

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 «Оптимизация установки отгонки бутадиена»

Студент(ка)	Е.В. Гляденцев	
	_____	_____
	(И.О. Фамилия)	(личная подпись)
Руководи- тель	Ю.В. Чариков	
	_____	_____
	(И.О. Фамилия)	(личная подпись)
Консультан- ты	А.Е. Краснослободцева	
	_____	_____
	(И.О. Фамилия)	(личная подпись)
	К.Ш. Нуров	
	_____	_____
	(И.О. Фамилия)	(личная подпись)
Нормокон- троль	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

Студенту Гляденцеву Евгению Витальевичу

1. **Тема:** Идентификация профессиональных рисков при производстве бутадие-

2. **Срок предоставления законченной готовой работы** 19 июня 2016 г.

3. **Исходные данные к проекту (работе):** масса сырья - 1,3 т, температура - 14,95 °С, концентрация - 1,3 моль/л, расход - 9,16 л/ч, расход воды - 1,3 м³/ч, расход пара - 0,002 т/ч, расход воздуха - 1,3 м³/ч, расход азота - 1,3 м³/ч, расход кислорода - 1,3 м³/ч, расход азота - 1,3 м³/ч, расход кислорода - 1,3 м³/ч, расход азота - 1,3 м³/ч, расход кислорода - 1,3 м³/ч.

4. **Содержание текстового документа (перечень подлежащих разработке вопросов)** Аналитическая часть - обзор по физико-химическим свойствам и описание действующей технологической схемы производства бутадие-на. Технологическая часть – технологическая схема блока очистки бутадие-новой фракции от метилацетилена, описание технологического оборудования. Расчетная часть - тепловой баланс, технологический расчет оборудования, гидравлический расчет, конструкционный расчет колонны, конструкционный расчет конденсатора. Экономическое обоснование предлагаемого проекта - Расчет годовой производственной мощности. Расчет капитальных вложений (инвестиций) по проектному варианту. Расчет эффективности и проектных решений. Безопасность и экологичность проекта - Характеристика технологического объекта, Идентификация профессиональных рисков, Методы и средства снижения

профессиональных рисков, Обеспечение пожарной безопасности техни-  
ческого объекта, Обеспечение экологической безопасности технического объ-  
екта.

**5 Перечень графического материала** (с точным указанием обязательных чертежей)

5.1. Колонна ректификации бутадиена

5.2. Модернизация установки отгонки бутадиена

5.3. Конденсатор

5.4. Пучок трубный

5.5. План изображения оборудования

5.6. Тарелка для ректификационной колонны

5.7. Технологическая схема

5.8. Технико-экономические показатели дипломного проекта

**7. Дата выдачи задания на выполнение дипломного проекта– 26.02.2016г.**

Руководитель \_\_\_\_\_ Чариков Ю. В.

Задание принял к исполнению \_\_\_\_\_ Гляденцев Е. В.

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: Гляденцева Евгения Витальевича

по теме: Оптимизация установки отгонки бутадиена

<b>Наименование раздела работы</b>	<b>Плано- вый срок вы- полнения раз- дела</b>	<b>Факти- ческий срок выполнения раздела</b>	<b>От- метка о выполне- нии</b>	<b>П одпись руко- води- теля</b>
Введение	<b>01.02.2016</b>			
Аналитическая часть	<b>20.02.2016</b>			
Расчетно- технологическая часть	<b>10.04.2016</b>			
Экономическая часть	<b>20.05.2016</b>			
Безопасность и экологи- чность проекта	<b>25.05.2016</b>			
Нормоконтроль	<b>05.06.2016</b>			
Выполнение чертежей	<b>01.06.2016</b>			
Заключение	<b>02.06.2016</b>			
Предварительная за- щита	<b>09.06.2016</b>			
Оформление работы				

Руководитель дипломного про-  
екта \_\_\_\_\_ Ю.В. Чариков  
(подпись) (И.О. Фамилия)

Задание принял к исполнению \_\_\_\_\_ Е.В. Гляденцев  
(подпись) (И.О. Фамилия)

## ВВЕДЕНИЕ

Значение каучука в современной технике и народном хозяйстве очень велико, т.к. каучук является основным компонентом резиноматериалов с уникальным комплексом свойств.

В настоящее время многие страны мира производят синтетический каучук с разнообразием структурных особенностей и физических свойств.

Долгое время единственным продуктом, из которого изготавливали резиновые изделия, был натуральный каучук (НК), добываемый из млечного сока (латекса) каучуконосных деревьев.

Родина каучука – Центральная и Южная Америка. По берегам реки Амазонки, во влажных жарких тропиках растет необычное дерево, которое называется бразильская гевея. Сок дерева гевеи туземцы называли каучук (от индейских слов: сао - дерево и Chu – течь, плакать), т.е. “слезы дерева”. В первой половине XVIII в. образцы каучука попали в Европу. Однако новый материал имел большой недостаток: он сохранял свои полезные свойства (эластичность, водонепроницаемость) только в узком интервале температур. Но после открытия Ч. Гудьиром (1839 г.) и Т. Гэнкоком (1843 г.) процесса вулканизации потребность в каучуке резко возросла. Чтобы современный автомобиль вышел из ворот завода, нужно 250 кг каучука; на каждый самолет в среднем уходит 600кг, а на оборудование крупного военного корабля – почти 70 т каучука [1].

Английский химик М. Фарадей в 1826 г. определил состав каучука:  $(C_5H_8)_n$ . Позднее было установлено, что макромолекулы каучука образованы молекулами изопрена.

На основании исследования продуктов термического разложения каучука и полимеризации изопрена была установлена связь между натуральным каучуком и изопреном.

В 1900 г. И.Л. Кондаков получил первый синтетический каучук из диизопропилена, а в 1909 году С.В. Лебедев сообщил о превращении бутадиена (дивинила) в каучукоподобный полимер. Классические исследования С.В. Лебеде-

ва в области полимеризации двуэтиленовых углеводородов явились научной основой при разработке промышленного метода получения синтетического каучука.

В промышленности синтетического каучука выпускаются изопреновые каучуки для шинной и резинотехнической промышленности, освоен выпуск изопренового каучука для электротехнической промышленности. Освоен и расширен выпуск бутилкаучука для шинной, резинотехнической, кабельной отраслей промышленности. Промышленность синтетического каучука выпускает широкий ассортимент синтетических латексов для различных отраслей народного хозяйства.

Технико-экономические показатели производства синтетических каучуков определяются главным образом стоимостью основных мономеров-бутадиена, изопрена, стирола, используемых при их синтезе.

Развитие промышленности СК определяется созданием мощностей по производству синтетических каучуков и латексов, обеспечивающих удовлетворение потребности народного хозяйства.

# ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

## 1 ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

### 1.1 Бутадиен. Методы его получения

Бутадиен является одним из основных мономеров для производства бутадиен-стирольных и  $\alpha$ -метилстирольных, стереорегулярных 1,4-цис-бутадиеновых, бутадиен-метилвинилпиридиновых, бутадиен-нитрильных и других синтетических каучуков и термоэластопластов, также используется в производстве синтетических смол, полиамидов и себациновой кислоты.

Бутадиен-1,3 получается в процессе разделения бутилен - бутадиеновой фракции методом экстрактивной ректификации с последующей его очисткой.

Формулы: эмпирическая:  $C_4H_6$

Структурная:  $CH_2 = CH - CH = CH_2$

Впервые в мире процесс производства бутадиена из этилового спирта был разработан С.В. Лебедевым и реализован в промышленности в начале 30-х годов прошлого столетия в Ефремове, Воронеже и Казани. Известны также способы производства бутадиена по реакции ацетилена и формальдегида, через альдольную конденсацию ацетальдегида (Германия), а также дегидратацией и дегидрированием этанола (США).

Начиная с конца 50-х годов в Советском Союзе производство бутадиена базировалось на двухстадийном дегидрировании бутана и бутиленов (Тольятти, Омск, Нижнекамск, Сумгаит, Стерлитамак, Новокуйбышевск), однако, в виду низкой рентабельности эти установки к 80-м годам были остановлены. Некоторое время в Нижнекамске работала установка окислительного дегидрирования бутиленов, однако и она из-за высокой себестоимости получаемого бутадиена была закрыта.

В начале 80-х годов в Тобольске введено одностадийное производство бутадиена по методу Гудри мощностью 180 тыс. т/год, ранее в Нижнекамске мощностью 90 тыс. т/год (процесс «Катадиен»).

В мире, начиная с 60-х годов прошлого столетия указанные методы вытесняются более прогрессивным и доступным способом – выделением бутадиена из пиролизных фракций. Что касается одностадийных способов по методу Гудри, то эти установки в мире частично остановлены, а частично перефилированы на дегидрирование изобутана с получением изобутиленовых фракций.

Самым большим производителем бутадиена в мире является США. На его долю приходится около 2700 – 2800 тыс. т. бутадиена или около 27 – 28 % от всей выработки. Далее следует Европа – около 2400 – 2500 тыс. т., Япония – около 1100 тыс. т., Китай – 770 тыс. т., Южная Корея – 750 тыс. т., Германия – 550 тыс. т., Франция – 430 тыс. т. [1].

Крупнейшие единичные мощности по производству бутадиена имеются в США на совместном производстве фирм BASF и Fina соответственно 400 и 420 тыс. т/год.

За последние два десятилетия объем производства бутадиена был нестабилен. В последние годы наблюдается рост производства бутадиена, этот рост по разным источникам составляет 3 – 4 % в год. Мировое производство к 2010 году оценивается в 11,2 млн. т. Опережающими темпами растет производство бутадиена в южно-азиатском регионе и в первую очередь в Китае.[1]

Цены на бутадиен за тот же период колебались в диапазоне от 200 до 700 долларов за тонну, в последние же годы отмечается устойчивый рост до 1000 и даже более 1200 долларов за тонну бутадиена. [2]

В России бутадиен получается двумя методами: из пиролизной фракции (~ 47 % всей выработки) и одностадийным способом (53 %).

Несмотря на рост выработки бутадиена за последние годы объем его производства нельзя считать значительным (~500 тыс.т/год), учитывая, что с 1987г. в СССР вырабатывалось около 1 млн.т. в год и в связи ростом его потребности как в мире, так и в нашей стране. Увеличение производства в значительной степени ограничивается существующим рынком пиролизных (бутан–

бутадиеновых фракций), однако, возможности существующих производств еще полностью не исчерпаны.

Основным способом получения бутадиена в мире является извлечение из пиролизных фракций (БДФ). При выделении бутадиена и очистки от ацетиленистых экстрактивной ректификацией используются ацетонитрил и диметилформамид. Недостатком последнего является его низкая стабильность.

подавляющее большинство предприятий по извлечению бутадиена из пиролизных фракций морально и физически устарело и требуют модернизации. Показатели отечественных предприятий по расходу сырья, энергоресурсов и вспомогательных материалов уступают зарубежным. Недостаточно в России проводятся работы по внедрению передовых технологий и, в частности, по гидрированию ацетиленовых. По рекламным данным фирм UOP, Шелл, BASF и др. достигается выход бутадиена, близкий к 100%, и обеспечивается исключение из схемы не только экстрактивной ректификации бутадиена от винил- и этилацетиленовых, но и извлечение метилацетилена.

В недостаточном объеме проводится также замена существующих массообменных устройств на эффективные новые – отечественные (в частности: Институт нефтегазовых и химических технологий, НИИХиммаш, ООО «Кедр», ООО «Инжехим» и т.д.), а также зарубежных фирм «Зульцер», «Кох-Глич» и др.

## 1.2 Производство бутадиена на ООО «Тольяттикаучук»

Технологический процесс получения бутадиена состоит из следующих стадий:

- Приема, хранение и отпуск сырья (БДФ), промежуточной продукции БИФ, БДФ-1, бутановой фракции.
- Предварительная ректификация бутилен - бутадиеновой (пиролизной) фракции от высококипящих примесей.
- Ректификация бутадиена-возврата от высококипящих примесей .
- Абсорбция-десорбция отдувок бутадиена.

- Разделение бутилен-бутадиеновой (пиролизной) фракции экстрактивной ректификацией с ацетонитрилом.
- Очистка бутадиеновой фракции от ацетиленовых углеводородов экстрактивной ректификацией с ацетонитрилом .
- Отмывка бутадиеновой фракции от карбонильных соединений, ацетонитрила и очистка бутадиеновой фракции от метилацетилена (пропина).
- Очистка бутадиена от высококипящих примесей ректификацией
- Отмывка бутилен-изобутиленовой фракции (БИФ) от ацетонитрила
- Отмывка ацетиленовых углеводородов от ацетонитрила
- Отгонка ацетонитрила из промывных вод в колонне.
- Переиспарение циркулирующего ацетонитрила.

