках 1а/7,8,9,10 причем теплообменники 1а/7 и 1а/9 используются для предварительного подогрева умягченной воды, а теплообменники 1а/8 и 1а/10 охлаждаются обратной водой, с температурой 88°C. [14]Дальше поступает в сепаратор конденсата 01в/1, верхняя часть которого связана с водокольцевым вакуумным насосом, а из нижней части откачивается конденсат на ТЭЦ.

2.3 Технологические расчеты

2.3.1 Материальный баланс

1 Исходными данными является источник тепла контактного газа поступающего с установки И-8 в количестве 110000кг, состав которого приведен в таблице 2.1.



- 1- контактный газ на входе;
- 2- контактный газ на выходе;
- 3- паровой конденсат на входе;
- 4-паровой конденсат на выходе.

Рисунок 2.1- Теплообменник

Таблица 2.1- Состав контактного газа

Компоненты	% массовый
1	
C2+C3, водород	0,028
CO ₂	0,14
CO	0,13
Изобутилен	1,95
Изопрен	12,55
Метанол	0,027
Формальдегид	5,61
ДМД	4,95
ТМК	0,019
ВПП	0,18
МТГП	0,14

Продолжение таблицы 2.1

1	2
МДГП	0,48
Тяжелые	0,067
Вода	73,29
«Зеленое масло»	0,43
Прочие компоненты	0,01

2 Уравнение материального баланса: [15]

$$G_1 + G_2 = G_3 + G_4, \quad (2.1)$$

где G1- количество контактного газа на входе;

G2- количество парового конденсата на входе;

G3- количество контактного газа на выходе;

G4- количество парового конденсата на выходе.

3 Количество контактного газа на входе в теплообменник: [16]

C2+C3, водород: $110000 \times 0,00028 = 30,8$ кг;

CO2: $110000 \times 0,0014 = 154$ кг;

CO: $110000 \times 0,0013 = 143$ кг;

Изобутилен: $110000 \times 0,0195 = 2145$ кг;

Изопрен: $110000 \times 0,1255 = 13805$ кг;

Метанол: $110000 \times 0,00027 = 29,7$ кг;

Формальдегид: $110000 \times 0,0561 = 6171$ кг;

ДМД: $110000 \times 0,0495 = 5445$ кг;

ТМК: $110000 \times 0,00019 = 20,9$ кг;

ВПП: $110000 \times 0,0018 = 198$ кг;

МТГП: $110000 \times 0,0014 = 154$ кг;

МДГП: $110000 \times 0,0048 = 528$ кг;

Тяжелые: $110000 \times 0,00067 = 73,7$ кг;

Вода: $110000 \times 0,7329 = 80619$ кг;

«Зеленое масло»: $110000 \times 0,0043 = 473$ кг;

Прочие компоненты: $110000 \times 0,0001 = 11$ кг.

Таблица 2.2- Количество и состав контактного газа

Компонент	Состав,% (масс)	Количество, кг
C2+C3, водород	0,028	30,8
CO2	0,14	154
CO	0,13	143
Изобутилен	1,95	2145
Изопрен	12,55	13805
Метанол	0,027	29,7
Формальдегид	5,61	6171
ДМД	4,95	5445
ТМК	0,019	20,9
ВПП	0,18	198
МТГП	0,14	154
МДГП	0,48	528
Тяжелые	0,067	73,7
Вода	73,29	80619
«Зеленое масло»	0,43	473
Прочие компоненты	0,01	11

Таблица 2.3- Количество и состав парового конденсата

Компонент	Состав, % (масс)	Количество, кг
Паровой конденсат	100	29500

Таблица 2.4- Материальный баланс

Вход			Выход		
Компонент	Состав, %	Количество, кг	Компонент	Состав, %	Количество, кг
1	2	3	4	5	6

Продолжение таблицы 2.4

1	2	3	4	5	6
Контакт- ный газ: C2+C3, во- дород	0,028	30,8	Контактный газ: C2+C3, во- дород	0,028	30,8
CO2	0,14	154	CO2	0,14	154
CO	0,13	143	CO	0,13	143
Изобутилен	1,95	2145	Изобутилен	1,95	2145
Изопрен	12,55	13805	Изопрен	12,55	13805
Метанол	0,027	29,7	Метанол	0,027	29,7
Формальде- гид	5,61	6171	Формальде- гид	5,61	6171
ДМД	4,95	5445	ДМД	4,95	5445
ТМК	0,019	20,9	ТМК	0,019	20,9
ВПП	0,18	198	ВПП	0,18	198
МТГП	0,14	154	МТГП	0,14	154
МДГП	0,48	528	МДГП	0,48	528
Тяжелые	0,067	73,7	Тяжелые	0,067	73,7
Вода	73,29	80619	Вода	73,29	80619
«Зеленое масло»	0,43	473	«Зеленое масло»	0,43	473
Прочие компонен- ты	0,01	11	Прочие компоненты	0,01	11
Итого	100	110000	Итого	100	110000
Паровой конденсат	100	29500	Пар	100	29500
Итого	100	29500	Итого	100	29500

2.3.2 Тепловой баланс

Приход тепла:

Q_1 - тепло приходящее с контактным газом;

Q_2 - тепло приходящее с паровым конденсатом;

Расход тепла:

Q_3 - тепло уходящее с контактным газом;

Q_4 - тепло уходящее с паровым конденсатом;

Q_5 - парообразование.

Температуры теплоносителей:

t_1 - температура контактного газа на входе, 300°C

t_2 - температура парового конденсата на входе, 85°C

t_3 - температура контактного газа на выходе, 130°C

t_4 - температура парового конденсата на выходе, 120°C

t'_1 - разность температур контактного газа, 170°C

t'_2 - разность температур парового конденсата, 35°C

Уравнение теплового баланса: [17]

$$Q_1 + Q_2 = Q_3 + Q_4 + Q_5 \quad (2.2)$$

1 Тепло приходящее с контактным газом, кДж:

$$Q_1 = C_1 \times G_1 \times t_1 = 3.71 \times 30.56 \times 300 = 34013.28 \text{ кДж/с}, \quad (2.3)$$

где C_1 - теплоемкость контактного газа, кДж/кг $\cdot^{\circ}\text{C}$;

G_1 - количество контактного газа, кг/с;

t_1 - температура контактного газа на входе в теплообменник, 300°C .

2 Тепло приходящее с паровым конденсатом, кДж: [18]

$$Q_2 = C_2 \times G_2 \times t_2 = 4.21 \times 8.02 \times 85 = 2869.957 \text{ кДж/с}, \quad (2.4)$$

$$G_2 = \frac{G_1 \times C_1 \times t'_1}{C_2 \times t'_2 + r} = \frac{30.56 \times 3.71 \times 170}{4.21 \times 35 + 2267} = 8.02 \text{ кг/с}, \quad (2.5)$$

где C_2 - теплоемкость парового конденсата, кДж/кг $\cdot^{\circ}\text{C}$;

G_2 - количество парового конденсата, кг/с;

t_2 - температура парового конденсата на входе в теплообменник, 85°C ;

t'_1 - разность температур контактного газа, 170°C ;

t'_2 - разность температур парового конденсата, 35°C ;

r - теплота парообразования пара.

3 Тепло уходящее с контактным газом:

$$Q_3 = C_3 \times G_3 \times t_3 = 3.71 \times 30.56 \times 130 = 14739.088 \text{ кДж/с}, \quad (2.6)$$

где C_3 - теплоемкость контактного газа, $\text{кДж/кг} \cdot ^{\circ}\text{C}$;

G_3 - количество контактного газа, кг/с ;

t_3 - температура контактного газа на выходе, 130°C .

4 Тепло уходящее с паровым конденсатом:

$$Q_4 = C_4 \times G_4 \times t_4 = 2.7 \times 8.02 \times 120 = 2598.48 \text{ кДж/с}, \quad (2.7)$$

где C_4 - теплоемкость пара, $\text{кДж/кг} \cdot ^{\circ}\text{C}$;

G_4 - количество парового конденсата, кг/с ;

t_4 - температура парового конденсата на выходе, 120°C .

5 Парообразование: [19-22]

$$Q_5 = C_5 \times G_5 = 8.02 \times 2267 = 18181.34 \text{ кДж/с}, \quad (2.8)$$

где C_5 - теплоемкость пара, $\text{кДж/кг} \cdot ^{\circ}\text{C}$;

G_5 - количество пара, кг/с .

Таблица 2.5- Сводная таблица теплового баланса

Приход		Расход	
Компонент	Тепло, кДж/с	Компонент	Тепло, кДж/с
Контактный газ	$Q_1=34013.28$	Контактный газ	$Q_3=14739.088$
Паровой конденсат	$Q_2=2869.957$	Пар	$Q_4=2598.48$
		Парообразование	$Q_5=18181.34$
Итого	36883.237		35518.908

Допустимое расхождение = 3.7%, при норме 5 %

2.3.3 Конструктивный расчет теплообменника

Для расчета коэффициента теплопередачи выбираем внутренний диаметр и толщина трубок $d_{\text{вн}} = 25\text{мм} \times 2\text{мм}$ и скорость материальных потоков $\omega_{\text{к.г.}} = 10\text{ м/с}$; $\omega_{\text{п.к.}} = 10\text{ м/с}$; [23]

Определим режим потока в трубах: [24,25]

$$\text{Re}_{\text{к.г.}} = \frac{\omega_{\text{к.г.}} \times d_{\text{вн}}}{\nu_{\text{к.г.}}} = \frac{10 \times 25}{0.0002827} = 19353, \quad (2.9)$$

где ν – кинематическая вязкость контактного газа, $\text{м}^2/\text{с}$.

Определим число Прандтля для потоков: [26,27]

$$\text{Pr}_{\text{к.г.}} = \frac{\nu_{\text{к.г.}} \times c_{\text{к.г.}} \times \rho_{\text{к.г.}}}{\lambda_{\text{к.г.}}} = \frac{0.0002827 \times 3.71 \times 0.750}{0.0347} = 0.6, \quad (2.10)$$

где $\nu_{\text{к.г.}}$ – кинематическая вязкость контактного газа, $\text{м}^2/\text{с}$;

$c_{\text{к.г.}}$ – теплоемкость контактного газа, $\text{кДж}/(\text{кгК})$;

$\rho_{\text{к.г.}}$ – плотность контактного газа, $\text{кг}/\text{м}^3$;

$\lambda_{\text{к.г.}}$ – теплопроводность контактного газа, $\text{Вт}/(\text{м}^2\text{К})$.

$$\text{Pr}_{\text{п.к.}} = \frac{\nu_{\text{п.к.}} \times c_{\text{п.к.}} \times \rho_{\text{п.к.}}}{\lambda_{\text{п.к.}}} = \frac{0.00003236 \times 4.21 \times 0.958}{0.6723} = 1.485, \quad (2.11)$$

где $\nu_{\text{п.к.}}$ – кинематическая вязкость парового конденсата, $\text{м}^2/\text{с}$;

$c_{\text{п.к.}}$ – теплоемкость парового конденсата, $\text{кДж}/(\text{кгК})$;

$\rho_{\text{п.к.}}$ – плотность парового конденсата, $\text{кг}/\text{м}^3$;

$\lambda_{\text{п.к.}}$ – теплопроводность парового конденсата, $\text{Вт}/(\text{м}^2\text{К})$.

При конденсации пара на наружной поверхности труб, рассчитаем коэффициент теплоотдачи по уравнению, для вертикальных труб: [28-30]

$$\alpha_{\text{п.к.}} = 3.78 \lambda_{\text{п.к.}} \sqrt[3]{\frac{\rho^2 \times d_{\text{вн}} \times n}{\mu_{\text{п.к.}} \times \sigma_{\text{п.к.}}}} = 3.78 \times 0.6723 \sqrt[3]{\frac{0.958^2 \times 0.025 \times 3516}{0.30 \times 10^{-3} \times 0.06}} = 1779 \text{ Вт} / \text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}, \quad (2.12)$$

где n – количество вертикальных труб;

$\mu_{\text{п.к.}}$ – динамическая вязкость, $\text{Па} \cdot \text{с}$;

$\sigma_{\text{п.к.}}$ – поверхностное натяжение, $\text{Н}/\text{м}$.

Определим коэффициент теплоотдачи при развитом турбулентном движении ($Re \geq 10^4$): [29]

$$\begin{aligned}\alpha_{\kappa,2} &= 0.021 \frac{\lambda_{\kappa,2}}{d_{\text{вн}}} \times Re_{\kappa,2}^{0.8} \times Pr_{\kappa,2}^{0.43} \times \left(\frac{Pr_{\kappa,2}}{Pr_{n,\kappa}} \right)^{0.25} = \\ &= 0.021 \frac{0,0347}{0,02} \times 19353^{0.8} \times 0.6^{0.43} \left(\frac{0.6}{1.485} \right)^{0.25} = 1344 \text{ Вт} / \text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}\end{aligned}\quad (2.13)$$

Показателем интенсивности процесса теплопередачи в теплообменном аппарате, является коэффициент теплоотдачи: [31]

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{\kappa,2}} + \frac{d_{n,\kappa}}{\lambda_{n,\kappa}} + \frac{1}{\alpha_{n,\kappa}}} = \frac{1}{\frac{1}{1344} + \frac{0,02}{46.5} + \frac{1}{1779}} = 367.8 \text{ Вт} / \text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}\quad (2.14)$$

Требуемая величина поверхности теплообмена: [32]

$$F = \frac{Q}{K \times \Delta T} = \frac{36883.237}{367.8 \times 110} = 1009 \text{ м}^2, \quad (2.15)$$

где ΔT – разность между средними температурами потока и стенки, К.

2.3.4 Расчет на прочность

2.3.4.1 Расчет элементов теплообменного аппарата

Исходные данные:

Материал кожуха – 12X18Н10Т, Лист

Материал труб - 12X18Н10Т

Материал решеток - 12X18Н10Т

Материал компенсатора - 12X18Н10Т

Внутренний радиус кожуха:

$$\alpha = \frac{D}{2} = \frac{2000}{2} = 1000 \text{ мм}, \quad (2.16)$$

где D - внутренний диаметр кожуха, мм.