В производстве бутадиена и БИФ используется пиролизная фракция БДФ различных поставщиков со средним содержанием бутадиена 37%.

Пиролизная фракция подвергается предварительной ректификации от высококипящих примесей в колоннах №37/1,2. Далее процесс разделения бутилен-бутадиеновой (пиролизной) фракции осуществляется методом экстрактивной ректификации на блоках №1,2, работающих параллельно или на резервном блоке (РБЭР). Каждый блок состоит из двух ректификационных колонн №11/1 и №11/2 и десорбционной колонны №18/1 (2).

Резервный блок экстрактивной ректификации состоит из двух ректификационных колонн №211, 218. На блоках экстрактивной ректификации идет выделение бутадиеновой фракции и БИФ из БДФ.

В качестве растворителя на блоках экстрактивной ректификации применяется технический ацетонитрил.

Бутадиеновая фракция после выделения ее в блоках экстрактивной ректификации подвергается очистке от ацетиленовых углеводородов в колоннах №11/1, 18/3 блока №3.

Отмывка бутадиеновой фракции от карбонильных соединений и ацетонитрила производится фузельной водой в колонне №32 (№74, 110).

Промывная вода из куба колонны №32 (№74, 110) подается в колонну №37 (№102) для отгонки из нее ацетонитрила.

Отмытая от карбонильных соединений и ацетонитрила бутadiensовая фракция после системы отстоя от унесенной воды подается в верхнюю часть колонны №107 для очистки бутadiensовой фракции от метилацетилена (пропина). Далее бутadiensовая фракция подвергается очистке от высококипящих примесей ректификацией в колоннах №90 и 102.

Бутилен-изобутиленовая фракция (БИФ) извлекаемая из БДФ, в процессе экстрактивной ректификации подвергается отмывке от ацетонитрила фузельной водой в колонне №28 (№32). Отмытая бутилен-изобутиленовая фракция (БИФ) с верха колонны поступает в систему отстоя, после подается на склад цеха Д-12-13.

Отмывка ацетиленовых углеводородов от ацетонитрила производится фузельной водой в колонне №110 (№70).

Отмытые газообразные ацетиленовые углеводороды из колонны №110 (№70) смешиваются с метилацетиленовой фракцией, разбавляются природным газом и направляются в цех Д-6-2 на сжигание.

Промывные воды, поступающие из колонн №28 (№32), №110 (№70), №32 (№74,110) подвергаются очистке от ацетонитрила в колонне №37. Избыток сконденсированного водного ацетонитрила возвращается в кубы колонн блоков №1,2 или 218 (РБЭР).

### 1.3 Ректификация и её использование

В ряде производств химической, нефтяной, пищевой и других отраслей промышленности в результате различных технологических процессов получают смеси жидкостей, которые необходимо разделить на составные части.

Для разделения смесей жидкостей и сжиженных газовых смесей в промышленности применяют способы простой перегонки (дистилляции), перегонки под вакуумом и с водяным паром, молекулярной перегонки и ректификации.

Ректификацию широко используют в промышленности для полного разделения смесей летучих жидкостей, частично или целиком растворимых одна в другой.

Процесс ректификации предназначен для разделения жидких смесей на практически чистые компоненты или фракции, различающиеся температурой кипения.

Так сущность процесса ректификации сводится к многократному противоточному контактированию паров и жидкостей. Вступающие в контакт пары и жидкость при ректификации не находятся в равновесии, но в результате контакта фазы на каждой ступени контактирования (тарелке или слое насадки) между ними происходит тепломассообмен, обусловленный стремлением системы достичь равновесия или приблизиться к этому состоянию. В результате каждого контакта компоненты перераспределяются между фазами: пар несколько обогащается низкокипящими, а жидкость - высококипящими компонентами. При достаточно длительном контакте и высокой эффективности контактного устройства пар и жидкость, уходящие с тарелки, достигают состояния равновесия, при этом происходит выравнивание температур и давлений. Контакт пара и жидкости, при котором система достигает состояния равновесия, называется идеальным или теоретическим, а устройство, обеспечивающее такой контакт - теоретической тарелкой. Подбирая контактное устройство, число контактных ступеней и параметры процесса (температурный режим, давление, соотношение потоков, флегмовое число и т.д.). можно обеспечить любую требуемую четкость фракционирования смесей.

Ректификация - массообменный процесс, который осуществляется в противоточных колонных аппаратах с контактными элементами (насадки, тарелки). В процессе ректификации происходит непрерывный обмен между жидкой и паровой фазой. Жидкая фаза обогащается более высококипящим компонентом, а паровая фаза - более низкокипящим. Процесс массообмена происходит по всей высоте колонны между стекающей вниз флегмой и поднимающимся

вверх паром. Чтобы интенсифицировать процесс массообмена применяют контактные элементы, что позволяет увеличить поверхность массообмена. В случае применения насадки жидкость стекает тонкой пленкой по ее поверхности, в случае применения тарелок пар проходит через слой жидкости на поверхности тарелок.

Повысить эффективность контакта пара и жидкости можно за счет использования контактных устройств, обладающих высокой производительностью по жидкости и пару и низким гидравлическим сопротивлением. Таким контактным устройством является насадка с вертикальными контактными решетками (АВР). [3]

Насадка АВР состоит из блока сформированного зигзагообразными перегородками, образующими в плоскостях контакта каналы вертикальных решеток. На границе контакта происходит дробление жидкости. Принцип процесса следующий: жидкость, поступающая в верхнюю часть аппарата, стекает сквозь отверстия контактной вертикальной решетки, и по зигзагообразной перегородке последовательно, на каждой ступени распыляется газом, поступающим из нижней части аппарата. При этом образуется капельный поток, формирующий пленочное движение. Подача орошения в АВР происходит по нормали к поверхности. Капли эффективно проникают в жидкостную пленку, чем достигается максимально возможная степень возмущения пленочного течения и наибольшая эффективность процесса массопереноса.

В нефтяной, химической, нефтехимической и газовой промышленности распространены тарельчатые или насадочные колонны. Современные ректификационные аппараты должны обладать высокими разделительными способностями и производительностью, характеризоваться достаточной надежностью и гибкостью в работе, обеспечивать низкие эксплуатационные расходы, иметь небольшую массу и, наконец, быть конструктивно-простыми и несложными в изготовлении. Последние требования не менее важны, чем первые, поскольку они не только определяют капитальные затраты, но и в значительной мере вли-

яют на себестоимость продукции, монтаж, ремонт, контроль, испытание и безопасную эксплуатацию оборудования.

Особое значение имеет надежность работы ректификационных аппаратов, установок, производящих сырье для нефтехимической промышленности. Ректификационные колонны должны отвечать требованиям государственных стандартов. В качестве контактных устройств применяют различные типы тарелок, насадок. Расчет аппаратов выполняется с целью определения технологического режима процесса, основных размеров аппарата и его внутренних устройств, обеспечивающих заданную четкость разделения исходного сырья при заданной производительности. Технологический режим определяется рабочим давлением в аппарате, температурами всех внешних потоков, удельного расхода тепла и холода. Основными размерами аппарата являются его диаметр и высота.

#### 1.4 Ректификационные аппараты

В промышленности применяют колпачковые, сетчатые, насадочные, пленочные трубчатые колонны и центробежные пленочные ректификаторы. Они различаются в основном конструкцией внутреннего устройства аппарата, назначение которого - обеспечение взаимодействия жидкости и пара. Это взаимодействие происходит при барботировании пара через слой жидкости на тарелках (колпачковых или сетчатых) либо при поверхностном контакте пара и жидкости на насадке или поверхности жидкости, стекающей тонкой пленкой.

Тарельчатые колпачковые колонны наиболее часто применяют в ректификационных установках. Пары с предыдущей тарелки попадают в паровые патрубки колпачков и барботируют через слой жидкости, в которую частично погружены колпачки. Колпачки имеют отверстия или зубчатые прорези, расчленяющие пар на мелкие струйки для увеличения поверхности соприкосновения его с жидкостью. Переливные трубки служат для подвода и отвода жидкости и регулирования ее уровня на тарелке. Основной областью массообмена и теплообмена между парами и жидкостью, как показали исследования, является слой

пены и брызг над тарелкой, создающийся в результате барботажа пара. Высота этого слоя зависит от размеров колпачков, глубины их погружения, скорости пара, толщины слоя жидкости на тарелке, физических свойств жидкости и др.

Следует отметить, что, кроме колпачковых тарелок, применяют также клапанные, желобчатые, S-образные, чешуйчатые, провальные и другие конструкции тарелок.

Клапанные тарелки показали высокую эффективность при значительных интервалах нагрузок благодаря возможности саморегулирования. В зависимости от нагрузки клапан перемещается вертикально, изменяя площадь живого сечения для прохода пара, причем максимальное сечение определяется высотой устройства, ограничивающего подъем. Площадь живого сечения отверстий для пара составляет 10-15% площади сечения колонны. Скорость пара достигает 1,2 м/с. Клапаны изготовляют в виде пластин круглого или прямоугольного сечения с верхним или нижним ограничителем подъема.

Тарелки, собранные из S-образных элементов, обеспечивают движение пара и жидкости в одном направлении, способствуя выравниванию концентрации жидкости на тарелке. Площадь живого сечения тарелки составляет 12-20% от площади сечения колонны. Коробчатое поперечное сечение элемента создает значительную жесткость, позволяющую устанавливать его на опорное кольцо без промежуточных опор в колоннах диаметром до 4,5 м.

Чешуйчатые тарелки подают пар в направлении потока жидкости. Они работают наиболее эффективно при струйном режиме, возникающем при скорости пара в чешуях свыше 12 м/с. Площадь живого сечения составляет 10% площади сечения колонны. Чешуи бывают арочными и лепестковыми; их располагают на тарелке в шахматном порядке. Простота конструкции, эффективность и большая производительность - преимущества этих тарелок.

Пластинчатые тарелки собраны из отдельных пластин, расположенных под углом 4 - 9° к горизонтам. В зазорах между пластинами проходит пар со

скоростью 20 - 50 м/с. Над пластинами установлены отбойные щитки, уменьшающие брызг унос. Эти тарелки отличаются большой производительностью, малым сопротивлением и простотой конструкции.

К провальным относят тарелки решетчатые, колосниковые, трубчатые, сетчатые (плоские или волнистые без сливных устройств). Площадь живого сечения тарелок изменяется в пределах 15 - 30%. Жидкость и пар проходят попеременно через каждое отверстие в зависимости от соотношения их напоров. Тарелки имеют малое сопротивление, высокий к. п. д., работают при значительных нагрузках и отличаются простотой конструкции.

Прямоточные тарелки обеспечивают длительное контактирование пленки жидкости с паром, движущимся со скоростью 14 - 45 м/с. Площадь живого сечения тарелки достигает 30%.

Сетчатые тарелки применяют главным образом при ректификации спирта и жидкого воздуха. Допустимые нагрузки по жидкости и пару для них относительно невелики, и регулирование режима их работы затруднительно. Массо- и теплообмен между паром и жидкостью в основном происходят на некотором расстоянии от дна тарелки в слое пены и брызг. Давление и скорость пара, проходящего через отверстия сетки, должны быть достаточны для преодоления давления слоя жидкости на тарелке и создания сопротивления ее отеканию через отверстия. Сетчатые тарелки необходимо устанавливать строго горизонтально для обеспечения прохождения пара через все отверстия тарелки, а также во избежание стекания жидкости через них. Обычно диаметр отверстий сетчатой тарелки принимают в пределах 0,8 - 3,0 мм.

Насадочные колонны получили широкое распространение в промышленности. Они представляют собой цилиндрические аппараты, заполненные инертными материалами в виде кусков определенного размера или насадочными телами, имеющими форму, например, колец, шаров для увеличения поверхности фазового контакта и интенсификации перемешивания жидкой и паровой фаз.

Массо- и теплообмен в колоннах с насадкой характеризуются не только явлениями молекулярной диффузии, определяющимися физическими свойствами фаз, но и гидродинамическими условиями работы колонны, которые определяют турбулентность потоков. В зависимости от скорости потока в колонне возможны три гидродинамических режима: ламинарный, промежуточный и турбулентный, - при которых поток пара является сплошным, непрерывным и заполняет свободный объем насадки, не занятый жидкостью, в то время как жидкость стекает лишь по поверхности насадки. Дальнейшее развитие турбулентного движения может привести к преодолению сил поверхностного натяжения и нарушению граничной поверхности между потоками жидкости и пара. При этом газовые вихри проникают в поток жидкости, происходит эмульгирование жидкости паром, и массообмен между фазами резко возрастает. В случае эмульгирования жидкость распределяется не по насадке, а заполняет весь ее свободный объем, не занятый паром; жидкость образует сплошную фазу, а газ - дисперсную фазу, распределенную в жидкости, т. е. происходит инверсия фаз.

Исследования показали, что переход от турбулентного режима к режиму эмульгирования (точка инверсии или точка начала эмульгирования) соответствует оптимальным условиям работы колонны и оптимальной скорости пара, при которой на насадке задерживается максимальное количество жидкости, брызг и пены, достигаются интенсивный массообмен и максимальная производительность при минимальной высоте насадки. Насадочную колонну следует рассчитывать, исходя из оптимальной скорости. При превышении оптимальной скорости начинается обращенное движение жидкости снизу вверх, происходит так называемое “захлебывание” колонны и нарушение режима ее работы.

Трубчатые пленочные ректификационные колонны состоят из пучка вертикальных труб, по внутренней поверхности которых тонкой пленкой стекает жидкость, взаимодействуя с поднимающимся по трубам паром.

Пар поступает из куба в трубки. Флегма образуется в дефлегматоре непосредственно на внутренней поверхности трубок, охлаждаемых водой в верхней их части. Диаметр применяемых трубок 5 - 20 мм. Эффект работы пленочного аппарата возрастает с уменьшением диаметра трубок.

Трубчатые колонны характеризуются простотой изготовления, высокими коэффициентами массопередачи и весьма малыми гидравлическими сопротивлениями движению пара. Многотрубные (и длиннотрубные) колонны с искусственным орошением имеют значительно меньшие габаритные размеры и массу, чем тарельчатые.

Все ректификационные установки, независимо от типа и конструкции колонн, классифицируют на установки периодического и непрерывного действия.

### 1.5 Цель проекта

Данный проект предусматривает модернизацию узла отгонки бутадиена от метилацетилена, а именно, замену массообменных устройств (тарелок) на высокоэффективную регулярную насадку с вертикальными контактными решетками (АВР) с целью получения бутадиена с содержанием метилацетилена не более 0,002% и уменьшения содержания бутадиена в отдувках не более 50% с одновременным увеличением производительности блока до 15т/час.

## 2 ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

### 2.1 Описание технологической схемы

Технологическая схема блока очистки бутадиевой фракции от метилацетилена представлена на рисунке 1.

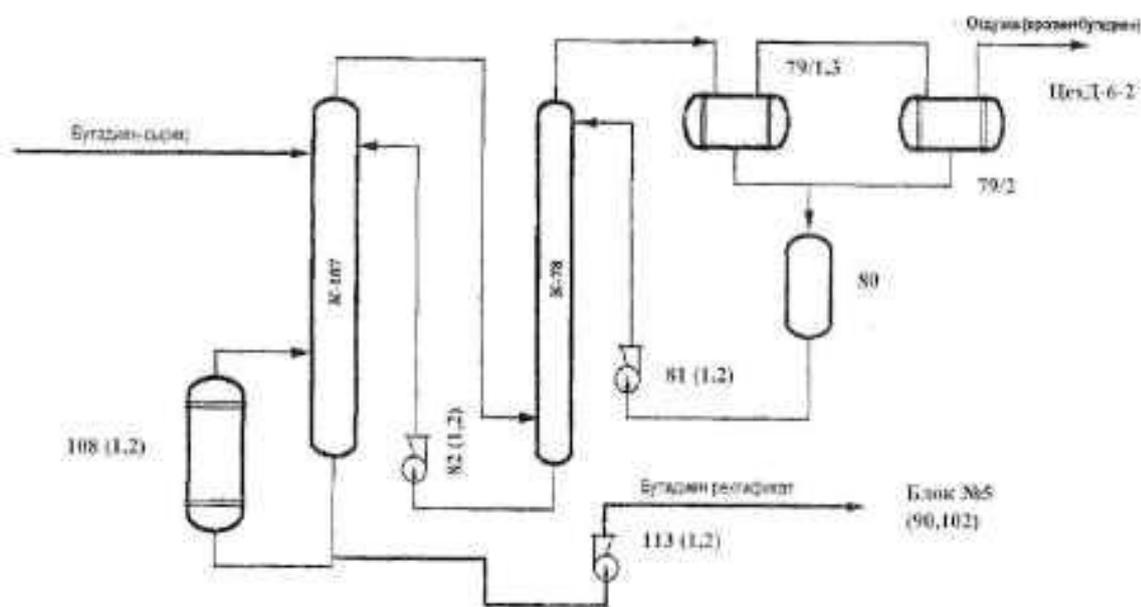


Рисунок 1- Технологическая схема блока очистки бутадиена

Очистка бутадиевой фракции производится ректификацией ее в колоннах 107 и 78, работающих как одна колонна, где колонна 78 является укрепляющей частью составной колонны. Колонна 78 оснащена 33 сетчатыми тарелками, а колонна 107 - 36 сетчатыми тарелками.

Бутадиев-сырец насосом с блока №3 подается в колонну 107. Подвод тепла в колонну 107 осуществляется выносными кипятильниками 108/1,2. В межтрубные пространства кипятильников 108/1,2 подается горячая вода из цеха Д-6 -2. Обратная горячая вода из кипятильников 108/1,2 возвращается в цех Д-6 -2. Пары бутадиевой фракции, выходящие из верхней части колонны 107 поступают в нижнюю часть колонны 78. Бутадиев из куба колонны 78

насосом 82/1,2 подается в верхнюю часть колонны 107. Пары бутадиевой фракции, выходящие из верхней части колонны 78 поступают в горячий контур теплообменника 79/1, где конденсируются оборотной водой, циркулирующей противотоком в холодном контуре теплообменников. Несконденсированные пары бутадиена из теплообменника 79/1 поступают в межтрубное пространство теплообменника 79/2, конденсация, бутадиена в котором осуществляется рассолом, циркулирующим в трубном пространстве.

Давление верха колонны 78 поддерживается регулятором давления, клапаны установлены на линиях выхода:

- обратной воды из теплообменников 79/1;
- обратного рассола из теплообменника 79/2.

При давлении верха колонны 78 равном  $4,5 \text{ кгс/см}^2$  срабатывает сигнализация, а при давлении  $5,0 \text{ кгс/см}^2$  срабатывает блокировка, при этом автоматически закрывается регулирующий клапан на линии выхода обратной горячей воды из кипятильников 108/1,2.

Бутадиеновая фракция, сконденсированная в теплообменниках 79/1,2, самотеком сливается в сборник 80, где отстаивается от механически унесенной влаги. Водный слой из нижней части сборника 80 периодически дренируется в сборник 20а. Уровень раздела фаз в сборнике 80 поддерживается регулятором уровня, клапан установлен на линии слива водного слоя из сборника 80 в сборник 20а.

Бутадиеновая фракция из сборника 80 насосом 81/1,2 подается в колонну 78 в виде флегмы. Расход флегмы в колонну 78 поддерживается регулятором расхода, клапан установлен на линии бутадиена от насоса 81/1,2 в колонну 78. Уровень в сборнике 80 выдерживается регулятором уровня, клапан установлен на линии выхода обратной горячей воды из кипятильников 108/1,2. Для безопасной эксплуатации насоса 81/1,2 предусмотрены блокировки:

-световая и звуковая сигнализации и остановка (запрет пуска) электродвигателя при снижении уровня заполнения насоса продуктом;

-световая и звуковая сигнализации и остановка (запрет пуска) электродвигателя при снижении перепада давлений в линиях нагнетания и вса-са насоса.

Метилацетилен и несконденсированные углеводороды из теплообменника 79/2 через сепаратор 112 или сборник 64 подаются в цех Д-6-2 на сжигание.

Расход метилацетиленовой фракции из теплообменника 79/2 в сепаратор 112 выдерживается регулятором расхода, клапан установлен на этой линии.

Бутадиеновая фракция из куба колонны 107 насосом 113/1,2 подается на очистку от тяжелокипящих примесей в колонны блока 5.

## 2.2 Описание технологического оборудования

Колонна 78 – 1 шт.

Вертикальный цилиндрический аппарат колонного типа с насадкой АВР, предназначенная для очистки бутадиеновой фракции от метилацетилена.

Диаметр	1400мм
Высота цилиндрической части	19500мм
Расчетное давление	8 кгс/см <sup>2</sup>
Расчетная температура	100°С
Материал	сталь 20К

Теплообменник 79/1 – 1шт

Горизонтальный кожухотрубчатый аппарат, предназначенный для конденсации паров бутадиеновой фракции, поступающих из колонны 78.

Поверхность теплообмена	525 м <sup>2</sup>
Диаметр	1200 мм
Длина цилиндрической части	6000 мм

Количество трубок	408шт
Длина трубок	6000 мм
Диаметр трубок	21x2 мм

Расчетное давление:

- трубное пространство	6 кгс/см <sup>2</sup>
- межтрубное пространство	6 кгс/см <sup>2</sup>

Расчетная температура:

- трубное пространство	30°С
- межтрубное пространство	100 °С

Материал:

- кожуха	Вст3сп5
- трубок	10X18Н10Т

Теплообменник 79/2 - 1шт

Горизонтальный кожухотрубчатый аппарат, предназначенный для конденсации паров бутадиеновой фракции, поступающих из колонны 78.

Поверхность теплообмена	96 м <sup>2</sup>
Диаметр	800 мм
Длина цилиндрической части	3000 мм
Количество трубок	408шт
Длина трубок	3000 мм
Диаметр трубок	25x2 мм

Расчетное давление:

- трубное пространство	6 кгс/см <sup>2</sup>
------------------------	-----------------------

- межтрубное пространство 6 кгс/см<sup>2</sup>

Расчетная температура:

- трубное пространство 0°С

- межтрубное пространство 45 °С

Материал:

- кожуха 12Х18Н10Т

- трубок 12Х18Н10Т

Емкость 80 – 1шт.

Вертикальный цилиндрический аппарат, предназначенный для сбора бутadiеновой фракции, сконденсированной в теплообменнике № 79/1,2,3

Объем	3,2 м <sup>3</sup>
Диаметр	1400 мм
Высота цилиндрической части	1600 мм
Расчетное давление	6 кгс/см <sup>2</sup>
Расчетная температура	45°С
Материал	ВстЗсп

Насос 81/1,2 – 2 шт. (1шт. – рабочий, 1 шт. – резервный)

Центробежный герметичный насос марки ЦМГ 25/50-УГ, предназначенный для подачи бутadiеновой фракции из сборника 80 на флегму в колонну 78

Производительность	25 м <sup>3</sup> /час
Напор	53м.ст.ж
Мощность электродвигателя	14,7 кВт
Число оборотов	3000 в минуту

Исполнение	1ExdeIIBT4
Материал проточной части	12X18H10T

Насос 82/1,2 – 2 шт. (1 шт. – рабочий, 1 шт. – резервный)

Центробежный герметичный насос марки ЦМГ- ХМ 25/50-УГ, предназначенный для подачи бутадиеновой фракции из куба колонны 78 в колонну 107

Производительность	25 м <sup>3</sup> /час
Напор	50м.ст.ж
Мощность электродвигателя	14,7 кВт
Число оборотов	3000 в минуту
Исполнение	1ExdeIIBT4
Материал проточной части	12X18H10T

Колонна 107 – 1 шт.

Вертикальный цилиндрический аппарат колонного типа, предназначенный для очистки бутадиеновой фракции от метилацетилена (пропина).

Диаметр	1800 мм
Высота цилиндрической части	22940 мм
Тарелки	ситчатые
Количество тарелок	36 шт.
Расстояние между тарелками	450 мм
Расчетное давление	6 кгс/см <sup>2</sup>
Расчетная температура	200°С
Материал	сталь 20К

Кипятильник 108

Вертикальный кожухотрубчатый аппарат, предназначенный для обогрева куба колонны 107 горячей водой

Поверхность теплообмена	480 м <sup>2</sup>
Диаметр	1800 мм
Высота цилиндрической части	3490 мм
Количество трубок	1209 шт.
Длина трубок	3490 мм
Диаметр трубок	38x2,5 мм
Расчетное давление :	
- трубное пространство	6 кгс/см <sup>2</sup>
- межтрубное пространство	16 кгс/см <sup>2</sup>
Расчетная температура:	
- трубное пространство	145° С
- межтрубное пространство	190° С
Материал:	
- кожуха	сталь3
- трубок	сталь10

Насос 113/1,2 – 2 шт. (1шт. – рабочий, 1 шт. – резервный)

Центробежный герметичный насос марки 5НГК-5x1, предназначенный для подачи бутадиеновой фракции из куба колонны 107 в колонну 102 и колонну 90

Производительность	30-90 м <sup>3</sup> /час
Напор	80м.ст.ж
Мощность электродвигателя	25 кВт
Число оборотов	2950 в минуту
Исполнение	ВЗГ
Материал проточной части	ст40Х

## 3 ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

### 3.1 Задачи реконструкции.

При эксплуатации установки очистки бутадиена от метилацетилена обнаружены следующие проблемы:

- при нагрузках по бутадиену-сырцу выше 12 т/час происходит «захлебывание» верхних тарелок колонны 78;
- повышенное содержание бутадиена в газе отдувки и, следовательно, повышенные потери бутадиена с газом отдувки;
- содержание метилацетилена в очищенном бутадиене не соответствует требованиям регламента установки, которое должно составлять не более 0,002% масс.