Находим относительную характеристику беструбного края: [33]

$$m = \frac{\alpha}{\alpha_T} = \frac{1000}{1.8 \times 10^{-5}} = 1.028, \quad (2.17)$$

где α_T - коэффициент расширения материала кожуха при температуре 395°C, 1/°C.

Находим, коэффициент влияния давления в межтрубном пространстве на трубную решетку: [34]

$$\eta_m = 1 - \frac{i \times d^2 \times r}{4\alpha^2 \times 1} = 1 - \frac{3516 \times 25 \times 1}{4 \times 1.68^2 \times 1} = 0.4499, \quad (2.18)$$

где i - количество труб в пучке;

d - наружный диаметр трубы, мм.

Коэффициент влияния давления в трубном пространстве на трубную решетку:

$$\eta_T = 1 - \frac{i(d_T - 2S_T)^2}{4\alpha_1^2} = 1 - \frac{3516(25 - 2 \times 10)^2}{4 \times 1.8^2} = 0.6479, \quad (2.19)$$

где S - толщина трубной решетки, мм.

Находим коэффициент ослабления трубной решетки:

$$\varphi_T = 1 - \frac{d_o}{t_o} = 1 - \frac{25.15}{395} = 0.2141, \quad (2.20)$$

где d_o - диаметр отверстий под трубы в решетке, мм;

t_0 - средняя температура труб, °C.

Находим коэффициент жесткости перфорированной плиты:

$$\psi_0 = 0.3633$$

Из данной формулы найдем модуль упругости основания (системы труб):

$$K_y = \frac{E_T(\eta_T - \eta_M)}{L} = \frac{1.805 \times 10^5 \times (0.6479 - 0.4499)}{1465} = 24.4 \text{ Н / м}, \quad (2.21)$$

где E_T - модуль продольной упругости материала труб, МПа;

L - половина длины трубы, мм.

Приведенное отношение жесткости труб к жесткости кожуха: [35]

$$\rho = \frac{K_y \times \alpha_1^1}{E_K \times S_K} = \frac{1.7 \times 1.8}{1.99 \times 10^5 \times 10} = 17.48, \quad (2.22)$$

где E_K - модуль продольной упругости материала кожуха, МПа;

S_K - толщина стенки кожуха, мм.

Коэффициенты изменения жесткости системы трубы-кожух:

$$K_0 = -24.3$$

$$K_p = 195$$

Находим приведенное давление: [36,37]

$$P_0 = [\alpha_K(t_K - t_0) - \alpha_T(t_T - t_0)] \times K_y \times 1 + [\eta_T - 1 + m_a + m_n(m_n + 0.5 \times \rho \times K_0)] \times P_T + [\eta_M - 1 + m_a + m_n(m_n + 0.3 \times \rho \times K_p)] \times P_M = 401.5, \quad (2.23)$$

$$\text{где } m_a = 0.15 \frac{i(d_T - S_T)^2}{\alpha_1^2} = \frac{3516 \times (25 - 2.5)^2}{1.8 \times 10^{-5^2}} = 0.2673,$$

d - наружный диаметр трубы, мм.

Коэффициент решетки-трубы:

$$\beta = \frac{1.82}{S_p} \sqrt[4]{\frac{K_y S_p}{\Psi_n E_p}} = \frac{1.82}{30} \sqrt[4]{\frac{1.7 \times 30}{0.3633 \times 1.805 \times 10^5}} = 0.019721 \text{ 1 / мм}, \quad (2.24)$$

где S_p - толщина трубной решетки, мм;

E_p - модуль продольной упругости материала решетки, МПа.

Коэффициент кожух-решетка камеры:

$$\beta_1 = \frac{1.3}{\sqrt{\alpha S_1}} = \frac{1.3}{\sqrt{1.68 \times 10}} = 0.013 \text{ 1 / мм}, \quad (2.25)$$

где S_1 - толщина стенки кожуха в месте приварки решетки, мм.

Коэффициент обечайка-фланец камеры:

$$\beta_2 = \frac{1.3}{\sqrt{\alpha S_2}} = \frac{1.3}{\sqrt{1.68 \times 10}} = 0.013 \text{ 1/мм}, \quad (2.26)$$

где S_2 - толщина стенки кожуха в месте приварки решетки, мм.

Находим жесткость фланцевого соединения при изгибе: [38,39]

$$K_{\Phi} = K_{\Phi 1} + K_{\Phi 2} = 5.633 \times 10^5 + 5.073 \times 10^5 = 1.071 \times 10^6 \text{ Н} \cdot \text{мм/мм}, \quad (2.27)$$

где $K_{\Phi 1} = 5.633 \times 10^5 \text{ Н} \cdot \text{мм/мм}$,

$$K_{\Phi 2} = 5.073 \times 10^5 \text{ Н} \cdot \text{мм/мм},$$

$$K_1 = 4.68 \times 10^5 \text{ Н} \cdot \text{мм/мм},$$

$$K_2 = 4.245 \times 10^5 \text{ Н} \cdot \text{мм/мм}.$$

Коэффициент влияния давления на изгиб фланцев:

$$m_1 = \frac{1 + \beta_1 h}{2\beta_1^2} = \frac{1 + 0.013 \times 30}{2 \times 0.013^2} = 4112 \text{ мм}^2, \quad (2.28)$$

где h_1 - толщина тарелки фланца кожуха (для решеток вваренных в кожух - $h_1 = S_{1p}$), мм.

Аналогично предыдущей формуле находим коэффициент влияния давления на изгиб фланцев:

$$m_2 = \frac{1 + \beta_2 h_2}{2\beta_2^2} = \frac{1 + 0.013 \times 30}{2 \times 0.013^2} 4112 \text{ мм}^2, \quad (2.29)$$

где h_2 - толщина тарелки фланца кожуха (для решеток вваренных в кожух - $h_2 = S_{1p}$), мм.

Приведенное отношение жесткости труб к жесткости фланцевого соединения: [40-45]

$$\rho_1 = \frac{K_y \times \alpha_1}{\beta^2 \times K_{\Phi} \times R_1} = \frac{1.7 \times 1.68}{0.013^2 \times 0.071 \times 1005} = 56.74, \quad (2.30)$$

где R_1 - радиус центра тяжести тарелки фланца кожуха, мм.

Находим безразмерный радиус трубного пучка:

$$\omega = \beta \times \alpha_1 = 0.01672 \times 1.68 = 19.19, \quad (2.31)$$

Заданные коэффициенты учитывающие влияние беструбного края решетки и поддерживающее влияние труб:

$$\Phi_1 = 27.13;$$

$$\Phi_2 = 19.19;$$

$$\Phi_3 = 27.13.$$

Коэффициент T_1 :

$$\begin{aligned} T_1 &= \Phi_1 [m_n + 0.5(1 + m_n t) \times (t - 1)] = \\ &= 27.13 [1.028 + 0.5 \times (1 + 1.028 \times 1.745)(1.745 - 1)] = 56.14; \end{aligned} \quad (2.32)$$

Коэффициент T_2 :

$$T_2 = \Phi_2 \times t = 19.19 \times 1.745 = 33.49; \quad (2.33)$$

Коэффициент T_3 :

$$T_3 = \Phi_3 \times m_n = 27.12 \times 1.028 = 27.89; \quad (2.34)$$

где $t = 1 + 1.4\omega(m_n - 1) = 1 + 1.4 \times 19.19 \times (1.028 - 1) = 1.745$.

Изгибающий момент, распределенный по краю трубной решетки:

$$\begin{aligned} M &= \left(\frac{\alpha_1}{\beta} \right) \times \frac{P_m(T_1 + \rho K_\Phi) - P_n T_2}{(T_1 + \rho K_\Phi) \times (T_3 + \rho_1) - T_2^2} = \left(\frac{1.68}{0.019721} \right) \times \\ &\times \frac{0.3 \times (56.14 + 17.48 \times 1.071) - 401.5 \times 33.49}{(56.14 + 17.48 \times 1.071) \times (27.89 + 56.74) - 33.49^2} = -2272 \text{ Н} \cdot \text{мм} / \text{мм}. \end{aligned} \quad (2.35)$$

Перерезывающая сила, распределенная по краю трубной решетки:

$$\begin{aligned} Q &= \alpha_1 \times \frac{P_0(T_3 + \rho_1) - P_1 \times T_2}{(T_1 + \rho K_\Phi) \times (T_3 + \rho_1) - T_2^2} = \\ &= 1.68 \frac{401.5 \times (27.89 + 56.74) - 0 \times 33.49}{(56.14 + 17.48 \times 1.071) \times (27.89 + 56.74) - 33.49^2} = 113.2 \text{ Н} / \text{мм}; \end{aligned} \quad (2.36)$$

где P_0 - приведенное давление, МПа;

P_1 - расчетное давление в трубном пространстве, МПа.

Изгибающий момент, распределенный по периметру участка решетки: [46]

$$M_Q = M + (\alpha + \alpha_1) \times Q = 2272 + (1000 - 1.68) \times 113.2 = 784.9 \text{ Н} \times \text{мм} / \text{мм}, \quad (2.37)$$

где M - изгибающий момент, распределенный по краю трубной решетки, Н/мм·мм.

Перерезывающая сила, распределенная по периметру участка решетки:

$$Q_{\alpha} = m \times Q = 1.028 \times 113.2 = 116.3 \text{ Н / мм.} \quad (2.38)$$

Q -перерезывающая сила, распределенная по краю трубной решетки.

Находим осевую силу, которая действует на трубу:

$$\begin{aligned} N_T &= \frac{\pi \alpha_K}{t} [(\eta_M \times P_M - \eta_m \times P_m) \alpha_K + \Phi_1 \times Q_{\alpha} + \Phi_2 \beta M_{\alpha}] = \\ &= \frac{3.14 \times 1.68}{1.745} \times \\ &\times [(0.4499 \times 0.3 - 0.6479 \times 0.3) \times 1.68 + 27.13 \times 116.3 + 19.19 \times 0.01972 \times 784.9] = \\ &= 3115 \text{ Н,} \end{aligned} \quad (2.39)$$

где Q_{α} - перерезывающая сила, распределенная по периметру перфорированной зоны решетки, Н/мм.

Изгибающий момент, действующий на трубу:

$$\begin{aligned} M_T &= \frac{E_m j_m \beta}{K_y \alpha_K l_{np}} (\Phi_2 Q_{\alpha} + \Phi_3 \beta M_{\alpha}) = \frac{1.805 \times 10^5 \times 0.01972}{24.4 \times 1.68 \times 497.3} \times \\ &\times (19.19 \times 116.3 + 2713 \times 0.01972 \times 784.9) = 9052 \text{ Н / мм,} \end{aligned} \quad (2.40)$$

где $l_{np} = 497.3$ мм.

Осевая сила, распределенная по периметру кожуха:

$$Q_K = \frac{\alpha}{2} \times P_T - Q = \frac{1000}{2} \times 0.3 - 113.2 = 36.79 \text{ Н / мм,} \quad (2.41)$$

где P_T - расчетное давление в трубном пространстве, МПа.

Изгибающий момент, распределенный по периметру кожуха:

$$\begin{aligned} M_K &= \frac{K_1}{\rho_1 K_{\Phi} \beta} (T_2 \times Q_K + T_3 \times \beta \times M) \frac{P_M}{2 \beta_1^2} = \\ &= \frac{4.68}{56.74 \times 195 \times 0.01972} \times (33.49 \times 36.79 + 27.89 \times 0.01972 \times 2272) \times \\ &\times \frac{0.3}{2 \times 0.013^2} = 105.5 \text{ Н} \times \text{мм / мм.} \end{aligned} \quad (2.42)$$

Осевая сила, действующая на кожух:

$$F = \pi D Q_K = 3.14 \times 2000 \times 36.79 = 2.312 \times 10^5 \text{ Н.} \quad (2.43)$$

Расчетное напряжение в трубной решетке в соединении с кожухом:

$$\sigma_{p1} = \frac{6|M|}{(S_{p1} - C)^2} = \frac{6 \times |2272|}{(30 - 3.2)^2} = 18.98 \text{ МПа,} \quad (2.44)$$

где $|M|$ – изгибающий момент, распределенный по краю трубной решетки, $H \cdot \text{мм} / \text{мм}$;

S_{p1} – толщина трубной решетки в зоне кольцевой канавки, мм.

Касательное напряжение в трубной решетке в месте соединения с кожухом (расчетное):

$$t_{p1} = \frac{|Q|}{(S_{p1} - C)} = \frac{|113.2|}{(30 - 3.2)} = 4.224 \text{ МПа}. \quad (2.45)$$

Расчетное изгибное напряжение в части трубной решетки:

$$\sigma_{p2} = \frac{6 \times M_{\max}}{\varphi_p (S_p - C)^2} = \frac{6 \times 2919}{0.2141 (30 - 3.2)^2} = 113.9 \text{ МПа}, \quad (2.46)$$

где M_{\max} – максимальный расчетный изгибающий момент в перфорированной части трубной решетки, МПа;

S_p – толщина трубной решетки, мм;

φ_p – коэффициент ослабления трубной решетки.

Касательное напряжение в перфорированной части трубной решетки:

$$t_{p2} = \frac{|Q|}{\varphi_p (S_p - C)} = \frac{|113.2|}{0.2141 \times (30 - 3.2)} = 20.28 \text{ МПа}. \quad (2.47)$$

Мембранные напряжения в меридиональном направлении в кожухе в части присоединения к решетке: [47-50]

$$\sigma_{MK} = \frac{|Q_K|}{(S_1 - C_K)} = \frac{|36.79|}{(10 - 1.8)} = 4.487 \text{ МПа}, \quad (2.48)$$

где C_K – расчетная прибавка к толщине стенки кожуха, мм.

Изгибные напряжения в меридиональном направлении в кожухе в части присоединения к решетке:

$$\sigma_{ux} = \frac{6|M_K|}{(S_1 - C_K)^2} = \frac{6|105.5|}{(10 - 1.8)^2} = 9.416 \text{ МПа}. \quad (2.49)$$

Мембранные напряжения в окружном направлении в кожухе в месте присоединения к решетке:

$$\sigma_{M\varphi} = \frac{|P_M| \alpha}{(S_1 - C_K)} = \frac{|0.3| \times 1000}{(10 - 1.8)} = 36.59 \text{ МПа}, \quad (2.50)$$

где P_m – расчетное давление в межтрубном пространстве, МПа.