Решение данных проблем и является задачей реконструкции установки очистки бутадиена.

### 3.2 Моделирование существующего режима

Визуальное обследование состояния контактных устройств колонны 78 и 107 во время их ремонта показали, что верхние тарелки не имеют следов отложений за исключением следов коррозии, которые могли бы перекрыть отверстия. В средней части колонны 107 обнаружены кристаллы полимера в незначительном количестве. Было выяснено, что колонна 107 обеспечивает требуемую степень очистки бутадиена от метилацетилена, а потери бутадиена с газом отдувки связаны с условиями верха колонны 78 и температурами в холодильниках 79/1 и 79/2. «Захлебывание» происходит, так как применяемые контактные устройства не справляются с нагрузками по бутадиену сырцу выше 12 т/час.

Режимные параметры работы колонны 78 и 107 представлены в таблице 1.

Таблица 3.1 - Режимные параметры работы колонны 78 и 107

Давление верха колон- ны 78	Температура верха колон- ны 78	Расход бута- диена в ко- лонну 107	Расход флег- мы в колонну 78	Расход отду- вок из кон- денсатора 79
кгс/см <sup>2</sup> (абс.)	°С	т/час	т/час	кг/час
4,2 – 6,0	41 – 52	8,0 – 12,0	10,7 – 13,1	200 - 360

Было проведено моделирование существующего положения и режимов работы колонн 78 и 107 в PRO II. Моделирование проведено для определения разделительной способности колонн. Расчетная схема установки очистки бутадиена до реконструкции представлена на рисунке 2

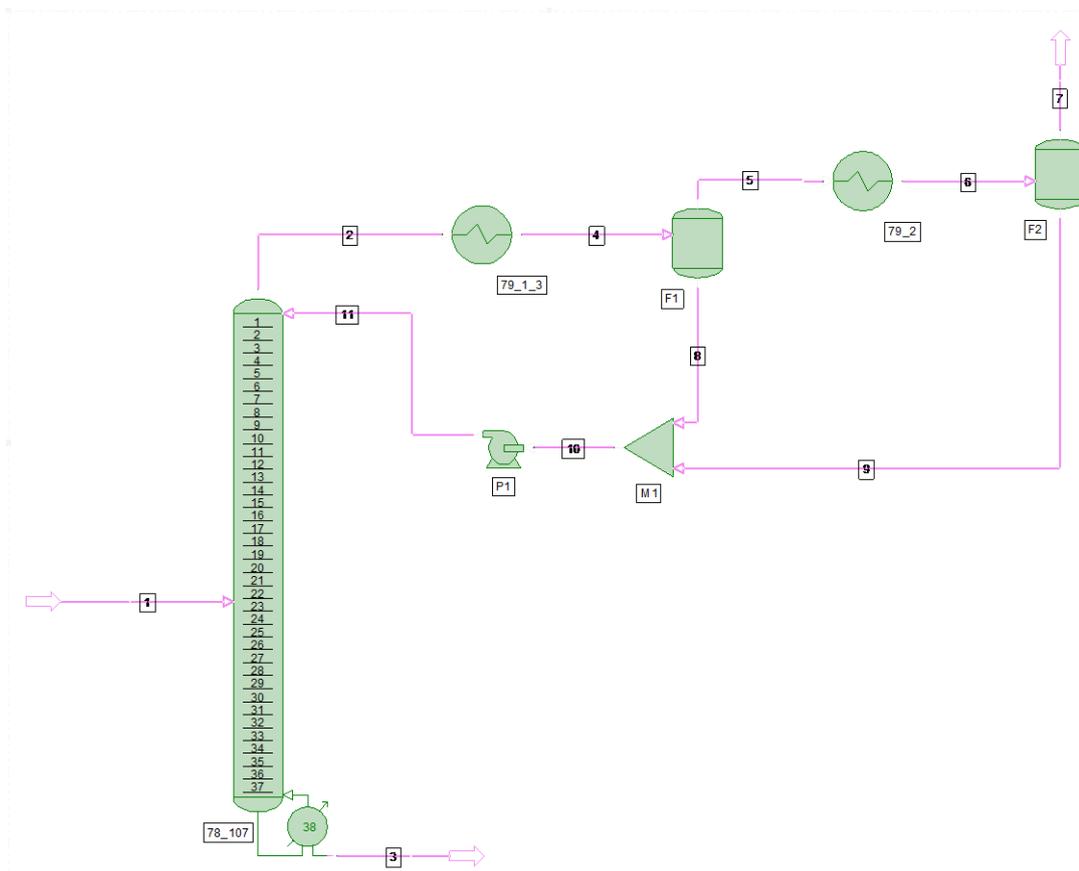


Рисунок 2 - Расчетная схема установки очистки бутадиена до реконструкции

Моделирование производилось на ПЭВМ с помощью комплекса программ для моделирования нефтехимических процессов PRO II. В основу расчетов положена термодинамическая система NRLT UTNIQUAC с использованием алгоритма CHIMDIST (расчет химических реакций) с учетом банка азеотропов. Для расчета был принят следующий состав бутадиена-сырца:

- бутилены составляют 6.80% масс;
- бутадиен-1,3 составляет 92.93% масс;
- метилацетилен составляет 0.15% масс;
- ацетонитрил составляет 0.126% масс.

Расчеты показали, что 69 реальных тарелок колонн 78 и 107 (33 и 36) составляют 22 теоретические тарелки, а именно 11 теоретических тарелок в колонне 78 и 11 теоретических тарелок в колонне 107.

Результаты расчета в таблице 2.

При сравнении: результатов расчета с реальными характеристиками режима работы установки, наблюдаются близкие значения величин материального баланса и состава продуктов.

Таблица 3.2 – Материальный баланс блока очистки бутадиена до реконструкции

Поток		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Фаза		жидкость	газ	жидкость	смесь	газ	жидкость	газ	жидкость	жидкость	смесь	жидкость
Мольный расход	кмоль/час	171,67	304,85	168,96	304,85	9,43	9,43	3,59	295,42	5,84	301,26	301,26
Массовый расход	кг/час	9300,00	16389,81	9157,31	16389,81	502,32	502,32	189,60	15887,49	312,72	16200,21	16200,21
Объ.расх.жидкости	м3/час	14,86	26,29	14,64	26,29	0,81	0,81	0,30	25,48	0,50	25,98	25,98
Объ.расх.газа	м3/час	3847,80	6832,82	3787,05	6832,82	211,33	211,33	80,42	6621,49	130,91	6752,40	6752,40
Температура	оС	43,00	45,46	47,84	42,60	42,60	40,50	40,50	42,60	40,50	41,10	43,00
Давление	кг/см2	7,00	5,30	5,50	5,30	5,00	5,00	4,80	5,00	4,80	4,80	8,80
Молекул. Масса		54,174	53,764	54,198	53,764	53,278	53,278	52,844	53,780	53,545	53,775	53,775
Энтальпия	Мккал/час	0,217	1,812	0,239	0,380	0,055	0,011	0,021	0,368	0,007	0,375	0,379
Состав массовый												
Бутадиен		0,929132	0,839110	0,932211	0,839110	0,808578	0,808578	0,783119	0,840075	0,824015	0,839765	0,839765
Ацетонитрил		0,001278	0,000000	0,001298	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
Метилацетилен		0,001498	0,030751	0,000020	0,030751	0,057370	0,057370	0,081324	0,029910	0,042847	0,030159	0,030159
Бутен		0,068092	0,130139	0,066471	0,130139	0,134051	0,134051	0,135558	0,130015	0,133138	0,130075	0,130075

Продолжение таблицы 3.2

Поток		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Состав мольный												
Бутадиен		0,930543	0,834030	0,934050	0,834030	0,796418	0,796418	0,765062	0,835231	0,815680	0,834852	0,834852
Ацетонитрил		0,001686	0,000000	0,001714	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
Метилацетилен		0,002025	0,041266	0,000027	0,041266	0,076291	0,076291	0,107264	0,040148	0,057264	0,040480	0,040480
Бутен		0,065746	0,124704	0,064209	0,124704	0,127291	0,127291	0,127674	0,124621	0,127056	0,124668	0,124668

### 3.3 Реконструкция колонны 78

Для снижения потерь бутадиена требуется значительное увеличение разделяющей способности колонны 78 (суммарное число теоретических тарелок в колоннах 78 и 107 должно быть около 30-40 штук) и количества флегмы, подаваемой в верхнюю часть колонны. Так как применяемые контактные устройства не справляются с нагрузками по бутадиену сырцу выше 12 т/час, то необходима реконструкция колонны 78, которая может заключаться в замене ситчатых тарелок колонны 78 на регулярную тонколистовую насадку с вертикальными контактными решетками (АВР).

#### 3.3.1 Моделирование в процессе замены контактных устройств.

Учитывая, что высота насадочной части колонны 78 составляет 13,2м, а высота эквивалентная теоретической тарелки насадки АВР составляет примерно 0,6 м, в расчетах в колонне 78 принято количество теоретических тарелок равным 22 шт., в колонне 107 не происходит замены ситчатых тарелок на АВР, поэтому количество тарелок в ней равно 12 шт. Всего теоретических тарелок - 34 шт.

В проекте рассмотрено моделирование блока очистки бутадиена с 34 теоретическими тарелками в общей колонне 78 и 107 в программе PRO II. Расчетная схема блока очистки бутадиена в процессе замены контактных устройств, представлена на рисунке 3.

Результаты расчета представлены в таблице 3

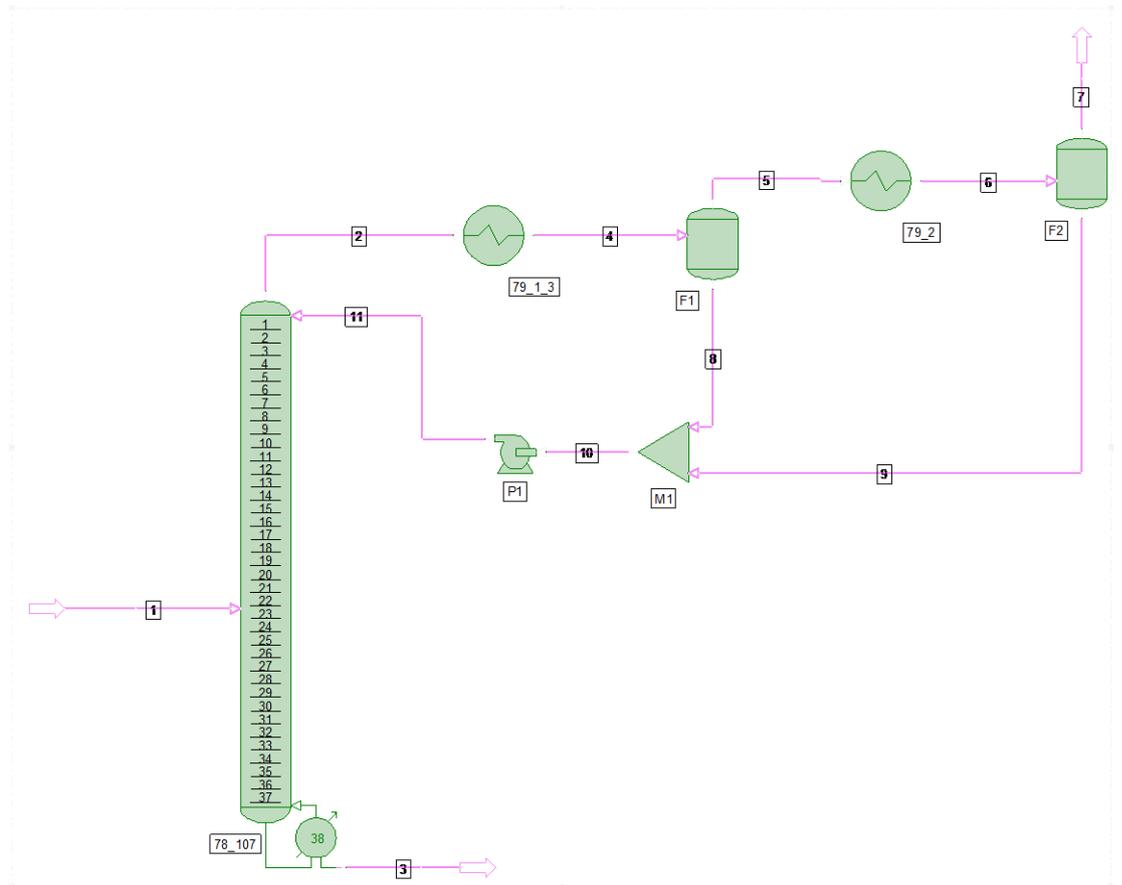


Рисунок 3 – Расчетная схема блока очистки в процессе замены контактных устройств

Таблица 3.3 – Материальный баланс блока очистки бутадиена в процессе замены контактных устройств