Изгибные напряжения в окружном направлении в кожухе на участке присоединения к решетке:

$$\sigma_{\varphi} = 0.3 \times \sigma_{ux} = 0.3 \times 9.416 = 2.825 \text{ МПа}. \quad (2.51)$$

Мембранные напряжения в трубах в осевом направлении (расчетное):

$$\sigma_{T1} = \frac{|N_m|}{\pi(d_m - S_m)S_m} = \frac{1000}{3.14(25 - 2.5) \times 2.5} = 17.63 \text{ МПа}, \quad (2.52)$$

где N_m – количество циклов нагружения за расчетный срок службы;

d_m – наружный диаметр трубы, мм;

S_m – толщина стенки трубы, мм.

Суммарные напряжения в трубах в осевом направлении (расчетное):

$$\sigma = \sigma_{T1} + \frac{d_m |M_T|}{2j_m} = 17.63 + \frac{25|9052|}{2 \times 497.3} = 27.63 \text{ МПа}, \quad (2.53)$$

где M_T – изгибающий момент, действующий на трубу, Н/мм.

Напряжения в трубах в окружном направлении (расчетное):

$$\begin{aligned} \sigma_{T2} &= \frac{(d_m - S_m) \max(|P_m| : |P_M| : |P_m - P_M|)}{2S_m} = \\ &= \frac{(25 - 2.5) \times 20.28(|0.3| : |0.3| : |0.3 - 0.3|)}{2 \times 2.5} = 1.35 \text{ МПа}. \end{aligned} \quad (2.54)$$

Условия статической прочности решетки. [51,52]

Касательное напряжение в решетке (максимальное):

$$\max\{t_{p1} : t_{p2}\} = 20.28 \text{ МПа}.$$

Допускаемое касательное напряжение в решетке:

$$0.8[\sigma]_p = 0.8 \times 114 = 110 \text{ МПа},$$

где $[\sigma]_p$ – допускаемое напряжение для материала решетки при температуре, МПа.

Толщина решетки, которая необходима из условия прочности беструбной зоны:

$$S_p \geq 0.5D_e \sqrt{\frac{Pr}{[\sigma]_p}} + C = 30 \geq 0.5 \times 37 \sqrt{\frac{0.3}{114}} + 3.2 = 4.064 \text{ мм}, \quad (2.55)$$

где S_p - толщина трубной решетки, мм;

D_e - диаметр окружности, вписанной в максимальную беструбную площадь, мм;

P_r –максимально возможный перепад давлений, действующих на решетку, МПа.

Условия прочности решетки (малоцикловой). [53]

Амплитуда напряжений в решетке в месте соединения с кожухом (расчетная):

$$\sigma_{\varrho} = K_{\sigma} \cdot \frac{\sigma_{p1}}{2} = 1.7 \frac{18.98}{2} = 16.13 \text{ МПа}, \quad (2.56)$$

где K_{σ} –эффективный коэффициент концентрации напряжений в месте приварки решетки, мм.

Амплитуда напряжений в перфорированной зоне решетки (расчетная):

$$\sigma_{\varrho} = \frac{\sigma_{p2}}{2} = \frac{113.9}{2} = 56.97 \text{ МПа}. \quad (2.57)$$

Амплитуда напряжений для материала решетки (допускаемая):

$$[\sigma_{\varrho}]_p = [56.97] \times 17.8 = 584.2 \text{ МПа}$$

Проверка жесткости для трубных решеток: [54]

Максимальный прогиб для решетки (расчетный):

$$\omega = \frac{1.2}{K_y \alpha_1} \times |T_1 Q + T_2 \beta M| = \frac{1.2}{24.4 \times 1.68} \times \\ \times |56.14 \times 113.2 + 33.49 \times 0.01972 \times 2272| = 0.2454 \text{ мм}, \quad (2.58)$$

где Q -перерезывающая сила, распределенная по краю трубной решетки;

T_1 - коэффициент 56.14;

T_2 - коэффициент 33.49;

K_y - модуль упругости основания (системы труб).

Условие статической прочности кожуха: [55]

мембранное напряжение в кожухе в месте приварки к решетке:

$$\sigma_{mx} = 4.487 \text{ МПа}.$$

Местное мембранное напряжение в кожухе (допускаемое):

$$1.3[\sigma]_K = 1.3 \times 168 = 218.4 \text{ МПа.}$$

Амплитуда напряжений для материала кожуха (допускаемая):

$$[\sigma_\alpha]_K = 655.9 \text{ МПа.}$$

Условие статической прочности труб: [56]

максимальное мембранное напряжение в трубах:

$$\max\{\sigma_{T1}; \sigma_{T2}\} = 17.63 \text{ МПа.}$$

Амплитуда напряжений в трубах (расчетная):

$$\sigma_\alpha = \frac{\sigma_1}{2} = \frac{27.63}{2} = 13.81 \text{ МПа.} \quad (2.59)$$

Амплитуда напряжений для материала труб (допускаемая):

$$[\sigma_\alpha]_T = 584.2 \text{ МПа.}$$

Проверка на прочность крепления труб в решетке: [57]

расчетная нагрузка на соединение трубы с решеткой:

$$|N_T| = 3115 \text{ МПа.}$$

Нагрузка на соединение трубы с решеткой с помощью развальцовки (допускаемая):

$$[N]_{TP} = 1.944 \times 10^4 \text{ Н.}$$

Напряжение сдвига в сварном шве трубы к решетке:

$$t = \frac{|N_T| d_M + 4|M_T|}{\pi d^2 \gamma \delta} = \frac{|3115| \times 25 + 4|9052|}{3.14 \times 25^2 \times 2.5} = 23.25 \text{ МПа.} \quad (2.60)$$

Допускаемое напряжение сдвига в сварном шве трубы к решетке в случае крепления с подвольцовкой:

$$[t] = \varphi_c \min\{[\sigma]_T : [\sigma]_p\} = 48.12 \text{ МПа,}$$

где $\varphi_c = 0.35$ МПа.

Условия прочности и устойчивости элементов теплообменного аппарата выполняются.

2.3.4.2 Расчет верхнего конуса верхней камеры

Длина переходной части конической обечайки (расчетная):

$$\alpha_1 = 0.7 \sqrt{\frac{D}{\cos \alpha_1}} (S_T - C) = 0.7 \sqrt{\frac{1200}{\cos \alpha_1}} (6 - 1.6) = 46.95 \text{ мм}, \quad (2.61)$$

где D – внутренний диаметр большей обечайки, перехода или днища, мм;

S_T – исполнительная толщина стенки тороидального перехода, мм;

C – сумма прибавок к расчетной толщине конической обечайки (днища), мм.

Длина переходной части тороидального перехода (расчетная):

$$\alpha_2 = 0.5 \sqrt{D(S_T - C_T)} = 0.5 \sqrt{1200(6 - 2.5)} = 32.4 \text{ мм}, \quad (2.62)$$

где C – сумма прибавок к расчетной толщине тороидального перехода, мм.

Длина цилиндрической обечайки у меньшего конца (расчетная):

$$\alpha_2 = 1.25 \sqrt{D(S_M - C_{2M})} = 0.5 \sqrt{1200(6 - 1.8)} = 91.46 \text{ мм}, \quad (2.63)$$

где S_M – исполнительная толщина стенки меньшей цилиндрической обечайки, мм;

C_{2M} – сумма прибавок к расчетной толщине меньшей цилиндрической обечайки (перехода), мм.

Диаметр гладкой конической обечайки с тороидальным переходом (расчетный):

$$D_K = D - 2[r(1 - \cos \alpha_1) + 0.7\alpha_1 \times \sin \alpha_1] = 1200 - 2[50(1 - 21) + 0.7 \times 21] = 1170 \text{ мм}, \quad (2.64)$$

где D – внутренний диаметр большей обечайки, перехода или днища, мм;

r – внутренний радиус отбортовки конической обечайки (днища), мм.

Внутреннее избыточное давление для конической обечайки (допускаемое):

$$[\rho]_{\text{вн}} = \frac{2[\sigma] \times \varphi_T \times (s_K - c)}{\frac{D_K}{\cos \alpha_1} + (s_K - c)} = \frac{2 \times [160] \times 1 \times (6 - 1.6)}{\frac{1170}{21} + (6 - 1.6)} = 1.12 \text{ МПа}, \quad (2.65)$$

где φ_T – коэффициент прочности сварного шва;

s_K – исполнительная толщина стенки тороидального перехода, мм;

c_K – сумма прибавок к расчетной толщине конической обечайки (днища) мм.

Растягивающая сила (допускаемая):

$$\begin{aligned}
[F] &= \pi D_1 (s_k - c) \times \varphi_T \times [\sigma] \times \cos \alpha_1 = \\
&= 3.14 \times 377 \times (6 - 1.6) \times 1 \times 160 \times 21 = 2.479 \times 10^6 H,
\end{aligned}
\tag{2.66}$$

где D_1 – внутренний диаметр меньшей цилиндрической обечайки, мм;

$[\sigma]$ – допускаемое напряжение для материала конической обечайки, МПа.

Осевая сила из условия прочности (допускаемая):

$$\begin{aligned}
[F] &= \pi D_F (s_k - c) \times \varphi_T \times [\sigma] \times \cos \alpha_1 = \\
&= 3.14 \times 1201 \times (6 - 1.6) \times 1 \times 160 \times 21 = 8.445 \times 10^5 H,
\end{aligned}
\tag{2.67}$$

где D_F – эффективный диаметр конической обечайки при осевом сжатии и изгибе, мм.

Изгибающий момент из условия прочности (допускаемый):

$$\begin{aligned}
[M] &= \frac{D_1}{4} \pi D_1 (s_k - c) \varphi_T \times [\sigma] \cos \alpha_1 = \frac{377}{4} \times 3.14 \times \\
&\times 377 (6 - 1.6) \times 160 \times 21 = 8.635 \times 10^7 H \cdot \text{мм}.
\end{aligned}
\tag{2.68}$$

Эффективный диаметр конической обечайки при осевом сжатии и изгибе:

$$D_F = \frac{0.9D + 0.1D_1}{\cos \alpha_1} = \frac{0.9 \times 1200 + 0.1 \times 377}{21} = 1201 \text{ мм}.
\tag{2.69}$$

Давление из условия прочности большей переходной части с торoidalным переходом (допускаемое):

$$[\rho] = \frac{2[\sigma] \times \varphi \times (s_T - c)}{D\beta_3 + (s_T - c)} = \frac{2 \times [160] \times 1 \times (6 - 1.6)}{1200 \times 0.938 + (6 - 1.6)} = 0.9919 \text{ МПа},
\tag{2.70}$$

где $\beta_3 = 0.938$ – общий коэффициент формы для переходной части.

Осевая растягивающая или сжимающая сила из условия прочности переходной части (допускаемая):

$$[F] = \pi D \frac{(s_k - c) \times [\sigma] \times \varphi_T}{\beta_T} = 3.14 \times 1200 \frac{(6 - 1.6) \times 160 \times 1}{2.857} = 7.389 \times 10^5 H,
\tag{2.71}$$

где $\beta_T = 2.857$ – общий коэффициент формы для переходной части.

Изгибающий момент из условия прочности переходной части (допускаемый):

$$[M] = \frac{D}{4} [F] = \frac{1200}{4} \times 7.389 \times 10^5 = 8.635 \times 10^7 H \cdot \text{мм}.
\tag{2.72}$$

Давление из условия прочности соединения штуцера внутреннего цилиндрического корпуса с конической обечайкой (допускаемое):

$$[\rho]_{\text{вн}} = \frac{2[\sigma] \times \varphi \times (s_T - c)}{D\beta_4 + (s_T - c)} = \frac{2 \times [160] \times 1 \times (6 - 1.6)}{1200 \times 1.146 + (6 - 1.6)} = 0.9919 \text{ МПа}, \quad (2.73)$$

где $\beta_4 = 1.146$ – общий коэффициент формы для переходной части.

Осевая растягивающая или сжимающая сила из условия прочности переходной части (допускаемая):

$$[F] = \pi D \frac{(s_T - c) \times [\sigma]_2 \times \varphi_T}{\beta_1} = 3.14 \times 1200 \frac{(6 - 1.6) \times 160 \times 1}{0.8177} = 2.084 \times 10^6 \text{ Н}, \quad (2.74)$$

где $\beta_1 = 0.8177$ – общий коэффициент формы для переходной части.

Условие устойчивости:

$$\frac{F}{[F]} + \frac{M}{[M]} = \frac{0}{7.389 \times 10^5} + \frac{0}{1.964 \times 10^8} = 0 \leq 1.$$

Условие прочности переходной большей части:

$$\left| \frac{\rho}{[\rho]} + \frac{F}{[F]} \right| + \frac{M}{[M]} = 0.3024 \leq 1.$$

Условие прочности переходной меньшей части:

$$\left| \frac{\rho}{[\rho]} + \frac{F}{[F]} \right| + \frac{M}{[M]} = 0.02945 \leq 1.$$

Конический переход соответствует условиям прочности.

2.3.4.3 Укрепление отверстий в верхнем конусе верхней камеры

Внутренний диаметр конической обечайки, (расчетный):

$$D_p = \frac{D_k}{\cos \alpha} = \frac{783}{\cos \alpha} = 838.7 \text{ мм}, \quad (2.75)$$

где D_k – внутренний диаметр обечайки, в месте расположения отверстия, мм.

Толщина стенки корпуса (расчетная):

$$S_{k.p} = \frac{p D_k \times 1}{2 \varphi [\sigma] - p \cos \alpha} = \frac{0.3 \times 783 \times 1}{2 \times 1 \times 0.3 \times 160 - 0.3 \times 21} = 0.787 \text{ мм}, \quad (2.76)$$

где p – расчетное давление, МПа;

φ – коэффициент прочности сварных соединений обечаек и днищ, мм;

[σ]- допускаемое напряжение для материала обечайки, при расчетной температуре, МПа.

Диаметр отверстия (расчетный):

$$dp = (d + 2c)(1 + tg^2 \gamma \cos^2 \omega) = (121 + 2 \times 1)(1 + tg^2 \times 39 \times 21^2 0) = 206.6 \text{ мм}, \quad (2.77)$$

где d- внутренний диаметр штуцера, мм;

c –прибавка для компенсации коррозии и эрозии стенки корпуса, мм;

γ – расчетный угол между осью штуцера и нормалью к поверхности, град.

Наибольший диаметр отверстия, не требующего доп.укрепления:

$$d_0 = 2 \left(\frac{s-c}{s_p} - 0.8 \right) \sqrt{D_p} (s-c) = 2 \left(\frac{6-1}{0.787} - 0.8 \right) \sqrt{838.7(6-1)} = 582 \text{ мм}, \quad (2.78)$$

где s – исполнительная толщина стенки штуцера, мм.

Укрепление не требуется, если диаметр отверстий менее нуля.

2.3.4.4 Расчет промежуточного конуса верхней камеры [58]

Длина переходной части конической обечайки (расчетная):

$$\alpha_1 = 0.7 \sqrt{\frac{D}{\cos \alpha}} (s_T - c) = 0.7 \sqrt{\frac{2000}{\cos \alpha}} (8-1) = 72.45 \text{ мм}, \quad (2.79)$$

где D- внутренний диаметр большей обечайки, мм;

s_T –толщина стенки тороидального перехода, мм.

Длина переходной части тороидального перехода (расчетная):

$$\alpha_2 = 0.5 \sqrt{D(s_T - c_T)} = 0.5 \sqrt{2000(8-3)} = 50 \text{ мм}, \quad (2.80)$$

где s_T – исполнительная толщина стенки тороидального перехода, мм;

c_T - прибавка для компенсации коррозии и эрозии к расчетной толщине тороидального перехода, мм.

Длина цилиндрической обечайки у меньшего конца (расчетная):

$$\alpha_2 = 1.25 \sqrt{D(s_T - c)} = 1.25 \sqrt{2000(8-1)} = 107.8 \text{ мм}, \quad (2.81)$$

Диаметр гладкой конической обечайки с тороидальным переходом (расчетный):

$$\begin{aligned} Dx &= D - 2[r(1 - \cos \alpha_1) + 0.7 \alpha_1 \sin \alpha_1] = \\ &= 2000 - 2[50(1 - 21) + 0.7 \times 21 \sin \alpha_1] = 1957 \text{ мм}, \end{aligned} \quad (2.82)$$

где r – внутренний радиус отбортовки конической обечайки (днища), мм;

α_1 – половина угла раствора при вершине конической обечайки (днища), град.

Внутреннее избыточное давление для конической обечайки или днища (допускаемое):

$$[\rho]_{\text{вн}} = \frac{2[\sigma]\varphi_p(s_k - c)}{\frac{D_x}{\cos \alpha_1} + (s_k - c)} = \frac{2 \times 81 \times 1(8-1)}{\frac{1957}{\cos \alpha_1} + (8-1)} = 0.4777 \text{ МПа}, \quad (2.83)$$

где $[\sigma]$ – допускаемое напряжение для материала конической обечайки, МПа;

φ – коэффициент прочности продольного сварного шва;

s_k – исполнительная толщина стенки конической обечайки, мм;

c – прибавка к расчетной толщине конической обечайки для компенсации коррозии и эрозии, мм.

Допускаемая растягивающая сила:

$$[F] = \pi D_1(s_M - c)\varphi_T[\sigma]\cos \alpha_1 = 3.14 \times 1200(8-1) \times 1 \times 81 \cos \alpha_1 = 3.032 \times 10^6 \text{ Н}, \quad (2.84)$$

где D_1 – внутренний диаметр меньшей цилиндрической обечайки, мм;

s_M – исполнительная толщина стенки меньшей цилиндрической обечайки, мм;

c – прибавка к расчетной толщине меньшей цилиндрической обечайки для компенсации коррозии и эрозии, мм;

φ_T – коэффициент прочности кольцевого сварного шва;

$[\sigma]$ – допускаемое напряжение для материала меньшей цилиндрической обечайки, МПа.

Допускаемый изгибающий момент из условия прочности:

$$[M] = \frac{D_1}{4} \pi D_1(s_k - c)\varphi_T[\sigma]\cos \alpha_1 = \frac{1200}{4} \times 3.14 \times 1200(8-1) = 5.445 \times 10^8 \text{ Н} \cdot \text{мм}, \quad (2.85)$$

где D_1 – внутренний диаметр меньшей цилиндрической обечайки, мм;

s_k – исполнительная толщина стенки конической обечайки, мм;

$[\sigma]$ - допускаемое напряжение для материала конической обечайки, МПа.

Давление из условия прочности большей переходной части с тороидальным переходом (допускаемое):

$$[\rho] = \frac{2[\sigma]\varphi_p(s_T - c_T)}{D\beta_3 + (s_T - c_T)} = \frac{2 \times 81 \times 1(8 - 3)}{2000 \times 1.1 + (8 - 3)} = 0,3673 \text{ МПа}, \quad (2.86)$$

где $[\sigma]$ - допускаемое напряжение для материала большего конического (тороидального) перехода, МПа;

s_T – исполнительная толщина стенки тороидального перехода, мм;

c_T - сумма прибавок к расчетной толщине тороидального перехода, мм;

β_3 - общий коэффициент формы для переходной части.

Осевая растягивающая или сжимающая сила из условия прочности переходной части (допускаемая): [59]

$$[F] = \pi D \frac{(s_T - c) [\sigma] \varphi_T}{\beta_T} = 3.14 \times 2000 \frac{(8 - 1) \times 81 \times 1}{3.249} = 7.833 \times 10^5 \text{ Н}, \quad (2.87)$$

где коэффициент $\beta_T = \max \{1.0 \times \beta_T (2\beta + 1.2)\} = 3.249$.

Изгибающий момент из условия прочности переходной части (Допускаемый):

$$[M] = \frac{D}{4} [F] = \frac{2000}{4} \times 7.833 \times 10^5 = 5.445 \times 10^8 \text{ Н} \cdot \text{мм}. \quad (2.88)$$

Допускаемое давление из условия прочности соединения штуцера или внутреннего цилиндрического корпуса с конической обечайкой:

$$[\rho] = \frac{2[\sigma]\varphi_p(s_M - c_M)}{D\beta_4 + (s_M - c_M)} = \frac{2 \times 81 \times 1(8 - 1)}{2000 \times 1.55 + (8 - 1)} = 0,5383 \text{ МПа}. \quad (2.89)$$

Общий коэффициент для переходной части:

$$\beta_4 = \max \{1.0 \times \beta_x\} = 1.55,$$

где коэффициент $\beta_x = 1,55$.

Допускаемая осевая растягивающая или сжимающая сила из условия прочности переходной части:

где $[F] = \pi D \frac{(s_m - c_m)[\sigma]_2 \times \varphi_p}{\beta_x} = 0.7997$.

Допускаемый изгибающий момент из условия прочности переходной части:

$$[M] = \frac{D}{4}[F] = 9.018 \times 10^5 \text{ Н}.$$

Условие устойчивости:

$$-\frac{F}{[F]} + \frac{M}{[M]} = 2.705 \times 10^8 \text{ Н} \cdot \text{мм}.$$

Условие прочности переходной большей части:

$$\left| \frac{\rho}{[\rho]} + \frac{F}{[F]} \right| + \frac{M}{[M]} = 0 \leq 1.$$

Условие прочности переходной меньшей части:

$$\left| \frac{\rho}{[\rho]} + \frac{F}{[F]} \right| + \frac{M}{[M]} = 0.8168 \leq 1.$$

Конический переход соответствует условиям прочности.

2.3.4.5 Расчет цилиндрической обечайки верхней камеры [60]

Допустимая расчетная толщина стенки обечайки от действия давления (минимальная):

$$S_p = \frac{PD}{2[\sigma]\varphi_p - P} = \frac{0.3 \times 2000}{2 \times 81 \times 1 - 0.3} = 3.711 \text{ мм}, \quad (2.90)$$

где P- расчетное давление в сосуде, МПа;

D-внутренний диаметр обечайки, мм;

$[\sigma]$ - допускаемое напряжение, МПа;

φ_p – коэффициент прочности продольного сварного шва.

Допустимая расчетная толщина стенки обечайки от действия давления с учетом прибавки (минимальная):

$$\begin{aligned} S &\geq S_p + C \\ 10 &\geq 3.711 + 1.8 \\ 10 &\geq 5.511 \text{ мм}, \end{aligned}$$

где C- сумма прибавок к расчетной толщине стенки, мм;

S- толщина стенки обечайки, мм.

Допускаемое внутреннее давление:

$$[P] = \frac{2[\sigma] \rho_p (S - C)}{D + (S - C)} = \frac{2 \times 81 \times 1 \times (10 - 1.8)}{2000 + (10 - 1.8)} = 0.6615 \text{ МПа}. \quad (2.91)$$

Наибольший диаметр отверстия не требующего дополнительного укрепления:

$$d_0 = 361.1 \text{ мм}$$

Обечайка соответствует условиям прочности.

2.3.4.6 Расчет обечайки кожуха от действия опорных нагрузок

Расчетный диаметр:

$$D_p = D = 2000 \text{ мм}, \quad (2.92)$$

где D-внутренний диаметр обечайки, мм.

Находим усилие, которое действует на опору-лапу:

$$F_1 = \frac{G}{4} + \frac{M}{D + 2(e_1 + s + s_2)} = \frac{1.969 \times 10^5}{4} + \frac{0}{2000 + 2(608 + 10 + 10)} = 4.922 \times 10^4 \text{ Н}, \quad (2.93)$$

где G- вес сосуда, Н;

M-изгибающий момент в сечении, где расположены опоры-лапы, Н·мм;

e₁- расстояние до точки приложения усилия, мм;

s- исполнительная толщина стенки обечайки, мм;

s₂- толщина подкладного листа, мм.

Общее меридиональное мембранное напряжение в цилиндрической обечайки:

$$\begin{aligned} \bar{\sigma}_{m.k.} &= \frac{pD}{4(s - c)} + \frac{1}{\pi D(s - c)} \left(F \pm \frac{4M}{Dp} \right) = \frac{0.3 \times 2000}{4(10 - 1.8)} + \\ &+ \frac{1}{3.14 \times 2000(10 - 1.8)} \left(0 \pm \frac{4 \times 0}{2000 \times 0.3} \right) = 18.29 \text{ МПа}, \end{aligned} \quad (2.94)$$

где p-расчетное давление, МПа;

F- дополнительное осевое усилие (растягивающее >0, сжимающее <0),

Н;

M- изгибающий момент в сечении, где расположены опоры-лапы,

Н·мм;

c- сумма прибавок к толщине стенки обечайки, мм.

Общее окружное мембранное напряжение:

$$\bar{\sigma}_{m,y} = \frac{\rho D_p}{2(s-c)} = \frac{0.3 \times 2000}{2(10-1.8)} = 36.59 \text{ МПа.} \quad (2.95)$$

Расчетное общее мембранное напряжение:

$$\bar{\sigma}_m = 36.59 \text{ МПа.}$$

Коэффициент представляющий отношение местных мембранных напряжений к местным напряжениям изгиба:

$$g_1 = 0.4$$

Коэффициент, учитывающий степень нагрузки общими мембранными напряжениями:

$$g_2 = \frac{\bar{\sigma}_m}{K_2 \phi[\sigma]} = \frac{36.59}{1.25 \times 1 \times 168} = 0.1742, \quad (2.96)$$

где $K_2=1.25$

ϕ - коэффициент прочности сварных швов, расположенных в области опорного узла;

$[\sigma]$ - допускаемое напряжение для материала обечайки, МПа.

Коэффициент K_1 :

$$\begin{aligned} K_1 &= \frac{1 - g_2^2}{\left(\frac{1}{3} + g_1 g_2\right) + \sqrt{\left(\frac{1}{3} + g_1 g_2\right) \div (1 - g_2^2) g_1^2}} = \\ &= \frac{1 - 0.1742^2}{\left(\frac{1}{3} + 0.4 \times 0.1742\right) + \sqrt{\left(\frac{1}{3} + 0.4 \times 0.1742\right) \div (1 - 0.1742^2) 0.4^2}} = 1.003. \end{aligned} \quad (2.97)$$

Предельное напряжение изгиба:

$$[\sigma] = K_1 K_2 [\sigma] = 1.003 \times 1.25 \times 168 = 210.7 \text{ МПа.} \quad (2.98)$$

Допускаемое усилие на опору-лапу с подкладным листом:

$$[F]_{\text{л}} = \frac{[\sigma] b_3 (s-c)^2}{K_8 (e_1 + s_2)} = \frac{168 \times 790 \times (10-1.8)^2}{0.219 \times (608+10)} = 8.268 \times 10^4 \text{ Н,} \quad (2.99)$$

$$8.268 \times 10^4 \text{ Н} \geq 4.922 \times 10^4 \text{ Н,}$$

где e_1 -расстояние до точки приложения усилия, мм;

b_3 - длина подкладного листа, мм;

коэффициент $K_8=0.219$.

Обечайка соответствует условиям прочности в местах опирания на опоры-лапы.

2.3.4.7 Расчет цилиндрической обечайки нижней камеры [61]

Допустимая расчетная толщина стенки обечайки от действия давления (минимальная):

$$S_p = \frac{PD}{2[\sigma]\varphi_p - P} = \frac{0.3 \times 2000}{2 \times 160 \times 1 - 0.3} = 1.877 \text{ мм}, \quad (2.100)$$

где P - расчетное давление в сосуде, МПа;

D -внутренний диаметр обечайки, мм;

$[\sigma]$ - допускаемое напряжение, МПа;

φ_p – коэффициент прочности продольного сварного шва.