Поток		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Фаза		Жидкость	Пар	Жидкость	Смесь	Пар	Жидкость	Пар	Жидкость	Жидкость	Смесь	Жидкость
Мольный расход	кмоль/час	276,89	413,92	275,81	413,92	6,74	6,74	1,44	407,17	5,31	412,48	412,48
Массовый расход	кг/час	15000,01	21518,09	14948,90	21518,09	339,18	339,18	69,93	21178,91	269,25	21448,17	21448,17
Объ.расх.жидкости	м3/час	23,98	34,69	23,89	34,69	0,55	0,55	0,11	34,14	0,43	34,57	34,57
Объем.расх.газа	м3/час	6206,14	9277,50	6182,02	9277,50	151,18	151,18	32,27	9126,33	118,91	9245,23	9245,23
Температура	оС	43,00	40,41	45,71	38,00	38,00	34,00	34,00	38,00	34,00	36,53	38,38
Давление	кг/см2	7,00	5,00	5,20	5,00	5,00	5,00	4,80	5,00	4,80	4,80	8,80
Молекул. Масса		54,17	51,99	54,20	51,99	50,29	50,29	48,57	52,01	50,75	52,00	52,00
Энтальпия	Мккал/час	0,35	2,39	0,37	0,48	0,04	0,01	0,01	0,44	0,01	0,45	0,45
Состав массовый												
Бутадиен		0,929132	0,650645	0,931611	0,650645	0,567358	0,567358	0,481985	0,651978	0,589530	0,651194	0,651194
Ацетонитрил		0,001278	0,000000	0,001282	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
Метилацетилен		0,001498	0,137404	0,000020	0,137404	0,236173	0,236173	0,342465	0,135822	0,208569	0,136735	0,136735
Бутен		0,068092	0,211952	0,067087	0,211952	0,196469	0,196469	0,175550	0,212200	0,201901	0,212070	0,212070
Состав мольный												
Бутадиен		0,930543	0,625325	0,933474	0,625325	0,527468	0,527468	0,432821	0,626946	0,553151	0,625997	0,625997
Ацетонитрил		0,001686	0,000000	0,001693	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
Метилацетилен		0,002025	0,178290	0,000027	0,178290	0,296440	0,296440	0,415200	0,176333	0,264214	0,177464	0,177464
Бутен		0,065746	0,196385	0,064806	0,196385	0,176092	0,176092	0,151979	0,196721	0,182636	0,196540	0,196540

Моделирование показало, что наиболее эффективным является режим, при котором давление в колонне  $78 - 4.0 \text{ кгс/см}^2$ , температурный диапазон в холодильнике 79/1,3 и 79/2 – от  $30^\circ\text{C}$  до  $36^\circ\text{C}$ .

### 3.4 Гидравлический расчет

Эскиз реконструированной колонны 78 представлен на рисунке 4. Насадка АВР  $60*60$  с сеткой  $1,8*0,45$ . Насадка АВР состоит из трех частей:

1. Верхний пакет насадки состоит из 11 рядов высотой 380 мм;
2. Средний пакет насадки состоит из 10 рядов высотой 380 мм;
3. Нижний пакет насадки состоит из 10 рядов высотой 380 мм.

Конструктивно ряд насадки АВР занимает полное сечение колонны. Ряд насадки состоит из секций, конструкция которых представляет собой зигзагообразную пластину с приваренными к ней косынками и сеткой.

Каждый пакет насадки АВР располагается над узлом перераспределения (узел отбора жидкости). Над каждым пакетом насадки располагается узел распределения (узел орошения). Узел распределения представляет собой двухуровневый желобчатый ороситель, состоящий из одного магистрального желоба и шести рабочих желобов, монтирующихся на опорные балки, прикрепляющиеся на опорные элементы - столики, привариваемые к корпусу колонны.

Целью гидродинамического расчета насадки АВР является:

- определение максимально - возможной скорости паров, при которой происходит захлебывание колонны;
- определение запаса устойчивой работы колонны;
- определение геометрических характеристик насадки АВР.

Расчет выполнен на программе HidroAVR.exe.

Результаты расчетов приведены в таблице 4.

Рисунок 4- Компонувочный чертеж колонны 78

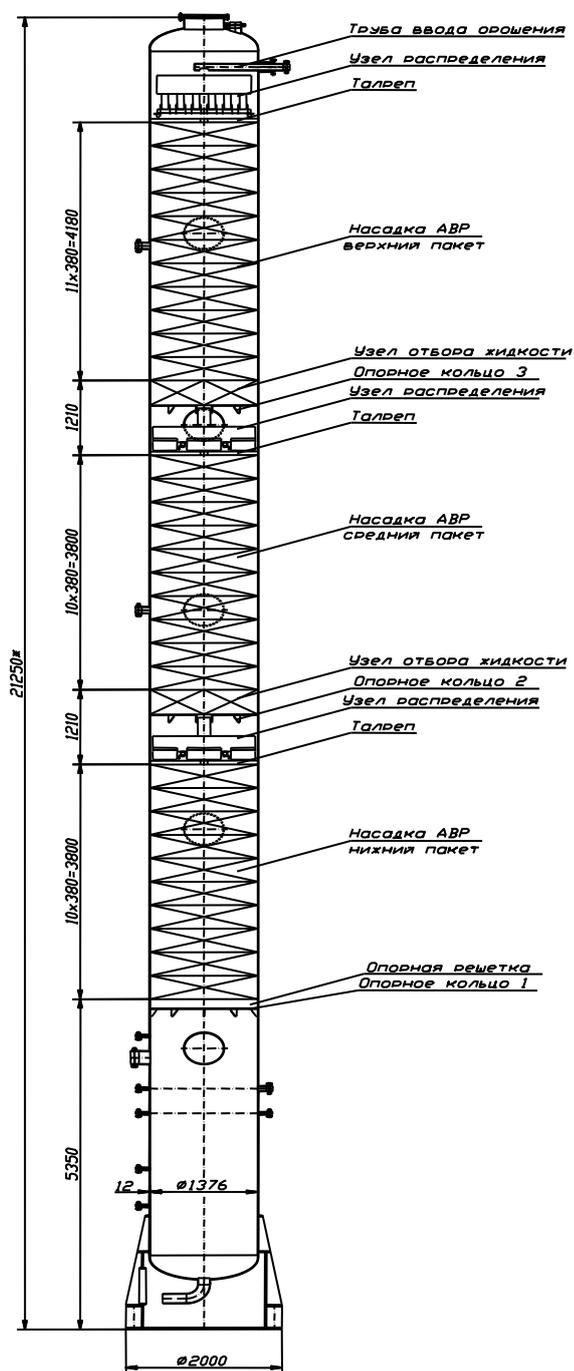


Таблица 3.4- Результаты гидравлического расчета

Параметр	Значение
Исходные данные	
Расход пара в сечении насадки	2084 м <sup>3</sup> /час
Расход жидкости	34,058 м <sup>3</sup> /час
Плотность паров	9,63241 кг/м <sup>3</sup>
Плотность жидкости	587,949 кг/м <sup>3</sup>
Поверхностное натяжение	0,01043 н/м
Кинематическая вязкость жидкости	2,353e-007 м <sup>2</sup> /с
Свободное сечение насадки	1,539 м <sup>2</sup>
Ширина ступени контакта	0,06 м
Высота ступени контакта	0,06 м
Свободное сечение решетки	0,64
Шаг плетения решетки	0,002 м
Диаметр проволоки решетки	0,0004 м
Суммарная длина перелива	25,65 м
Средняя длина перелива	1,115 м
Результаты расчета	
Реальная скорость паров	0,376146 м/с
Скорость по уносу	0,97289 м/с
Предельная скорость газа	1,07982 м/с
Скорость подвисяния	0,82334 м/с
Параметр	
Значение	
Поверхность контакта фаз	172,461 м <sup>2</sup> /м <sup>3</sup>
Коэффициент смоченности насадки	0,905029
Коэффициент распада струи	3,82959
Средний диаметр капель	0,00395355 м
Задержка жидкости в аппарате	0,0532161 м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup>

Продолжение таблицы 3.4

1	2
Гидравлическое сопротивление ступени контакта	15,7575 Па

По результатам гидравлического расчета, отношение рабочей скорости газа к скорости подвисяния составляет 0,45; что соответствует рабочему диапазону насадки, который варьируется в следующих пределах:

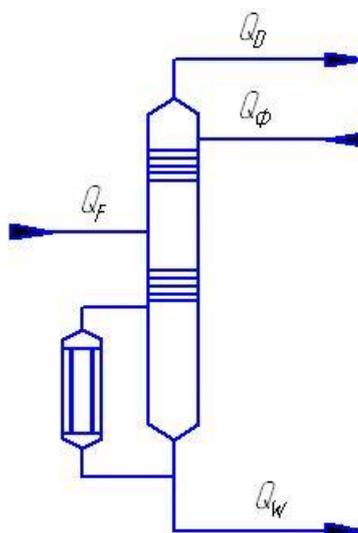
$$0,2 \leq \frac{\omega_p}{\omega_{подв}} \geq 0,9, \quad (3.1)$$

Где  $\omega_p$  - скорость газа,  $\omega_{подв}$  - скорость подвисяния.

Следовательно, насадка обладает хорошей разделяющей способностью.

### 3.5 Тепловой баланс

Рисунок 5



#### Тепловой баланс колонн

$$Q_F + Q_Ф = Q_W + Q_D \quad (3.2)$$

Где  $Q_F$  – количество тепла, приходящее с питанием;

$Q_{\Phi}$  – количество тепла, приходящее с флегмой;

$Q_W$  – количество тепла, отводимое с кубовым продуктом;

$Q_D$  – количество тепла, отводимое с дистиллятом.

### 3.5.1 Режим работы колонны

температура питания колонны -  $43^{\circ}\text{C}$

температура верха колонны –  $40^{\circ}\text{C}$

температура куба колонны –  $46^{\circ}\text{C}$

температура флегмы -  $38^{\circ}\text{C}$

### 3.5.2 Расчет тепловых потоков

Количество тепла определяется по формуле:

$$Q = G \cdot c \cdot t, \text{ Вт} \quad (3.3)$$

где  $G$  – массовый расход, кг/сек

$c$  – удельная массовая теплоемкость смеси при соответствующих температурах,

Дж/кг  $^{\circ}\text{C}$

$t$  – температура смеси,  $^{\circ}\text{C}$

Удельная массовая теплоемкость смеси определяется по формуле:

$$C_{\text{смеси}} = \sum c_i \cdot x_i, \text{ Дж/кг} \cdot ^{\circ}\text{C} \quad (3.4)$$

где  $c_i$  – удельная массовая теплоемкость компонента при соответствующих

температурах, Дж/кг  $\cdot ^{\circ}\text{C}$  [4]

$x_i$  – массовая доля компонента в смеси,  $^{\circ}\text{C}$

Приход тепла:

- с питанием

$$Q_F = \frac{15000}{3600} \cdot 2,485 \cdot 10^3 \cdot 43 = 445229,2 \text{ Вт}$$

Удельную массовую теплоемкость компонентов определяем по справочнику [4]

Таблица 3.5-Удельная теплоемкость смеси, подаваемой на питание колонны

Состав питания колонны	$c_i$ , Дж/кг·°С	$x_i$	$c_i \cdot x_i$
бутадиен -1,3 (C <sub>4</sub> H <sub>6</sub> )	2,483·10 <sup>3</sup>	0,929	2,307·10 <sup>3</sup>
ацетонитрил (C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> N)	2,103·10 <sup>3</sup>	0,001	0,002·10 <sup>3</sup>
метилацетилен (C <sub>3</sub> H <sub>4</sub> )	2,539·10 <sup>3</sup>	0,002	0,005·10 <sup>3</sup>
Бутен (C <sub>4</sub> H <sub>8</sub> )	2,518·10 <sup>3</sup>	0,068	0,171·10 <sup>3</sup>
		1	$C_{\text{смеси}} = 2,485 \cdot 10^3$

- с флегмой

$$Q_{\phi} = \frac{21448,17}{3600} \cdot 2,466 \cdot 10^3 \cdot 38 = 558295,8 \text{ Вт}$$