Допустимая расчетная толщина стенки обечайки от воздействия давления с учетом прибавки (минимальная):

$$\begin{aligned} S &\geq S_p + C \\ 10 &\geq 1.877 + 1.8 \\ 10 &\geq 3.677 \text{ мм}, \end{aligned}$$

где C - сумма прибавок к расчетной толщине стенки, мм;

S - толщина стенки обечайки, мм.

Допускаемое внутреннее давление:

$$[P] = \frac{2[\sigma]\varphi_p(S - C)}{D + (S - C)} = \frac{2 \times 160 \times 1 \times (10 - 1.8)}{2000 + (10 - 1.8)} = 1.307 \text{ МПа}. \quad (2.101)$$

Наибольший диаметр отверстия, который не требует дополнительного укрепления:

$$d_0 = 914.2 \text{ мм}$$

Обечайка соответствует условиям прочности.

2.3.4.8 Расчет конуса нижней камеры

Длина переходной части конической обечайки (расчетная):

$$\alpha_1 = 0.7 \sqrt{\frac{D}{\cos \alpha_1}} (s_T - c) = 0.7 \sqrt{\frac{2000}{45}} (10 - 1) = 96.36 \text{ мм}, \quad (2.102)$$

где D- внутренний диаметр большей обечайки, мм;

s_T – исполнительная толщина стенки тороидального перехода, мм;

c- прибавка для компенсации коррозии и эрозии к расчетной толщине тороидального перехода, мм.

Длина переходной части тороидального перехода (расчетная):

$$\alpha_2 = 0.5 \sqrt{D(s_T - c_T)} = 0.5 \sqrt{2000(10 - 3.3)} = 57.88 \text{ мм}. \quad (2.103)$$

Длина цилиндрической обечайки или штуцера у меньшего конца (расчетная):

$$\alpha_2 = 1.25 \sqrt{D(s_T - c)} = 1.25 \sqrt{2000(10 - 1)} = 91.46 \text{ мм}, \quad (2.104)$$

где D- внутренний диаметр большей обечайки, перехода или днища, мм.

Диаметр гладкой конической обечайки (днища) с тороидальным переходом (расчетный):

$$\begin{aligned} D_x &= D - 2[r(1 - \cos \alpha_1) + 0.7\alpha_1 \sin \alpha_1] = \\ &= 2000 - 2[50(1 - \cos \alpha_1) + 0.7 \times 21 \sin \alpha_1] = 1875 \text{ мм}, \end{aligned} \quad (2.105)$$

где r – внутренний радиус отбортовки конической обечайки (днища), мм;

α_1 - половина угла раствора при вершине конической обечайки (днища), град.

Внутреннее избыточное давление для конической обечайки или днища (допускаемое):

$$[\rho]_{\text{вн}} = \frac{2[\sigma]\varphi_p(s_k - c)}{\frac{D_x}{\cos \alpha_1} + (s_k - c)} = \frac{2 \times 160 \times 1(10 - 1)}{\frac{1875}{\cos \alpha_1} + (10 - 1)} = 0.9864 \text{ МПа}, \quad (2.106)$$

где $[\sigma]$ - допускаемое напряжение для материала конической обечайки, МПа;

φ – коэффициент прочности продольного сварного шва;

s_k – исполнительная толщина стенки конической обечайки, мм.

Допускаемая растягивающая сила:

$$[F] = \pi D_1 (s_M - c) \varphi_T [\sigma] \cos \alpha_1 = 3.14 \times 1200 (16 - 1) \times 1 \times 160 \cos \alpha_1 = 7.588 \times 10^6 H, \quad (2.107)$$

где D_1 -внутренний диаметр меньшей цилиндрической обечайки, мм;

s_M – исполнительная толщина стенки меньшей цилиндрической обечайки, мм;

c - прибавка для компенсации коррозии и эрозии к расчетной толщине меньшей цилиндрической обечайки, мм;

φ_T – коэффициент прочности кольцевого сварного шва;

$[\sigma]$ - допускаемое напряжение для материала меньшей цилиндрической обечайки, МПа.

Изгибающий момент из условия прочности (допускаемый):

$$[M] = \frac{D_1}{4} \pi D_1 (s_k - c) \varphi_T [\sigma] \cos \alpha_1 = \frac{377}{4} \times 3.14 \times 377 (10 - 1) \times 1 \times 160 \cos \alpha_1 = 1.219 \times 10^8 H \cdot мм, \quad (2.108)$$

где $[\sigma]$ - допускаемое напряжение для материала конической обечайки, МПа.

Давление из условия прочности большей переходной части с тороидальным переходом (допускаемое):

$$[\rho] = \frac{2[\sigma] \varphi_p (s_T - c_T)}{D \beta_3 + (s_T - c_T)} = \frac{2 \times 160 \times 1 (10 - 3.3)}{2000 \times 2.328 + (10 - 3.3)} = 0.4598 МПа, \quad (2.109)$$

где $[\sigma]$ - допускаемое напряжение для материала большего конического (тороидального) перехода, МПа;

s_T – исполнительная толщина стенки тороидального перехода, мм;

c_T - сумма прибавок к расчетной толщине тороидального перехода, мм;

β_3 - общий коэффициент формы для переходной части.

Осевая растягивающая или сжимающая сила из условия прочности переходной части (допускаемая):

$$[F] = \pi D \frac{(s_T - c) [\sigma] \varphi_T}{\beta_T} = 3.14 \times 2000 \frac{(10 - 1) \times 160 \times 1}{5.617} = 1.199 \times 10^6 H, \quad (2.110)$$

где коэффициент $\beta_T = \max \{1.0 \times \beta_T (2\beta + 1.2)\} = 5.617$.

Изгибающий момент из условия прочности переходной части (допускаемый):

$$[M] = \frac{D}{4} [F] = \frac{2000}{4} \times 1.199 \times 10^6 = 1.219 \times 10^8 \text{ Н} \cdot \text{мм}, \quad (2.111)$$

Допускаемое давление из условия прочности соединения штуцера или внутреннего цилиндрического корпуса с конической обечайкой:

$$[\rho] = \frac{2[\sigma]\varphi_p(s_m - c_m)}{D\beta_4 + (s_m - c_m)} = \frac{2 \times 160 \times 1(10 - 1)}{2000 \times 1.729 + (10 - 1)} = 6.821 \text{ МПа}, \quad (2.112)$$

Общий коэффициент для переходной части:

$$\beta_4 = \max\{1.0 \times \beta_x\} = 1.729,$$

где коэффициент $\beta_x = 1.729$.

Осевая растягивающая или сжимающая сила из условия прочности переходной части (допускаемая):

$$[F] = \pi D \frac{(s_m - c_m)[\sigma]_2 \times \varphi_p}{\beta_x} = \pi D \frac{(16 - 0.8) \times 160 \times 1}{1.729} = 1.094 \times 10^6 \text{ Н}. \quad (2.113)$$

Изгибающий момент из условия прочности переходной части (допускаемый):

$$[M] = \frac{D}{4} [F] = 1.032 \times 10^8 \text{ Н} \cdot \text{мм}$$

Условие устойчивости:

$$-\frac{F}{[F]} + \frac{M}{[M]} = 0 \leq 1.$$

Условие прочности переходной большей части :

$$\left| \frac{\rho}{[\rho]} + \frac{F}{[F]} \right| + \frac{M}{[M]} = 0.06524 \leq 1.$$

Условие прочности переходной меньшей части:

$$\left| \frac{\rho}{[\rho]} + \frac{F}{[F]} \right| + \frac{M}{[M]} = 0.04398 \leq 1.$$

Конический переход соответствует условиям прочности.

3 БЕЗОПАСНОСТЬ И ЭКОЛОГИЧНОСТЬ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА

3.1 Характеристика технологического объекта

Технология утилизации тепла контактного газа разложения диметилдиоксана и высококипящих побочных продуктов. [62]

Таблица 3.1 - Технологический паспорт объекта

Технологический процесс	Технологическая операция , вид выполняемых работ	Наименование должности работника, выполняющего технологический процесс, операцию	Оборудование, устройство, приспособление	Материалы, вещества
1 Производство изопрена (установка И-3-9).	Утилизация тепла контактного газа разложения диметилдиоксана и высококипящих побочных продуктов.	Мастер смены отделения; аппаратчик 6-го разряда.	Теплообменник кожухотрубный № 500/1, № 500/2.	Сталь 12Х18Н10Т. Формальдегид, диметилдиоксан, изобутилен, изопрен, аммиак, бутиловый спирт.

3.2 Идентификация профессиональных рисков [63]

Таблица 3.2 – Идентификация профессиональных рисков

Производственно-технологическая и/или эксплуатационно-технологическая операция, вид выполняемых работ	Опасный и /или вредный производственный фактор	Источник опасного и /или вредного производственного фактора
1	2	3
1 Утилизация тепла контактного газа разложения диметилдиоксана и высококипящих побочных продуктов.	<p>Химический:</p> <ul style="list-style-type: none"> - опасность получения термических ожогов; - опасность получения химических ожогов; - опасность обморожений. <p>Физический:</p> <ul style="list-style-type: none"> - опасность поражения электрическим током; - опасность получения механических травм; 	<p>Отсутствие изоляции на трубопроводах, аппарат с высокой температурой стенки.</p> <p>При работе с щелочью.</p> <p>При попадании на кожу изобутилена.</p> <p>При нарушении заземления, изоляции проводов.</p> <p>Из-за наличия вращающихся частей механизмов ,а также, из-за применения грузоподъемных механизмов (кран, электротельферы) при</p>

загрузке химикатов, при
ремонте оборудования.

Продолжение таблицы 3.2

1	2	3
	- опасность разгерметизации паропроводов.	Обусловлена возможностью возникновения гидроударов в паропроводах из-за нарушения правил эксплуатации и правил приёма пара в отделение).

3.3 Методы и средства снижения профессиональных рисков [64]

Таблица 3.3 – Методы и средства снижения воздействия опасных и вредных производственных факторов

Опасный и / или вредный производственный фактор	Организационные методы и технические средства защиты, снижения, устранения опасного и / или вредного производственного фактора	Средства индивидуальной защиты работника
1	2	3

Химический: - опасность получения термических ожогов; - опасность получения химических ожогов; - опасность обморожений.	Строгое соблюдение норм и положений в соответствии с настоящим технологическим регламентом;	Спец.одежда, противогаз, каска, защитные очки.
--	---	--

Продолжение таблицы 3.3

1	2	3
Физический: - опасность поражения электрическим током; - опасность получения механических травм; - опасность разгерметизации паропроводов.	ведение технологических операций только на исправном оборудовании при наличии ограждения на вращающихся частях механизмов; соответствие оборудования по давлению, температуре, материалам и процессам, для которых оно предназначено; своевременное освидетельствование и регистрация котлонадзорного оборудования, грузоподъемных механизмов;	

	своевременное выполнение графиков планово- предупредительного ремонта.	
--	--	--

3.4 Обеспечение пожарной безопасности технического объекта [65]

3.4.1 Идентификация опасных факторов пожара.

Таблица 3.4 – Идентификация классов и опасных факторов пожара.

Участок, подразделе- ние	Оборудо- вание	Класс пожа- ра	Опасные факторы пожара	Сопутствующие проявления факто- ров пожара
Установка И-3-9 (кон- десация кон- тактного га- за)	Теплооб- менник кожухо- трубный 500/1,2	В-1г	Завышение давле- ния в системе кон- денсации.	Разгерметизация аппаратуры блока; Выброс контактно- го газа. Образование про- лива. Воспламенение (взрыв, пожар). Поражение зданий, сооружений, людей ударной волной взрыва, тепловое воздействие на кон- струкционные ма- териалы и людей, токсическое пора-

				жение.
--	--	--	--	--------

3.4.2 Разработка технических средств и организационных мероприятий по обеспечению пожарной безопасности технического объекта

Таблица 3.5 - Технические средства обеспечения пожарной безопасности

Первичные средства пожаротушения	Мобильные средства пожаротушения	Стационарные установки системы пожаротушения	Средства пожарной автоматики	Пожарное оборудование	Средства индивидуальной защиты и спасения людей при пожаре	Пожарный инструмент (механизированный и немеханизированный)	Пожарные сигнализации, связь и оповещение.
1	2	3	4	5	6	7	8
Переносные и передвижные огнетушители.	Пожарный автомобиль	Дренчерная система.	Извещатели пожарные	Огнетушители: ОУ-2, ОУ-5, ОУ-8, ОУ-25, ОУ-80, ОПУ-2, ОПУ-5, , ОВП-100, ОВПУ-250, стационарный огнетушитель 2БР-2МА	Средства индивидуальной защиты органов дыхания и зрения (противогаз)	Мотопомпы, арматура	Извещатели пожарные (дымовые, тепловые).
Асбестовое одеяло для изоляции очага возгорания.			Приборы приемноконтрольные пожарные	Пожарные рукава	Средства защиты кожных покровов тела человека изолирующие, фильтрующие	Пожарные насосы	Телефон

Продолжение таблицы 3.5

1	2	3	4	5	6	7	8
Песок			Прибо- ры управления по жарные	Лафетные стволы	Спец.одежда и спец.обувь	Клапаны и муфты	Система свето- вой и звуко- вой сиг- нализа- ции по откло- нению от тех- нологи- ческих пара- метров.
			Техниче- ские средства опо- веще- ния и управления эвакуацией	Гидранты	Каска	Рукавная ар- матура	Пожар- ный из- веща- тель.
			Пожарные си- стемы переда- чи извещений о пожаре	Кольца орошения ко- лонн			Датчики загазо- ванно- сти.