Таблица 3.6 -Удельная теплоемкость флегмы

Состав флегмы	$c_i$ , Дж/кг·°С	$x_i$	$c_i \cdot x_i$
1	2	3	4
бутадиен -1,3 (C <sub>4</sub> H <sub>6</sub> )	2,461·10 <sup>3</sup>	0,651	1,602·10 <sup>3</sup>

Продолжение таблицы 3.6

1	2	3	4
ацетонитрил (C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> N)	2,094·10 <sup>3</sup>	0,000	0
метилацетилен (C <sub>3</sub> H <sub>4</sub> )	2,465·10 <sup>3</sup>	0,137	0,338·10 <sup>3</sup>
Бутен (C <sub>4</sub> H <sub>8</sub> )	2,48·10 <sup>3</sup>	0,212	0,526·10 <sup>3</sup>
		1	C <sub>смеси</sub> = 2,466·10 <sup>3</sup>

Общий приход тепла Q<sub>1</sub>

$$Q_1 = Q_F + Q_{\phi} = 445229,2 + 558295,8 = 1003525 \text{ Вт}$$

Расход тепла:

- с выводимой кубовой жидкостью

$$Q_w = \frac{6182,02}{3600} \cdot 2,486 \cdot 10^3 \cdot 46 = 196375,3 \text{ Вт}$$

Таблица 3.7 - Удельная теплоемкость куба

Состав куба колонны	c <sub>i</sub> , Дж/кг·°С	x <sub>i</sub>	c <sub>i</sub> · x <sub>i</sub>
1	2	3	4
бутадиен -1,3 (C <sub>4</sub> H <sub>6</sub> )	2,484·10 <sup>3</sup>	0,931	2,312·10 <sup>3</sup>
ацетонитрил (C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> N)	2,109·10 <sup>3</sup>	0,002	0,004
метилацетилен (C <sub>3</sub> H <sub>4</sub> )	2,477·10 <sup>3</sup>	0,000	0
Бутен (C <sub>4</sub> H <sub>8</sub> )	2,54·10 <sup>3</sup>	0,067	0,170·10 <sup>3</sup>
		1	C <sub>смеси</sub> = 2,486·10 <sup>3</sup>

- с выводимым дистиллятом

$$Q_p = \frac{69,92}{3600} \cdot 2,28 \cdot 38 = 1,83 \text{ Вт}$$

Таблица 3.8 - Удельная теплоемкость дистиллята

Состав дистиллята колонны	$c_i$ , Дж/кг·°C	$x_i$	$c_i \cdot x_i$
бутадиен - 1,3 (C <sub>4</sub> H <sub>6</sub> )	$2,470 \cdot 10^3$	0,651	$1,61 \cdot 10^3$
ацетонитрил (C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> N)	$2,177 \cdot 10^3$	0,000	0
метилацетилен (C <sub>3</sub> H <sub>4</sub> )	$2,470 \cdot 10^3$	0,137	$0,34 \cdot 10^3$
Бутен (C <sub>4</sub> H <sub>8</sub> )	$2,495 \cdot 10^3$	0,212	$0,53 \cdot 10^3$
		1	$c_{\text{смеси}} = 2,48 \cdot 10^3$

- на испарение дистиллята и флегмы колонны

$$Q_{p+\phi} = (G_p + G_F) \cdot r_p, \text{ Вт} \quad (3.5)$$

где  $r_D$  – теплота конденсации смеси, Дж/кг

Теплоту конденсации компонентов определяем по справочнику [4]

Таблица 3.9 - Теплота конденсации дистиллята

Состав дистиллята колонны	$r_i$ , Дж/кг	$x_i$	$r_i \cdot x_i$
бутадиен - 1,3 (C <sub>4</sub> H <sub>6</sub> )	$368,46 \cdot 10^3$	0,651	$239,87 \cdot 10^3$
ацетонитрил (C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> N)	$741,10 \cdot 10^3$	0,000	0
метилацетилен (C <sub>3</sub> H <sub>4</sub> )	$450,47 \cdot 10^3$	0,137	$61,71 \cdot 10^3$
Бутен (C <sub>4</sub> H <sub>8</sub> )	$461,90 \cdot 10^3$	0,212	$97,92 \cdot 10^3$
		1	$r_{\text{смеси}} = 402,5 \cdot 10^3$

$$Q_{p+\phi} = \left( \frac{69,92 + 21448,17}{3600} \right) \cdot 402,4 \cdot 10^3 = 2405244,3 \text{ Вт}$$

Общий расход тепла  $Q_2$

$$Q_2 = Q_W + Q_p + Q_{p+\phi} = 196375,3 + 1,83 + 2405244,3 = 2601621,4 \text{ Вт}$$

Количество тепла, которое необходимо подвести к кипятивильнику при расходе массовом питания 15000 кг/час

$$Q_{\kappa} = Q_2 - Q_1 = 2601621,4 - 1003525 = 1598096,4 \text{ Вт}$$

3.5.3 Расход греющего агента (горячей воды), которое необходимо подать в кипятивильник

$$G = \frac{Q}{c_g \cdot \Delta t} = \frac{2601621,4}{4,19 \cdot 10^3 \cdot (115 - 95)} = 31,05 \text{ кг/сек} = 111764,2 \text{ кг/час}$$

3.5.4 Расход воды в дефлегматор при нагреве её на 20°C

$$G = \frac{Q}{c_g \cdot \Delta t} = \frac{2405244,3}{4,19 \cdot 10^3 \cdot 20} = 27,7 \text{ кг/сек} = 103327,9 \text{ кг/час}$$

3.6 Технологический расчет оборудования

3.6.1 Расчет колонны 78

Назначение - для очистки бутадиеновой фракции от метилацетилена

Расчет диаметра колонны

$$D = \sqrt{\frac{V}{0,785 \cdot \omega}}, \text{ м} \quad (3.6)$$

где  $V$  – объемный расход пара, проходящий через неё при средней температуре

в ней

$\omega$  - скорость пара в колонне, м/сек

По таблице 5 п.3.2.2  $V = 2084 \text{ м}^3/\text{час}$

$$\omega = 0,376 \text{ м/сек}$$

$$D = \sqrt{\frac{2084}{3600 \cdot 0,785 \cdot 0,376}} = 1,38 \text{ м},$$

Расчет высоты колонны

$$H = H_n + Z_v + Z_n \quad (3.7)$$

где  $H_n$  – высота насадки, м

$Z_n$  – расстояние между днищем колонны и насадки, м

$Z_v$  – расстояние от верха насадки до крышки колонны, м

Высота насадки АВР

Верхний пакет насадки состоит из 11 рядов высотой 380 мм;

Средний пакет насадки состоит из 10 рядов высотой 380 мм;

Нижний пакет насадки состоит из 10 рядов высотой 380 мм;

$$H_n = 11 \cdot 380 + 10 \cdot 380 + 10 \cdot 380 = 11780 \text{ мм} = 11,78 \text{ м} \quad (3.8)$$

$Z_n$ ,  $Z_v$  согласно таблице 5 [7] примем равными соответственно 1500 мм и 800 мм

Общая высота колонны

$$H_{\text{общ.}} = 11780 + 1500 + 800 = 14080 \text{ мм} = 14 \text{ м} \quad (3.9)$$

К установке принимаем высоту существующей колонны – 19500 мм

### 3.6.2 Расчет кипятивника 108

Назначение – обогрев колонны 108

Тепловая нагрузка на кипятивник  $Q_k = 1598096,4$  Вт

Обогрев производится горячей водой с начальной температурой 104°C.

Средняя разность температур:

$$\begin{array}{ccc}
 104 \rightarrow 80 & & \\
 46 \leftarrow 46 & & \\
 \dots & \dots & \\
 | t_{\delta}=58 & | t_{\text{м}}=34 & (3.10)
 \end{array}$$

$$\Delta t_{cp} = \frac{t_{\delta} - t_{\text{м}}}{2,31g \frac{t_{\delta}}{t_{\text{м}}}} = \frac{58 - 34}{2,31g \frac{58}{34}} = 45^{\circ}\text{C}$$

Принимаем коэффициент теплопередачи  $K=170 \text{ вт/м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$  по таблице 4-10 [5]

Необходимая поверхность теплообмена:

$$F = \frac{Q_{\kappa}}{K \cdot \Delta t_{cp}} = \frac{1598096,4}{170 \cdot 45} = 209 \text{ м}^2$$

Необходимый расход горячей воды:

$$G_{\text{г}} = \frac{Q_{\kappa}}{c_{\text{г}} \cdot (t_{\text{н}} - t_{\text{к}})} = \frac{1598096,4 \cdot 3600}{4,19 \cdot 10^3 \cdot (104 - 80)} = 57211 \text{ кг/час}$$

С запасом 1,2 поверхность теплообмена будет:

$$F = 209 \cdot 1,2 = 251 \text{ м}^2$$

К установке принимаем существующий кипятильник с поверхностью теплообмена  $F=480 \text{ м}^2$  при необходимой расчетной поверхности  $F=251 \text{ м}^2$ , т.к. замена существующего кипятильника экономически не целесообразна.

### 3.6.3 Расчет теплообменника 79/1

Назначение – конденсация дистиллята и флегмы колонны 79

Тепловая нагрузка  $Q_{\text{р+ф}} = 2405244,3 \text{ вт}$

Конденсация производится промышленной водой с начальной температурой 25°C

Средняя разность температур:

$$\begin{array}{r} 40 \rightarrow 40 \\ 35 \leftarrow 25 \\ \text{---} \quad \text{---} \\ | t_m=10 \quad | t_b=15 \end{array}$$

Принимаем коэффициент теплопередачи для теплообменников  $K=460 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{°C}$  по по таблице 4-10 [5]

Отношение  $\frac{\Delta t_b}{\Delta t_m} = \frac{15}{10} = 1,5$ , следовательно, можно принять среднюю арифметическую разность температур хладагента равной

$$\Delta t_{cp} = \frac{15+10}{2} = 12,5^\circ\text{C}$$

Необходимая поверхность теплообмена:

$$F = \frac{Q_{p+\phi}}{K \cdot \Delta t_{cp}} = \frac{2405244,3}{460 \cdot 12,5} = 418 \text{ м}^2$$

Необходимый расход воды:

$$G_s = \frac{Q_{p+\phi}}{c_p \cdot (t_k - t_n)} = \frac{2405244,3 \cdot 3600}{4,19 \cdot 10^3 \cdot (35 - 25)} = 206655,8 \text{ кг/час}$$

С запасом 1,2 поверхность теплообмена будет:

$$F = 418 \cdot 1,05 = 438,5 \text{ м}^2$$

К установке принимаем существующий теплообменник с поверхностью теплообмена  $F=525\text{м}^2$  при необходимой расчетной поверхности  $F=438,5\text{м}^2$

### 3.6.4 Расчет теплообменника 79/2

Назначение – конденсация отдувок из конденсатора 79/1

Количество отдувок из материального баланса – 339,18кг/час

Тепловая нагрузка

$$Q_{p+\phi} = G_{отд.} \cdot r_p = \frac{339,18}{3600} \cdot 402,5 \cdot 10^3 = 37922,2 \text{ Вт}$$

Конденсация производится рассолом с начальной температурой  $0^\circ\text{C}$

Средняя разность температур:

$$\begin{array}{ccc} 40 & \rightarrow & 40 \\ 5 & \leftarrow & 0 \\ \text{---} & & \text{---} \\ |t_m=35 & | & t_0=40 \end{array}$$

Принимаем коэффициент теплопередачи для теплообменников  $K=460 \text{ Вт/м}^2 \cdot ^\circ\text{C}$  по по таблице 4-10 [2]

Отношение  $\frac{\Delta t_0}{\Delta t_m} = \frac{40}{35} = 1,14$ , следовательно, можно принять среднюю арифметическую разность температур хладагента равной

$$\Delta t_{cp} = \frac{40 + 35}{2} = 37,5^\circ\text{C}$$

Необходимая поверхность теплообмена:

$$F = \frac{Q_{отд.}}{K \cdot \Delta t_{cp}} = \frac{37922,2}{460 \cdot 37,5} = 2,2\text{м}^2$$

Необходимый расход рассола:

$$G_s = \frac{Q_{отд.}}{c_p \cdot (t_k - t_n)} = \frac{37922,2 \cdot 3600}{3,226 \cdot 10^3 \cdot (5-0)} = 8463,7 \text{ кг/час}$$

Где  $c_p$  – теплоемкость рассола, таблица XLIX [5]

С запасом 1,2 поверхность теплообмена будет:

$$F = 2,2 \cdot 1,2 = 2,6 \text{ м}^2$$

К установке принимаем существующий теплообменник с поверхностью теплообмена  $F=96 \text{ м}^2$  при необходимой расчетной поверхности  $F=2,6 \text{ м}^2$ , т.к. замена существующего кипятильника экономически не целесообразна.