3.4.3 Организационные (организационно-технические) мероприятия по предотвращению пожара [66]

Таблица 3. 6 – Организационные (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
1	2	3
Утилизация тепла контактного газа разложения диметилдиоксана и высококипящих побочных продуктов.	<p>Виды реализуемых организационных (организационно-технических) мероприятий, включающих:</p> <ul style="list-style-type: none"> -наличие действующих лицензий на эксплуатацию опасных производств; -действующую на предприятии систему контроля за безопасностью; -действующий на предприятии порядок профессиональной и противоаварийной подготовки. 	<p>Запрещается ведение технологического процесса и эксплуатация оборудования с отключенными или неисправными блокировками, сигнализацией.</p> <p>Строгое соблюдение норм и положений в соответствии с настоящим технологическим регламентом.</p> <p>Соответствие оборудования по давлению, температуре, материалам и процессам, для которых оно предназначено.</p>

Продолжение таблицы 3.6

1	2	3
	<p>-действующий на предприятии порядок обучения персонала способам защиты и действиям при авариях;</p> <p>-действующую на предприятии систему оповещения о чрезвычайных ситуациях;</p> <p>-наличие на предприятии средств мероприятий по защите людей;</p> <p>-поднадзорность предприятия органам Ростехнадзора.</p>	<p>Своевременное освидетельствование и регистрация оборудования.</p> <p>Исправность средств газозащиты, связи, пожаротушения.</p> <p>Своевременное выполнение графиков планово-предупредительного ремонта.</p> <p>Тщательная подготовка оборудования к ремонту и приём оборудования из ремонта.</p> <p>Четкая организация ремонтных работ и применение во время проведения этих работ безопасных приёмов труда.</p> <p>Своевременное выполнение предписаний Федеральной службы Ростехнадзора и других надзорных органов.</p> <p>Регулярная проверка наличия и поддержания в готовности средств ин-</p>

		дивидуальной защиты.
--	--	----------------------

3.5 Обеспечение экологической безопасности технического объекта

3.5.1 Идентификация экологических факторов технического объекта. [67]

Таблица 3.7 – Идентификация экологических факторов технического объекта

Наименование технического объекта, технологического процесса	Структурные составляющие технического объекта, технологического процесса (производственного здания или сооружения по функциональному назначению, технологические операции, оборудование), энергетическая установка транспортное средство и т.п.	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) (образование отходов, выемка плодородного слоя почвы, отчуждение земель, нарушение и загрязнение растительного покрова.
1	2	3	4	5
Установка И-3-9 (утилизация контак-	Теплообменные аппараты 500/1,2	Амилены Изобутилен	Фузельная вода из куба колонны №	Отработанное масло от насосов.

ного газа)

Изопрен

140.

Продолжение таблицы 3.7

1	2	3	4	5
		ТМК Формаль- дегид ДМД МДГП	Освобожде- ние аппара- тов и трубо- проводов при пропар- ке. Стоки с промыш- ленной площадки. Слив от промывок оборудова- ния, проли- вов.	Мелкие раз- ливы угле- водородных жидкостей. Разлив рас- твора щело- чи.

3.5.2 Разработанные организационно-технические мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия технического объекта на окружающую среду [68]

Таблица 3.8 – Разработанные организационно-технические мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия технического объекта на окружающую среду

Наименование технического объекта	Технология утилизации тепла контактного газа разложения диметилдиоксана и высококипящих побочных продуктов.
---	---

--	--

Продолжение таблицы 3.8

<p>Мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия на атмосферу</p>	<p>- С целью предотвращения попадания формальдегида, метанола в атмосферу, на установке дегазации водного слоя реакторов предусмотрен скруббер № 407, в который для поглощения углеводородов подаётся дистиллят из ёмкости № 404. Неабсорбированные газы скруббера № 407 через каплеотбойник № 407а направляются на установку БК-3.</p> <p>- При останове установки БК-3 сброс отдувок из колонны № 14/I (№ 14/II) и скруббера № 407 производится на факел.</p> <p>- С целью предотвращения попадания лёгких углеводородов в атмосферу, на установке переработки водного конденсата контактного газа разложения ДМД и ВПП предусмотрен скруббер № 37, в который для поглощения углеводородов подаётся дистиллят из ёмкости № 404. Неабсорбированные газы скруббера № 37, через гидрозатвор № 37а, подаются в ёмкость № 83а/II.</p>
<p>Мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия на гидро-</p>	<p>Сброс химически загрязненной воды в канализацию производится после отпарки ее от углеводородов.</p> <p>Отпарка органики производится в колонне № 140. Фузельная вода из куба колонны сливается в химзагрязненную канализацию.</p>

сферу	Для отгонки изопрена из промывной воды и исключения попадания органики на очистные сооружения предусмотрен узел отгонки углеводородов из промывной воды.
-------	--

Продолжение таблицы 3.8

Мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия на литосферу	<p>Мелкие разливы углеводородных жидкостей засыпаются песком, который затем лопаткой, изготовленной из не искрящего материала, удаляется в безопасное место или на сжигание.</p> <p>Отработанное масло от насосов, с целью предотвращения загрязнения окружающей среды, собирают в бойлер и вывозят на склад масел.</p> <p>Разлитый раствор щелочи засыпается песком и убирается в специально отведенное место.</p> <p>Для предотвращения загрязнения почвы вредными веществами все технологическое оборудование размещено на бетонированной площадке с отбортовкой и лотками для сбора атмосферных вод в заглубленную емкость.</p>
---	---

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. В разделе «Безопасность и экологичность технического объекта» приведена характеристика технологического процесса утилизации тепла контактного газа разложения диметилдиоксана и высококипящих побочных продуктов, 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 утилизации тепла контактного

газа разложения диметилдиоксана и высококипящих побочных продуктов, выполняемым технологическим операциям, видам производимых работ. В качестве опасных и вредных производственных факторов идентифицированы следующие: Химический: опасность получения термических ожогов; получения химических ожогов; обморожений. Физический: опасность поражения электрическим током; получения механических травм; опасность разгерметизации паропроводов (таблица 2).

3. Разработаны организационно-технические мероприятия, включающие технические устройства снижения профессиональных рисков, а именно строгое соблюдение норм и положений в соответствии с настоящим технологическим регламентом; ведение технологических операций только на исправном оборудовании при наличии ограждения на вращающихся частях механизмов; соответствие оборудования по давлению, температуре, материалам и процессам, для которых оно предназначено; своевременное освидетельствование и регистрация котлонадзорного оборудования, грузоподъемных механизмов; своевременное выполнение графиков планово-предупредительного ремонта. Подобраны средства индивидуальной защиты для работников: спец.одежда, противогаз, каска, защитные очки. (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 (таблица 7) и разработаны мероприятия по обеспечению экологической безопасности на техническом объекте (таблица 8).

4 ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ

4.1 Технологическое описание и маркетинговый анализ

Внедрение технологии позволило полностью обеспечить производство вторичным паром, а также получать дополнительное количество пара для выдачи сторонним потребителям. Что с экономической точки зрения привело к снижению затрат производства на приобретение энергоносителей и получению дополнительной прибыли.

В данном дипломном проекте, при разработке технологии входит модернизация теплообменного оборудования.

Из ниже предложенных в таблице (4.1) производителей теплообменного оборудования, выбран теплообменник производителя ЗАО «ЦЭЭВТ», Нижний Новгород. Выбор данного оборудования исходил из критериев по параметрам и техническим характеристикам в соответствии с технологическими расчетами, а также по цене.

4.1-Таблица предлагаемого теплообменного оборудования

Наименование производителя	Техническая характеристика	Цена оборудования, за ед., руб.
1 «Завод Триумф», г. Челябинск	2000 ТГН-2,5-М1/20Г-6-4-У	22300000
2 ООО «Костромское НПО Нефтехиммаш», г. Кострома	1200 ИНТ-1-0,6-1,0-М8/25Г-4-1-У	23000000
3 Производитель «MWL APPARATEBAU GmbH», Германия	2000 ИНТ-1-0,6-1,0-М8/25Г-4-1-У	33000000
4 ЗАО «ЦЭЭВТ», г.Нижний Новго-	2000 ИНТ-1-0,6-1,0-	20100000

род	M8/25Г-4-1-У	
5 ЗАО «ПЗЭМ», Пенза.	1200 ТГН-2,5- M1/20Г-6-4-У	24000000

4.2 Расчёт годовой производственной мощности [69]

Таблица 4.2-Краткая характеристика сравниваемых вариантов

Базовый вариант	Проектный вариант
Установка производства изопрена мощностью 10,9 т/ч.	Установка производства изопрена мощностью 10,9 т/ч., при утилизации тепла контактного газа разложения диметилдиоксана и высококипящих побочных с получением вторичного пара.

Производственная мощность определяется по ведущему оборудованию (установки), на котором осуществляется основной процесс для базы и проекта:

$$M = Q_{\text{час}} \times \Phi_{\text{эф}} = 10.9 \times 8256 = 90000 \text{ т/год}, \quad (4.1)$$

где M - годовая производительность, т/год;

$\Phi_{\text{эф}}$ - эффективное время работы оборудования, ч/год;

$Q_{\text{час}}$ - часовая производительность установки, т/час.

Результаты расчетов сводятся в таблицу 4.3.

Таблица 4.3- Годовая производственная мощность оборудования

Показатели	Количество	
	базовый	проект
1 Календарная продолжительность года, сут.	365	365
2 Простои оборудования по графику ППР, сут.	21	21
3 Эффективное время работы оборудования, сут.	344	344
4 Эффективное время работы оборудования, час/год	8256	8256
5 Часовая производительность оборудования, т/час	10,9	10,9
6 Годовая мощность производства, т/год	90000	90000

4.3 Расчет капитальных вложений [70]

1) Прямые капитальные вложения в основное технологическое оборудование приведены в таблице 4.4

Таблица 4.4- Стоимость внедряемого оборудования

Наименование оборудования	Кол-во	Стоимость оборудования, руб.		Амортизация	
		за ед.	всего	%	руб.
1 Теплообменник	2	20100000	40200000	6,4	2572800
Итого			40200000		2572800

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

а) доставка 2% от стоимости оборудования: $K_{дост} = 0,02 \times 40200000 = 804000 \text{ руб.};$

б) монтаж оборудования $K_{монт} = 0,10 \times 40200000 = 4020000 \text{ руб.};$

в) обвязка трубопроводами $K_{труб} = 0,3 \times 40200000 = 12060000 \text{ руб.};$

г) оснащение КИП $K_{кип} = 0,03 \times 40200000 = 1206000 \text{ руб.};$

д) пуско-наладочные работы $K_{пн} = 0,02 \times 40200000 = 804000 \text{ руб.};$

е) демонтаж старого оборудования $K_{дем} = 0,03 \times 40200000 = 1206000 \text{ руб.}$

Сопутствующие капитальные затраты на оборудование:

$$\begin{aligned}
 K_{сop} &= K_{об} + K_{дост} + K_{монт} + K_{труб} + K_{кип} + K_{пн} + K_{дем} = \\
 &= 40200000 + 804000 + 4020000 + 12060000 + \\
 &+ 1206000 + 804000 + 1206000 = 60300000 \text{ руб.},
 \end{aligned}
 \tag{4.2}$$

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

$K_{дост}$ - доставка оборудования, руб.;

$K_{монт}$ - монтаж оборудования, руб

$K_{труб}$ - обвязка трубопроводами оборудования, руб.;

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

K_{nn} - пуско-наладочные работы, руб.;

$K_{дем}$ - демонтаж старого оборудования, руб.

4.4 Организация труда рабочих

4.4.1 График сменности

Таблица 4.5-Четырех бригадный график сменности

Дни/ часы	Дни месяца															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
С 7 до 19	А	Б	В	Г	А	Б	В	Г	А	Б	В	Г	А	Б	В	Г
С 19 до 7	Б	В	Г	А	Б	В	Г	А	Б	В	Г	А	Б	В	Г	А
Вы- ход- ные	В	Г	А	Б	В	Г	А	Б	В	Г	А	Б	В	Г	А	Б
	Г	А	Б	В	Г	А	Б	В	Г	А	Б	В	Г	А	Б	В

На установке утилизации тепла контактного газа разложения диметилдиоксана и высококипящих продуктов, производственная работа организована двумя часовыми сменами по четырех бригадному методу, так как на предприятии непрерывное производство.

Номинальный годовой фонд времени одного рабочего:

$$\Phi_{np} = (D_k - D_{np} - D_{вых}) \times T_{см} - D_{пред} \times T_{сок} = (365 - 14 - 96) \times 8 - 1 \times 1 = 2039 \text{ ч.}, \quad (4.3)$$

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:

$$\Phi_{\partial p} = \frac{D_k \times T_{\partial.см}}{2} = \frac{365 \times 12}{2} = 2190 \text{ ч.}, \quad (4.4)$$

где D_k – количество календарных дней в году, дн;

$T_{\partial.см}$ – действительная продолжительность смены, ч.

Количество часов переработки сверх нормы рабочего времени:

$$\Phi_{пер} = \Phi_{\partial p} - \Phi_{нр} = 2190 - 2039 = 151 \text{ ч.}, \quad (4.5)$$

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

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

Действительный эффективный фонд времени одного рабочего:

$$\Phi_{\varepsilon.\partial p} = \Phi_{\partial p} \times \left(1 - \frac{B_o}{100}\right) = 2190 \times \left(1 - \frac{12}{100}\right) = 1927,2 \text{ ч.}, \quad (4.6)$$

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

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

Коэффициент подмены:

$$K_{подм} = \frac{\Phi_{\partial p}}{\Phi_{\varepsilon.\partial p}} = \frac{2190}{1927,2} = 1.136 \text{ ч.}, \quad (4.7)$$

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

$\Phi_{\varepsilon.\partial p}$ – действительный эффективный фонд времени одного рабочего, ч.

Списочная численность:

$$Ч_{сп} = K_{подм} \times Ч_{я} = 1.136 \times 6 = 7 \text{ чел.}, \quad (4.8)$$

где $K_{подм}$ – коэффициент подмены;

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

Аналогично формуле (4.8) рассчитываем списочную численность для остальных рабочих. Результаты заносим в таблицу (4.6).

Таблица 4.6- Штаты рабочих цеха

Состав Бригады	Раз ряд	Явочное число ра- бочих		Коэф- фици- ент подме- ны	Списочная числен- ность рабо- чих в бри- гаде
		в смену	в сутки		

1 Производственные рабочие:					
1.1 аппаратчик	6	3	6	1,136	7
1.2 аппаратчик	5	7	14	1,136	16
Итого		10	20		23

Расчет численности ИТР показываем в таблице (4.7).

Таблица 4.7- Расчет численности ИТР

Наименование должностей	Количество штатных единиц	Должностной оклад, руб.
Начальник установки	1	60000
Начальник отделения	1	40000
Мастер смены	4	30000
Инженер-технолог	1	28000

4.5 Заработная плата рабочих:

Тарифная ставка рабочего 6 – го разряда:

$$T_{ст\ 6\ раз} = 104.2\ руб / час.$$

Тарифная ставка рабочего 5 – го разряда:

$$T_{ст\ 5\ раз} = 83.3\ руб / час.$$

Оплата по тарифу:

$$З_{тар} = T_{ст\ 6\ раз} \times \Phi_{эдр} \times \sum Ч_{сн} = 104.2 \times 1927,2 \times 7 = 1405699.68\ руб.,$$

$$З_{тар} = T_{ст\ 5\ раз} \times \Phi_{эдр} \times \sum Ч_{сн} = 83,3 \times 1927,2 \times 16 = 2568572.16\ руб., \quad (4.9)$$

где $T_{ст.б. раз}$ – тарифная ставка рабочего 5,6 – го разряда, руб/час;

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

$Ч_{сн}$ – списочная численность рабочих, чел.

Расчет премии рабочих:

$$З_{прем} = З_{тар} \times K_{прем} = 3974271.84 \times 0,2 = 897597.25\ руб., \quad (4.10)$$

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

$K_{\text{прем}}$ – коэффициент премирования.

Доплата за работу в праздничные дни:

$$Z_{\text{празд}} = T_{\text{ст } 6 \text{ раз}} \times t_{\text{см}} \times n_{\text{см}} \times Ч_{\text{яв}} \times D_{\text{празд}} = 104.2 \times 12 \times 2 \times 3 \times 14 = 105033.6 \text{ руб.},$$

$$Z_{\text{празд}} = T_{\text{ст } 5 \text{ раз}} \times t_{\text{см}} \times n_{\text{см}} \times Ч_{\text{яв}} \times D_{\text{празд}} = 83.3 \times 12 \times 2 \times 7 \times 14 = 105033.6 \text{ руб.}, \quad (4.11)$$

где $T_{\text{ст } 6 \text{ раз}}$ – тарифная ставка рабочего 5,6 – го разряда, руб/час;

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

$n_{\text{см}}$ – число смен в сутки,

$Ч_{\text{яв}}$ – явочное число рабочих в смену, чел;

$D_{\text{пр}}$ – количество праздничных дней в году, дн.

Доплата за работу в ночное время:

$$Z_{\text{ноч}} = Z_{\text{тар } 6 \text{ раз}} \times \frac{(1 + K_{\text{н}})}{3} = 1405699.68 \times \frac{(1 + 1.2)}{3} = 1030846.43 \text{ руб.},$$

$$Z_{\text{ноч}} = Z_{\text{тар } 5 \text{ раз}} \times \frac{(1 + K_{\text{н}})}{3} = 2568572.16 \times \frac{(1 + 1.2)}{3} = 1883619.58 \text{ руб.}, \quad (4.12)$$

где $Z_{\text{тар}}$ – оплата по тарифу 5,6-го разряда, руб.;

$K_{\text{н}}$ – коэффициент доплат за работу в ночное время.

Основной фонд заработной платы:

$$\begin{aligned} Z_{\text{осн}} &= Z_{\text{тар}} + Z_{\text{прем}} + Z_{\text{празд}} + Z_{\text{ноч}} = 3974271.84 + \\ &+ 897597.25 + 300954.6 + 2914466 = 8087289.69 \text{ руб.}, \end{aligned} \quad (4.13)$$

где $Z_{\text{тар}}$ – оплата по тарифу 5,6-го разряда, руб.;

$Z_{\text{прем}}$ – премия, руб.;

$Z_{\text{празд}}$ – доплата за работы в праздничные дни, руб.;

$Z_{\text{ноч}}$ – доплата за работы в ночное время, руб.

Дополнительный фонд заработной платы:

Оплата дней отпуска:

$$Z_{\text{отп}} = Z_{\text{осн}} \times \frac{(\Phi_{\text{др}} - \Phi_{\text{эдр}})}{\Phi_{\text{эдр}}} = 8087289.69 \times \frac{(2190 - 1927.2)}{1927.2} = 1102812.23 \text{ руб.}, \quad (4.14)$$

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

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

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

Годовой фонд заработной платы:

$$Z_{год} = Z_{осн} + Z_{доп} = 8087289.69 + 1102812.23 = 9190101.92 \text{ руб.}, \quad (4.15)$$

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

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

Отчисления на страховые выплаты:

$$OCB = Z_{год} \times K_c = 9190101.92 \times 0.3 = 2757030.58 \text{ руб.}, \quad (4.16)$$

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

K_c - коэффициент страховых выплат (0.3).

4.6 Расчет годового фонда заработной платы ИТР

Основная заработная плата:

$$Z_{годИТР} = T_{окл} \times 12 \times Ч_{спИТР} = 60000 \times 2 \times 1 + 40000 \times 12 \times 1 + 30000 \times 12 \times 4 + 28000 \times 12 \times 1 = 2976000 \text{ руб.}, \quad (4.17)$$

где $T_{окл}$ - оклад, руб.;

12 - количество месяцев в году;

$Ч_{спИТР}$ - число ИТР, чел.

Аналогично формуле (4.10) рассчитываем премию. Она начисляется в зависимости от процента ($P = 35\%$) по премиальному положению ИТР:

$$Z_{премИТР} = 2976000 \times 0.35 = 1041600 \text{ руб.}$$

Доплата за работу в праздничные дни:

$$Z_{празд} = \frac{T_{окл}}{176 \times t_{см} \times n_{см} \times Ч_{я} \times Д_{пр}} = \frac{30000}{176 \times 12 \times 2 \times 1 \times 14} = 40909 \times 2 = 81818.18 \text{ руб.}, \quad (4.18)$$

где $T_{окл}$ - оклад, руб.;

176 - количество рабочих часов в месяц ИТР;

$t_{см}$ - 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.

Аналогично по формулам (4.12) – (4.16) рассчитываем для ИТР.

Доплата за работу в ночное время:

$$З_{noch} = 1440000 \times \frac{(1 + 0,2)}{3} = 576000 \text{ руб.}$$

Дополнительный фонд заработной платы:

$$\begin{aligned} З_{дон} = & (60000 \times 1 + 40000 \times 1 + 30000 \times 4 + 28000 \times 1) + \left(\frac{60000}{22} \right) \times 1 \times 1 + \\ & + \left(\frac{40000}{22} \right) \times 1 \times 1 + \left(\frac{30000}{22} \right) \times 1 \times 4 + \left(\frac{28000}{22} \right) \times 1 \times 1 = 259272,7 \text{ руб.} \end{aligned}$$

Основной фонд заработной платы:

$$З_{осн} = 2976000 + 104160 + 81818.18 + 432000 = 4531418.18 \text{ руб.}$$

Расчет годового фонда заработной платы ИТР:

$$З_{год} = З_{осн} + З_{дон} = 4531418.18 + 259272,70 = 4790690.88 \text{ руб.}$$

Отчисления на страховые выплаты:

$$ОСВ = З_{год} \times K_{с.в.} = 4790690.88 \times 0.3 = 1437207.26 \text{ руб.}$$

Результаты сводим в таблицу (4.8)

Таблица 4.8- Расчет фонда заработной платы рабочих

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				
1 Производственные рабочие	23	3974271,84	897597,25	300954,6	2914466,01	8087289,69	1102812,23	9190101,92	2757030,58
2 ИТР	7	2976000	1041600	81818,18	576000	4531418	259272,7	4790690,7	1437207,26
Итого	30	6950271,84	1939197,25	382772,18	3490466,01	12618707,69	1362084,93	13980792,62	4194237,84

4.7 Расчёт себестоимости продукции

Основная заработная плата рабочим на 1 тонну продукции:

$$З_{осн.уд} = \frac{З_{осн}}{M} = \frac{12618707.69}{90000} = 140.21 \text{руб.}, \quad (4.19)$$

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

M - годовая мощность производства, т/год.

Дополнительная заработная плата рабочим на 1 тонну продукции:

$$З_{доп.уд} = \frac{З_{доп}}{M} = \frac{1362084.93}{90000} = 15.13 \text{руб.}, \quad (4.20)$$

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

M - годовая мощность производства, т/год.

Удельные отчисления страховых выплат на продукцию:

$$OCB_{уд} = \frac{OCB}{M} = \frac{4194237.84}{90000} = 46.60 \text{руб.}, \quad (4.21)$$

где OCB - отчисления на страховые выплаты, руб.;

M - годовая мощность производства, т/год.

4.8 Расчет расходов на содержание и эксплуатацию оборудования

Текущий ремонт и содержание оборудования - 30% от амортизации оборудования:

$$2572800 \times 0.3 = 771840 \text{руб.}$$

Износ и восстановление инструментов – 5% от амортизации оборудования:

$$2572800 \times 0.05 = 128640 \text{руб.}$$

Прочие расходы – 1 % от амортизации:

$$2572800 \times 0.01 = 25728 \text{руб.}$$

Полученные результаты заносим в таблицу (4.9)

Таблица 4.9- Затраты на содержание и эксплуатацию оборудования

Наименование статей расходов	Сумма, руб.
1	2
1 Амортизация производственного оборудования	2572800

Продолжение таблицы 4.9

1	2
2 Текущий ремонт и содержание оборудования	771800
3 Износ и восстановление инструментов	128640
4 Прочие расходы	25728
Итого	3198968

Затраты на 1 тонну продукции составят:

$$Z_{(1m)} = \frac{\sum_{затр}}{M} = \frac{3498968}{90000} = 38.88 \text{ руб.}, \quad (4.22)$$

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

M - годовая мощность производства, т/год.

4.9 Расчет цеховых расходов

Содержание цехового персонала – включает годовую заработную плату и отчисления на страховые выплаты ИТР:

$$13980792.62 + 4194237.84 = 18175029.84 \text{ руб.}$$

Амортизация зданий – по данным сметы.

Содержание зданий – по данным сметы.

Затраты на реализацию, опыты, исследования – 1 % от общей заработной платы всех работников.

Затраты на охрану труда – 10 % от зарплаты всех работающих.

Прочие расходы – 0,5% от общей заработной платы всех работников.

Затраты на цеховые нужды указаны в таблице (4.10)

Таблица 4.10- Затраты на цеховые нужды

Наименование статей расхода	Сумма, руб.
1	2
1 Содержание цехового персонала	18175029,84
2 Амортизация зданий	1120000
3 Содержание зданий	20000000
4 Затраты на реализацию, опыты, исследования	181750,30

Продолжение таблицы 4.10

1	2
5 Затраты на охрану труда	1817502,98
6 Прочие расходы	90875,15
Итого	41385158,27

Затраты на цеховые нужды на 1 тонну продукции рассчитываем аналогично формуле (4.22):

$$z_{(1m)} = \frac{41385158.27}{90000} = 459.83 \text{ руб.}$$

Таблица 4.11- Сравнение статей расхода на 1 т продукции

Название статей расхода	Ед. изм.	Базовый вариант			Проектный вариант		
		Кол.	Цена за ед.прод., руб.	Сумма, руб.	Кол.	Цена за ед.прод., руб.	Сумма, руб.
1 Диметилдиоксан-ректификат	т	1.975	7251	14320	1.975	7251	14320
2 Изобутилен	т	1.070	10000	10700	1.070	10000	10700
3 Метанол	т	0.955	17000	9550	0.955	17000	9550
4 ИПОН-11011	т	0.006	2500	15	0.006	2500	15
5 ТБК	т	0.0015	3000	0.4	0.0015	3000	0.4
6 Калия гидрат окиси технический	т	0.0003	3600	1.08	0.0003	3600	1.08
7 Натр едкий (100%)	т	0.026	3800	98.80	0.026	3800	98.80
8 Спирт бутиловый	т	0.006	7500	45	0.006	7500	45
9 Циклогексанон	т	0.004	6000	24	0.004	6000	24
10 Электроэнергия	кВт·ч	410	3.44	1410.4	410	3.44	1410.4
11 Пар	Гкал	16	830	13280	-	-	-
12 Вода оборотная	м ³	1790	0.67	1199.3	1790	0.67	1199.3
13 Вода речная	м ³	110	2.17	238.7	110	2.17	238.7
14 Воздух сжатый	м ³	60	1.15	69	60	1.15	69
15 Азот	м ³	45	2.40	108	45	2.40	108
16 Основная зарплата рабочим				140.21			140.21
17 Дополнительная зарплата рабочим				15.13			15.13
18 Отчисления на единый социальный налог				46.60			46.60
19 Содержание на эксплуатацию оборудования				38.88			38.88
20 Цеховые расходы				459.83			459.83
21 Цеховая себестоимость				61563			48283

4.10 Расчёт экономической эффективности проектных решений

4.10.1 Снижение себестоимости

Себестоимость 1 тонны продукции, по проектному варианту в %:

$$X = \frac{C_2 \times 100}{C_1} = \frac{48283 \times 100}{61653} = 78.31\%, \quad (4.23)$$

где C_2 – себестоимость одной тонны продукции по проектному варианту, руб.;

C_1 – себестоимость одной тонны продукции по базовому варианту, руб.

Процент снижения себестоимости $100 - 78,31 = 21,69 \%$.

4.10.2 Ожидаемая прибыль:

$$П_{ож} = (C_1 - C_2) \times M = (61563 - 48282) \times 90000 = 109639680 \text{ руб.}, \quad (4.24)$$

где C_1 – себестоимость одной тонны продукции по базовому варианту, руб.;

C_2 – по проектному, руб.;

M – производственная мощность, т/год.

4.10.3 Налог на прибыль:

$$H_{np} = П_{ож} \times K_{нал} = (4953600 + 2046000) \times 0.2 = 1399920 \text{ руб.}, \quad (4.25)$$

где $П_{ож}$ - ожидаемая прибыль, руб.;

$K_{нал}$ – 20 % налог на прибыль.

4.10.4 Чистая ожидаемая прибыль:

$$\begin{aligned} П_{чист} &= П_{ож} - H_{np} = 109639680 + \\ &+ ((4953600 + 2046000) - 1399920) = 115239360 \text{ руб.}, \end{aligned} \quad (4.26)$$

где $П_{ож}$ - ожидаемая прибыль, руб.;

H_{np} - налог на прибыль, руб.