### 3.6.5 Расчет емкости 80

Емкость предназначена для сбора бутадиеновой фракции, сконденсированной в теплообменнике № 79/1,2

Максимальное количество поступающей в емкость бутадиеновой фракции 421 кг/час или  $1,04 \text{ м}^3$ .

К установке принимаем существующую емкость:

Объем	3,2 м <sup>3</sup>
Диаметр	1400 мм
Высота цилиндрической части	1600 мм
Расчетное давление	6 кгс/см <sup>2</sup>

Расчетная температура 45°C

Материал ВстЗсп

Максимальное заполнение емкости 80% объема

Время заполнения емкости  $\frac{3,2 \cdot 0,8 \cdot 60}{1,04} = 148$  мин

## 4 Конструкционный расчет оборудования

### 4.1 Конструкционный расчет колонны

#### 4.1.1 Данные для расчета

Внутренний диаметр аппарата – 1380мм

Расчетное давление аппарата – 0,8МПа

Расчетная температура аппарата - 100°С

Материал аппарата – 20К

Среда – взрывопожароопасная

Допустимое напряжение  $[\sigma]$  - 142МПа по таблице 13.1 [6]

Коэффициент прочности сварного шва  $\varphi$  - 0,9 по таблице 13.3 [6]

Прибавка к расчетной толщине стенки – 2мм

#### 4.1.2 Расчет корпуса аппарата

Расчет толщины стенки обечайки, работающей под внутренним давлением

$$s \geq \frac{P \cdot D}{(2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi - p)} + c = \frac{0,8 \cdot 1380}{(2 \cdot 142 \cdot 0,9 - 0,8)} + 2 = 6,3 \text{ мм}$$

Принимаем толщину стенки обечайки  $s = 10$ мм

Условие применимости формулы

$$\frac{s - c}{D} \leq 0,1 \quad \frac{10 - 2}{1380} = 0,006 < 0,1 \quad (4.1)$$

Расчет толщины стенки эллиптического днища диаметром 1380, работающего под внутренним давлением

$$s \geq \frac{P \cdot R}{(2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi - p)} + c = \frac{0,8 \cdot 1380}{(2 \cdot 142 \cdot 0,9 - 0,8)} + 2 = 6,3 \text{ мм}$$

где  $R$  – радиус кривизны в вершине днища

для эллиптических днищ с  $H=0,25D$ ,  $R=D$

Принимаем толщину стенки днища  $s = 10\text{мм}$

Допускаемое внутреннее избыточное давление

$$[p] = \frac{2 \cdot (s - c) \cdot \varphi \cdot [\sigma]}{D_{\text{вн.}} - 0,5 \cdot (s - c)} = \frac{2 \cdot (10 - 2) \cdot 0,9 \cdot 142}{1380 - 0,5 \cdot (10 - 2)} = 1,48 \text{МПа} \quad (4.2)$$

#### 4.1.3 Расчет укрепления отверстий

Наибольший допускаемый диаметр отверстия, не требующего дополнительного укрепления в обечайке, определяется по формуле:

$$d_o = 2 \cdot \left( \frac{s - c}{s_{\text{расч.}}} - 0,8 \right) \cdot \sqrt{D_{\text{вн.}} \cdot (s - c)} - c = 2 \cdot \left( \frac{10 - 2}{6,3} - 0,8 \right) \cdot \sqrt{1380 \cdot (10 - 2)} - 2 = 96,8 \text{мм}$$

где  $s$  – исполнительная толщина стенки обечайки, мм

$s_{\text{расч.}}$  – расчетная толщина стенки обечайки, мм

$D_{\text{вн.}}$  – расчетный внутренний диаметр стенки обечайки, мм

$c$  – прибавка на коррозию и минусовой допуск, мм

Следовательно, отверстия  $D_y500$ ,  $D_y200$ ,  $D_y150$ ,  $D_y100$  требуют укрепления

#### 4.2 Конструкционный расчет конденсатора

Проектируемый аппарат предназначен для конденсации паров бутана. Охлаждение производится промышленной водой. Аппарат горизонтальный, состоит из корпуса, камеры, крышки, трубного пучка. Кроме этого в аппарате имеются штуцера, предназначенные для подвода сырья и хладагента, вывода продукта и хладагента. Аппарат установлен на седловые опоры - подвижную и неподвижную .

##### 4.2.1 Основные расчетные параметры

### Техническая характеристика

Аппарат работает под давлением. Рабочее давление в корпусе аппарата 0,5 МПа , в трубной части 0,5 МПа , диаметр корпуса 1200 мм, диаметр камеры 1200 мм , расчетная температура стенки корпуса 100 °С, стенки камеры 100 °С. Среда по корпусу – бутадиев , по трубной части – вода.

Расчетное давление  $P_{R1} = 0,6$  МПа по корпусу

Расчетное давление  $P_{R1} = 0,6$  МПа по трубной части,

Пробное давление для испытания аппарата определим по формуле

$$P_{пр} = 1,25 \cdot P_{R1} \cdot \frac{[\sigma]^{20}}{[\sigma]^{tR}}, \quad (4.3)$$

Для корпуса - сталь Ст3сп5

где  $[\sigma]^{20}$  – допускаемое напряжение материала при 20 °С,

$[\sigma]^{20} = 140$  МПа, по ГОСТ 14249-89;

$[\sigma]^{tR}$  – допускаемое напряжение материала при расчетной температуре  $t = 100$  °С,

$[\sigma]^{100} = 134$  МПа

$$P_{пр1} = 1,25 \cdot 0,6 \cdot \frac{140}{134} = 0,78 \text{ МПа}$$

Для трубной части - сталь 10X17H13M2T

где  $[\sigma]^{20}$  – допускаемое напряжение материала при 20 °С,

$[\sigma]^{20} = 160$  МПа;

$[\sigma]^{tR}$  – допускаемое напряжение материала при расчетной температуре  $t = 100$  °С,

$[\sigma]^{100} = 152$  МПа.

$$P_{пр2} = 1,25 \cdot 0,6 \cdot \frac{160}{152} = 0,79 \text{ МПа}$$

Модуль продольной упругости

Выбираем расчетное значение модуля продольной упругости для Ст3сп5

При температуре 20 °С  $E=1,99 \cdot 10^5$  МПа.

При температуре 100 °С  $E=1,91 \cdot 10^5$  МПа.

Выбираем расчетное значение модуля продольной упругости для 10X17H13M2T

При температуре 20 °С  $E=2,2 \cdot 10^5$  МПа.

При температуре 100 °С  $E=2,0 \cdot 10^5$  МПа.

Прибавки к расчетным толщинам конструктивных элементов

Прибавка на коррозию металла принимаем

$$C_1=1 \text{ мм.}$$

Прибавка на минусовое значение по толщине листа принимаем

$$C_2=0,8 \text{ мм.}$$

$$C=1+0,8=1,8 \text{ мм.}$$

Коэффициенты прочности сварных швов

Корпус имеет продольные и кольцевые сварные швы. Применим автоматическую сварку со сплошным проваром. Для корпуса аппарата выбираем стыковые швы.

Значение коэффициента прочности сварных швов принимаем

$$\varphi=1.$$

Приварка штуцеров будет выполняться вручную и значение коэффициента прочности сварных швов принимаем

$$\varphi=0,9.$$

## 4.2.2 Расчет на прочность и устойчивость корпуса аппарата от расчетного давления

### 4.2.2.1 Расчет обечайки нагруженной внутренним избыточным давлением (корпуса)

Цель расчета: расчет на прочность, определение толщины стенки аппарата удовлетворяющая условиям прочности.

Расчетная схема аппарата приведена на рисунке 5

Исходные данные для расчета:

- расчетное давление  $P_R = 0,6$  МПа;
- диаметр обечайки  $D=1200$  мм;
- допускаемое напряжение при  $T=100$  °С,  $[\sigma]=134$  МПа;
- коэффициент прочности сварного шва  $\phi=1$ ;
- общая прибавка к толщине металла  $C=1,8$  мм.

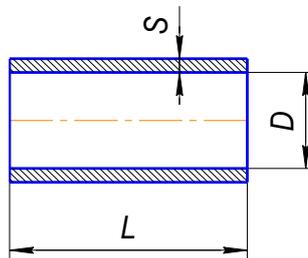


Рисунок 5 – Расчетная схема аппарата

Толщина стенки аппарата определяется по формулам

$$s_R = \frac{P_{R1} \cdot D}{2 \cdot [\sigma] \cdot \phi_R - P_{R1}}; \quad (4.4)$$

$$s \geq s_R + c,$$

где  $s$  - исполнительная толщина стенки, мм;

$D$ - внутренний диаметр аппарата, мм.

$$s_R = \frac{0,6 \cdot 1200}{2 \cdot 134 \cdot 1,0 - 0,6} = 2,69 \text{ мм.}$$

$$s \geq 2,69 + 1,8 = 4,49 \text{ мм.}$$

Принимается исполнительная толщина стенки корпуса  $s=10$  мм.

Допускаемое внутреннее избыточное давление для оболочки, МПа

$$[p] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p \cdot (s - c)}{D + (s - c)}$$

(4.5)

$$[P] = \frac{2 \cdot 134 \cdot 1 \cdot (10,0 - 1,8)}{1200,0 + (10,0 - 1,8)} = 1,82 \text{ МПа}$$

Условия применения расчетных формул

$$\frac{S - C}{D} \leq 0,1, \quad (4.6)$$

тогда  $\frac{10,0 - 1,8}{1200} \leq 0,1,$

$$0,0068 < 0,1.$$

Условие выполняется.

#### 4.2.3 Расчет на прочность и устойчивость корпуса аппарата

от расчетного давления

4.2.3.1 Расчет обечайки нагруженной внутренним избыточным давлением (камеры).

Цель расчета: расчет на прочность, определение толщины стенки аппарата удовлетворяющая условиям прочности.

Расчетная схема аппарата приведена на рисунке б

Исходные данные для расчета:

- расчетное давление  $P_R = 0,6$  МПа;
- диаметр обечайки  $D=1200$  мм;
- допускаемое напряжение при  $T=100$  °С,  $[\sigma]=152$  МПа;
- коэффициент прочности сварного шва  $\phi=1$ ;
- общая прибавка к толщине металла  $C=1,8$  мм.

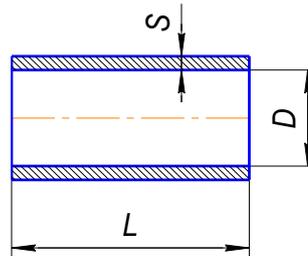


Рисунок 6 – Расчетная схема аппарата

Толщина стенки аппарата определяется по формулам

$$s_R = \frac{P_{R1} \cdot D}{2 \cdot [\sigma] \cdot \phi_R - P_{R1}};$$
$$s \geq s_R + c, \quad (4.7)$$

где  $s$  - исполнительная толщина стенки, мм;

$D$ - внутренний диаметр аппарата, мм.

$$s_R = \frac{0,6 \cdot 1200}{2 \cdot 152 \cdot 1,0 - 0,6} = 2,37 \text{ мм.}$$

$$s \geq 2,37 + 1,8 = 4,17 \text{ мм.}$$

Принимается исполнительная толщина стенки корпуса  $s=12$  мм.

Допускаемое внутреннее избыточное давление для оболочки, МПа

$$[p] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \phi_p \cdot (s - c)}{D + (s - c)} \quad (4.8)$$

$$[P] = \frac{2 \cdot 152 \cdot 1 \cdot (12,0 - 1,8)}{1200,0 + (12,0 - 1,8)} = 2,56 \text{ МПа.}$$

Условия применения расчетных формул

$$\frac{S - C}{D} \leq 0,1, \quad (4.9)$$

тогда  $\frac{12,0 - 1,8}{1200} \leq 0,1,$

$$0,0085 < 0,1.$$

Условие выполняется.

#### 4.2.4 Расчет днищ

Расчет толщины эллиптического днища корпуса,  
работающего под внутренним давлением

Цель расчета: расчет на прочность, определение толщины эллиптического днища удовлетворяющего условию прочности.

Расчетная схема эллиптического днища приведена на рисунке 7

Исходные данные для расчета:

- расчетное давление  $P_R = 0,6 \text{ МПа}$ ;
- диаметр колонны  $D = 1200 \text{ мм}$ ;
- допускаемое напряжение при  $T = 100 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $[\sigma] = 152 \text{ МПа}$ ;
- коэффициент прочности сварного шва  $\varphi = 1$ ;
- общая прибавка к толщине металла  $C = 1,8 \text{ мм}$ .