4.10.5 Индекс доходности:

$$\begin{aligned} ИД &= \sum \frac{ЧД}{З_{np}} = \\ &= \frac{115239360}{60300000 + 13980792.62 + 34989968 + 18175029.84 + 41385158.27 + 48283} = \\ &= \frac{115239360}{137384051.73} = 0.83 \end{aligned} \quad (4.27)$$

где ЧД- чистый доход;

$Z_{пр}$ – сопутствующие затраты по проекту.

4.10.6 Срок окупаемости капитальных вложений:

$$T_{ок} = \frac{1}{ИД} = \frac{1}{0.83} = 1.22 \text{ года.} \quad (4.28)$$

4.11 Вывод

В результате внедрения технологии при утилизации тепла контактного газа разложения диметилдиоксана и высококипящих продуктов произошли следующие экономические изменения, указанные в таблице (4.12):

Таблица 4.12- Экономические изменения при внедрении технологии

Показатели		Ед.изм	Базовый вариант	Проектный вариант	Отклонения
1	Производственная мощность	т/год	90000	90000	-
2	Себестоимость продукции	руб/т	61563	44103	-13280
3	Условно-годовая экономия	руб	-	109639680	-
4	Капитальные вложения	руб	-	60300000	-
5	Чистая прибыль	руб	-	115239360	-11523936
6	Срок окупаемости	лет	-	1,2	-

В результате проведенного экономического расчета при внедрении технологии и замене оборудования, получаемый вторичный пар в количестве 17Гкал/ч, общие капитальные затраты по проекту составили 137384051,73 руб., себестоимость продукции уменьшилась на 13280 руб/т, чистая прибыль составляет 115239360 руб., а срок окупаемости – 1,2 лет, следовательно, проект эффективен.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Производство изопрена является важным этапом в производстве изопренового синтетического каучука. Технология производства энергозатратна, и имеет потенциал для совершенствования. Для снижения затрат на приобретение энергоресурсов и получение дополнительной прибыли разработана технология утилизации тепла контактного газа разложения диметилдиоксана и высококипящих побочных продуктов. Для решения задач модернизации произведено внедрение в технологическую цепочку теплообменника.

По данному проекту рассчитан материальный и тепловой балансы, где исходными данными является источник тепла контактного газа. Сделаны расчеты по выбору основного оборудования. Проведен литературный обзор и систематизирован материал о способе получения изопрена и синтетических изопреновых каучуков.

Выполнена графическая часть проекта.

В разделе «безопасность и экологичность технического объекта» отражены вопросы безопасности на проектируемом производственном участке.

Технико-экономическое обоснование проекта состоит из теоретической и графической частей. В теоретической части произведены расчеты: годовой производственной мощности, капитальных вложений, себестоимости продукции и прибыли от реализации вторичного пара. В графической части дипломного проекта приведена таблица технико-экономического обоснования проекта.

Цель, поставленная в начале дипломного проекта, достигнута.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 ГОСТ 2.105-95. Единая система конструкторской документации. Общие требования к текстовым документам, 1995.- 28 с.
- 2 Рейхсфельд, В.О., Шеин, В.С., Ермаков, В.И. Реакционная аппаратура и машины заводов основного органического синтеза и синтетического каучука – М. : Химия, 1991. – 496 с.
- 3 Кутепов, А.М., Бондарева, Т.И., Беренгартен, М.Г. Общая химическая технология: Учеб. для техн. вузов.– 2-е изд.– М.: Высш. шк., 1990-520 с.
- 4 Кирпичников, П.А., Аверко-Антонович, Ю.О. Химия и технология синтетического каучука– М.: Химия, 1971. – 584 с.
- 5 Каучук синтетический цис-изопреновый. Технические условия ГОСТ 1492-79 (СТ СЭВ 802-77) госкомитет по стандартам.
- 6 Аверко-Антонович, Л. А., Химия и технология синтетического каучука, учебник для вузов. М.: Колосс, 2008.- 357с.
- 7 Башкатов Т.В. Технология синтетических каучуков/ Т.В.Башкатов, Я.Л. Жигалин. – Л.: Химия, 1987.- 205 с.
- 8 Свойства синтетического цис-1,4-полиизопрена, содержащего в полимерной цепи гидроксильные группы.- Каучук и резина. М.: Химия, 1975-320 с.
- 9 Технический анализ и контроль производства синтетических каучуков/Н.А. Исакова. [и др.] – Л.: Химия, 1976.- 282 с.
- 10 Способ получения модифицированного цис-1,4- Полиизопрена / Тужиков, О.И. – М.: Химия, 1970. – 202 с.
- 11 Березин, Б.Д. Курс современной органической химии / Б.Д. Березин. – М.: Высшая школа, 2001. – 258с.
- 12 Огородников, С.К. Формальдегид.- Л.: Химия, 1984. – 280 с.
- 13 Уокер Дж. Ф. Формальдегид. - Госхимиздат, 1957-130 с.
- 14 Лебедев, Н.Н. Химия и технология основного и нефтехимического синтеза: Учебник для вузов. – М: Химия, 1981. – 608 с.

- 15 Павлов, К.Ф., Романков, П.Г., Носков, А.А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии : Учебное пособие для вузов. 10 изд., пер. и доп. – Л. : Химия, 1987. - 587 с.
- 16 Касаткин, А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии / А.Г. Касаткин. – М.: Химия, 1971. – 784 с.
- 17 Чернобыльский, И.И. Машины и аппараты химических производств / И.И. Чернобыльский [и др.] – М.: МАШГИЗ, 1961. – 495 с.
- 18 Плановский, А.Н. Процессы и аппараты химической и нефтехимической технологии / А.Н. Плановский, П.И. Николаев. – М.: Химия, 1972. – 496 с.
- 19 Перри, Д.Г. Справочник инженера – химика / Д.Г. Перри. – М.: Химия, 1970. – 202 с.
- 20 Рамм, В.М. Теплообменные аппараты / В.М. Рамм. – М.: Госхимиздат, 1948. – 209 с.
- 21 Чечеткин, А.В. Высокотемпературные теплоносители / А.В. Чечеткин. – 3-е изд., перераб. – М.: Энергия, 1971. – 496 с.
- 22 Теплотехнический справочник / под.ред. С.Г. Герасимова. – М.: Энергия, 1957. – 386 с.
- 23 Гельперин, Н.И. Основные процессы и аппараты химической технологии: ч.1,2. – М. : Химия, 1981. – 812 с.
- 24 Плановский, А.Н., Николаев, П.И. Процессы и аппараты химической и нефтехимической технологии. - М.: Химия, 1987.-540 с.
- 25 Плановский, А.Н., Рамм В.М., Коган С.З. Процессы и аппараты химической технологии. 5-е изд.– М. : Химия, 1968. – 847 с.
- 26 Общие основы химической технологии : Разработка и проектирование технол. процессов / Пер. с пол. под ред. П.Г. Романкова и М.И. Курочкиной. - Л.: Химия, 1977. - 503 с.
- 27 Лащинский, А.А., Толчинский, А.Р. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры. Справочник. -Л.: Машиностроение, 1981.- 752 с.

- 28 Альперт, Л.З. Основы проектирования химических установок.- М.: Высш. шк., 1982. – 304 с.
- 29 Основы проектирования. Под ред. Лашинского А.А. – М: Химия, 1971. – 466 с.
- 30 Ануриев, В.И. Справочник конструктора – машиностроителя. М: Машиностроение, 1980. – 557 с.
- 31 Краткий справочник физико-химических величин. Под ред. К.П. Мищенко и А.А. Равделя, – Л.: Химия, 1974. – 200с.
- 32 Поникаров, И.И. Расчеты машин и аппаратов химических производств и нефтегазопереработки / И.И. Поникаров., С.И. Поникаров., С.В. Рачковский. – М.: Альфа MISBN, 2008. – 721с.
- 33 ГОСТ 14249-89. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность, 1989-51с.
- 34 ГОСТ 24755-89 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Укрепления отверстий, 1989-29с.
- 35 ГОСТ 26202-84 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность обечаек и днищ от воздействия опорных нагрузок, 1989-48 с.
- 36 Справочник по теплообменникам. -М.: Энергоатомиздат, 1987. Т.1. -561 с. Т.2. -352 с.
- 37 Маньковский, О.Н., Толчинский, А.Р., Александров, М.В. Теплообменная аппаратура химических производств.- Л.: Химия, 1976.- 368 с.
- 38 Воробьева, Г.Я. Коррозионная стойкость материалов в агрессивных средах химических производств. – М.: Химия, 1975. – 816 с.
- 39 Кафаров, В.В., Глебов, М.Б. Математическое моделирование основных процессов химических производств. - М.: Высш.шк., 1991.-440с.
- 40 Закгейм, А.Ю. Введение в моделирование химико-технологических процессов. - М.: Химия, 1982.
- 41 Рид Р., Праусниц Дж., Шервуд Т. Свойства газов и жидкостей/ Пер с англ.- Л.: Химия, 1982. – 592 с.

42 Дытнерский, Ю.И. Процессы и аппараты химической технологии. Ч.1,2. – М. : Химия, 1995.– 730 с.

43 Общий курс процессов и аппаратов химической технологии: Учебник для вузов.Кн.1,2. / Под общ. ред. В.Г. Айнштейна. – М. : Химия, 1999. – 869 с.

44 Романков, П.Г. и др. Методы расчета процессов и аппаратов химической технологии (примеры и задачи) : Учеб. пособие для вузов. / П.Г. Романков, В.Ф. Фролов, О.М. Флисюк, М.И. Курочкина. – СПб. : Химия, 1993. – 496 с.

45 Гутник, С.П. Расчеты по технологии органического синтеза. М: Химия, 1988. – 272 с.

46 Кузнецов, А.А., Кагерманов, С.М., Судаков, Е.Н. Расчеты процессов и аппаратов нефтеперерабатывающей промышленности. Изд. 2-е, пер. и доп.-Л.: Химия, 1974.-375 с.

47 Богомолов, А.И., Гайле, А.А. Громова, В.В. и др. Химия нефти и газа: Учеб. пособ. Для вузов/Под ред. В.А. Проскурякова, А.Е. Драбкина. – 3-е изд. Доп. и испр. – СПб: Химия, 1995.- 525 с.

48 Рябов, В.Д. Химия нефти и газа. Учеб. для вузов – М.: Изд. «Техника» ГУМА ГРУПП, 2004. – 288 с.

49 Варгафтик, В.Д. Справочник по теплофизическим свойствам жидкостей и газов. – М.: Наука, 1972. – 720 с.

50 Основные процессы и аппараты химической технологии. Пособие по проектированию / Под ред. Ю.И.Дытнерского – М. : Химия, 1991. – 496 с.

51 Бесков, С.Д. Технохимические расчеты / С.Д. Бесков. – М.: Высшая школа, 1965. – 519с.

52 Вагафтик, Н.Б. Справочник по теплопроводности жидкостей и газов / Н.Б. Варгафтик, Л.П.Филиппов, Л.А. Тарзиманов, Е.Е. Тонкий – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 352с.

53 Гельперин, Н.И. Основные процессы и аппараты химической технологии / Н.И. Гельперин. – М.: Химия, 1981. – 812с.

54 Глинка, Н.Л. Общая химия / под ред. В.А. Рабиновича. Л.: Химия, 1986. – 706с.

55 Дытнерский, Ю.И. Основные процессы и аппараты химической технологии: учебное пособие /под редакцией Ю.И. Дытнерского. – М.: Химия, 1991.– 497с.

56 Косинцев, В.И. Основы проектирования химических производств / В.И. Косинцев., А.И. Михайличенко – М.: Академкника, 2005. – 332с.

57 Кузнецов, А.А. Расчеты процессов и аппаратов нефтеперерабатывающей промышленности / А.А. Кузнецов, С.М. Канерманов, Е.Н. Судачков. Л.: Химия, 1974. – 344с.

58 Курочкин, А.А. Основные расчеты и конструирования машин и аппаратов перерабатывающих производств / А.А. Курочкин, В.М. Зимняков. – М.: КолосС, 2006. – 320с.

59 Лащинский, А.А. Основы конструирования и расчеты химической аппаратуры / А.А. Лащинский, А.Р. Толчинский. – Л.: Машиностроение, 1970. – 752 с.

60 Чернышев, А.К., Поплавский, К.Л., Заичко, Н.Д. Сборник номограмм для химико-технологических расчетов. – Л.: Химия, 1974. – 200 с.

61 Рабинович, В.А. Краткий химический справочник - 3-е изд., перераб. и доп./ Рабинович В.А., Хавин З.Я.; Под общ. ред. А.А. Потехина, А.И. Ефимова. - Л.: Химия, 1991. - 432 с.

62 Долин, П.А. Справочник по технике безопасности / П.А. Долин. – М.: Энергоиздат, 1998. – 800с.

63 Горина, Л.Н. Обеспечение безопасных условий труда на производстве- учебное пособие, Тольятти: ТолПИ, 2000- 68с.

64 Бесчастнов, М.В. Промышленные взрывы. Оценка и предупреждение, М.: Химия, 1991.- 432с.

65 Белов, С.В. Охрана окружающей среды- М.: Высш. Шк., 1991. 315с.

66 Брейман, М.И. Инженерные решения по технике безопасности в пожаро- и взрывоопасных производствах / М.И. Брейман. – М.: Химия, 1973. – 344 с.

67 Горина, Л.Н., Ульянова, В.Е. Организация службы охраны труда на предприятии- учебное пособие- Тольятти: ТолПИ, 1999- 43с.

68 Постоянный технологический регламент производства изопрена ректификата ТР-И-9-26-12.

69 Горфикель, В.Я., Швандар, В.А. Экономика предприятия: учебник для вузов- 3-е изд., перераб. и доп.- М.: ЮНИТИ- ДАНА, 2003.-713 с.

70 Писарев, А.С. Экономика производства: учебное пособие для вузов - изд. ТГУ, г. Тольятти, 2002.- 280 с.