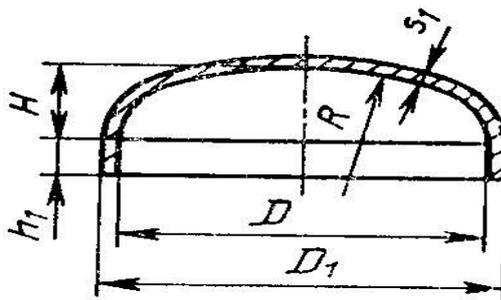


Рисунок 7 - Днище эллиптическое

Для данной обечайки выбираются эллиптические отбортованные днища.

Толщина стенки днища определяется по формулам

$$s_R = \frac{P_{R1} \cdot R}{2 \cdot \varphi_p \cdot [\sigma] - 0,5 \cdot P_R}, s_d \geq s + c \quad (4.10)$$

где  $R$  — радиус кривизны в вершине днища, м;

$R = D$  — для эллиптических днищ с  $H=0,25 \cdot D$ .

$$H=0,25 \cdot 1200=300 \text{ мм}, \quad R=1200 \text{ мм},$$

$$s_{1R} = \frac{0,6 \cdot 1200}{2 \cdot 1 \cdot 152 - 0,5 \cdot 0,6} = 2,37 \text{ мм},$$

$$s_d = 2,37 + 1,8 = 4,17 \text{ мм}.$$

Принимаем толщину днищ стандартного значения  $s_d=12$  мм.

Допускаемое внутреннее избыточное давление для оболочки, МПа определяется по формуле

$$[P] = \frac{2 \cdot \varphi_p \cdot [\sigma] \cdot (s_1 - c)}{R + 0,5 \cdot (s_1 - c)} \quad (4.11)$$

$$[p] = \frac{2 \cdot 1 \cdot 152 \cdot (12 - 1,8)}{1200 + 0,5 \cdot (12 - 1,8)} = 2,57 \text{ МПа}$$

Условия применения расчетных формул для эллиптических днищ

$$0,0002 \leq \frac{s_1 - c}{D} \leq 0,100 \quad (4.12)$$

$$0,0002 \leq \frac{12 - 1,8}{1200} \leq 0,100$$

$$0,0002 \leq 0,0085 \leq 0,100$$

Условие выполняется.

Определим длину цилиндрической отбортованной части днища

$$h_1 > 0,8 \cdot \sqrt{D \cdot (s_1 - c)} \quad (4.13)$$

$$h_1 > 0,8 \cdot \sqrt{1200 \cdot (12 - 1,8)}$$

$$h_1 > 88,51 \text{ мм.}$$

Принимаем  $h_1 = 100 \text{ мм}$ .

4.2.5 Определение расчетного диаметра одиночного отверстия в цилиндрической обечайке, не требующего дополнительного укрепления

Исходные данные:

Внутренний диаметр штуцера	305	мм
Внутренний диаметр обечайки	100	мм
Толщина стенки	10	мм
Допускаемое напряжение	134	Па
Прибавка на коррозию	1,8	мм
Расчетное давление	0,6	МПа

Расчетный диаметр одиночного отверстия, не требующего дополнительного укрепления при наличии избыточной толщины стенки сосуда вычисляется по формуле

$$d_0 = 2 \cdot \left( \frac{s-c}{s_R} - 0,8 \right) \cdot \sqrt{D_R \cdot (s-c)} \quad (4.13)$$

$$d_0 = 2 \cdot \left( \frac{10-1,8}{2,69} - 0,8 \right) \cdot \sqrt{1200 \cdot (10-1,8)} = 446,05 \text{ мм.}$$

Условие для одиночного отверстия

$$dr < d_0$$

Расчетный диаметр отверстия в стенке обечайке, ось которого совпадает с нормалью к поверхности в центре отверстия определим по формуле

$$dr = d + 2 Cs \quad (4.14)$$

$$Cs = c_1 + c_{s2} = 1 + 0,8 = 1,8 \text{ мм - сумма прибавок на коррозию}$$

$$dr = 305 + 2 \cdot 1,8 = 308,6 \text{ мм}$$

$$308,6 < 446,05$$

Укрепление штуцера не требуется

4.2.6 Определение напряжения в стенке обечайки от испытательного пробного давления

Напряжение в стенке обечайки от испытательного пробного давления

$$[\sigma] = \frac{(P_n - P_z) \cdot (D + s - c_2)}{2 \cdot \varphi \cdot (s - c_2)}, \quad (4.15)$$

$$[\sigma] = \frac{(0,78 - 0,6) \cdot (1200 + 10 - 0,8)}{2 \cdot 1 \cdot (10 - 0,8)} = 13,26 \text{ МПа}$$

$$13,26 < 134 \text{ МПа.}$$

4.2.7 Определение расчетного диаметра одиночного отверстия в цилиндрической обечайке, не требующего дополнительного укрепления

Исходные данные:

Внутренний диаметр штуцера	98 Мм
Внутренний диаметр обечайки	1200 Мм
Толщина стенки	12 Мм
Допускаемое напряжение	152 МПа
Прибавка на коррозию	1,8 Мм
Расчетное давление	0,6 МПа

Расчетный диаметр одиночного отверстия, не требующего дополнительного вычисляется по формуле

$$d_0 = 2 \cdot \left( \frac{s - c}{s_R} - 0,8 \right) \cdot \sqrt{D_R \cdot (s - c)}, \quad (4.16)$$

$$d_0 = 2 \cdot \left( \frac{12 - 1,8}{2,37} - 0,8 \right) \cdot \sqrt{1200 \cdot (12 - 1,8)} = 775,28 \text{ мм.}$$

Условие для одиночного отверстия

$$dr < d_0$$

Расчетный диаметр отверстия в стенке обечайке, ось которого совпадает с нормалью к поверхности в центре отверстия определим по формуле

$$dr = d + 2 Cs \quad (4.17)$$

$$Cs = c_1 + c_{s2} = 1 + 0,8 = 1,8 \text{ мм - сумма прибавок на коррозию}$$

$$dr = 98 + 2 \cdot 1,8 = 101,6 \text{ мм}$$

$$101,6 < 775,28$$

Укрепление штуцера не требуется.

## 5 Безопасность и экологичность технического объекта

### 5.1 Характеристика технологического объекта. Очистка бутадиена от

метилацетелена Кол.78

Таблица 5.1 - Технологический паспорт объекта

Технологический процесс	Технологическая операция, вид выполняемых работ	Наименование должности работника, выполняющего технологический процесс, операцию	Оборудование, устройство, приспособление	Материалы, вещества
1 Установка производства бутадиена и БИФ (Д-4)	Блок по обслуживанию системы очистки бутадиеновой фракции от метилацетелена (пропин)	Мастер смены отделения; аппаратчик перегонки 5-го разряда, аппаратчик 6-го разряда.	Ректификационная колонна с сетчатыми тарелками	Сталь 11416.1(Ч СН) Бутадиеновая фракция.

### 5.2 Идентификация профессиональных рисков

Таблица 5.2 – 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 Очистка бутадиеновой фракции от метилацетелена(пропин)	Химический: - опасность получения термических ожогов; - опасность получения химических ожогов;	Наличие в системе большого количества взрыво-пожароопасной бутадиеновой фракции. Прорыв углеводородов

Продолжение таблицы 5.2

1	2	3
	<p>- опасность об-морожений.</p> <p>Физический:</p> <p>- опасность получения механических травм;</p> <p>- опасность разгерметизации паропроводов.</p>	<p>При взаимодействии с воздухом образует взрывоопасную смесь</p> <p>При нарушении заземления, изоляции проводов.</p> <p>Из-за наличия вращающихся частей механизмов (насосов, вентиляторов и так далее), а также, из-за применения грузоподъемных механизмов (кран, электротельферы) при загрузке химикатов, при ремонте оборудования.</p> <p>Обусловлена возможностью возникновения гидроударов в паропроводах из-за нарушения правил эксплуатации и правил приёма пара в отделение).</p>

5.3 Методы и средства снижения профессиональных рисков

Таблица 5.3 – 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

Продолжение таблицы 5.3

1	2	3
<p>Химический:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- опасность получения термических ожогов;</li> <li>- опасность получения химических ожогов;</li> <li>- опасность обморожений.</li> </ul> <p>Физический:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- опасность поражения электрическим током;</li> <li>- опасность получения механических травм;</li> <li>- опасность разгерметизации паропроводов.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Строгое соблюдение норм и положений в соответствии с настоящим технологическим регламентом;</li> <li>- ведение технологических операций только на исправном оборудовании при наличии ограждения на вращающихся частях механизмов;</li> <li>- соответствие оборудования по давлению, температуре, материалам и процессам, для которых оно предназначено;</li> <li>- своевременное освидетельствование и регистрация котлонадзорного оборудования, грузоподъемных механизмов;</li> <li>- своевременное выполнение графиков планово-предупредительного ремонта;</li> </ul>	<p>Спец. одежда, противогаз, каска, защитные очки.</p>

#### 5.4 Обеспечение пожарной безопасности технического объекта

##### 5.4.1 Идентификация опасных факторов пожара.

Таблица 5.4 – Идентификация классов и опасных факторов пожара.

Участок, подразделение	Оборудование	Класс пожара	Опасные факторы пожара	Сопутствующие проявления факторов пожара
Установка Д-4 (Установка очистки бутадиена от метилену)	Ректификационная колонна с сетчатыми тарелками	А-1	Выброс углеводородов	Разгерметизация аппаратуры блока;

Продолжение таблицы 5.4.1

1	2	3	4	5
				<p>Выброс углеводородов;                      Образование пролива;                      Воспламенение (взрыв, пожар);                      Поражение зданий, сооружений, людей ударной волной взрыва, тепловое воздействие на конструкционные материалы и людей, токсическое поражение.</p>

### 5.4.2 Разработка технических средств и организационных мероприятий по обеспечению пожарной безопасности

технического объекта.

Таблица 5.5 - 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.
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, ручные).
Асбестовое одеяло			Приборы приемноконтрольные	Пожарные рукава	Средства защиты	Пожарные насосы	Телефон

Продолжение таблицы 5.5

1	2	3	4	5	6	7	8
для изоляции очага возгорания.			пожарные.		кожных покровов тела человека изолирующие, фильтрующие.		
Песок				Лафетные стволы	Спец. одежда и спец. обувь	Клапаны и муфты	Система световой и звуковой сигнализации по отклонению от технологических параметров.
			Технические средства управления эвакуацией	Гидранты	Каска	Рукавная арматура	Пожарный

Продолжение таблицы 5.5

1	2	3	4	5	6	7	8
							извещатель
			Пожарные системы передачи извещений о пожаре	Кольца орошения колонн			Датчики загазованности

### 5.4.3 Организационные (организационно-технические) мероприятия по

предотвращению пожара.

Таблица 5.6 – 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
Очистка бутадиена от метилацетилена	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Виды реализуемых организационных (организационно-технических) мероприятий, включающих:</li> <li>- наличие действующих лицензий на эксплуатацию опасных производств;</li> <li>- действующую на предприятии систему контроля за безопасностью;</li> <li>- действующий на предприятии порядок профессиональной и противоаварийной подготовки персонала, проверки норм и правил, допуска к работе;</li> <li>- действующий на предприятии порядок обучения персонала способам защиты и действиям при авариях;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Запрещается ведение технологического процесса и эксплуатация оборудования с отключенными или неисправными блокировками, сигнализацией.</li> <li>- Строгое соблюдение норм и положений в соответствии с настоящим технологическим регламентом.</li> <li>- Соответствие оборудования по давлению, температуре, материалам и процессам, для которых оно предназначено.</li> <li>- Своевременное освидетельствование и регистрация котлонадзорного оборудования, грузоподъемных механизмов.</li> <li>- Исправность средств газозащиты, связи, пожаротушения.</li> </ul>

Продолжение таблицы 5.6

1	2	3
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- действующую на предприятии систему оповещения о чрезвычайных ситуациях;</li> <li>- наличие на предприятии средств мероприятий по защите людей;</li> <li>- поднадзорность предприятия органам Ростехнадзора.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Своевременное выполнение графиков планово-предупредительного ремонта.</li> <li>- Тщательная подготовка оборудования к ремонту и приём оборудования из ремонта.</li> <li>- Четкая организация ремонтных работ и применение во время проведения этих работ безопасных приёмов труда.</li> <li>- Своевременное выполнение предписаний Федеральной службы Ростехнадзора и других надзорных органов.</li> </ul> <p>Регулярная проверка наличия и поддержания в готовности средств индивидуальной и коллективной защиты.</p>

5.5 Обеспечение экологической безопасности технического объекта

5.5.1 Идентификация экологических факторов технического объекта.

Таблица 5.7 – Идентификация экологических факторов технического объекта

Наименование технического объекта, технологического процесса	Структурные составляющие технического объекта, технологического процесса	Воздействие технического объекта на атмосферу (вредные и опасные)	Воздействие технического объекта на гидросферу (образующие сточные	Воздействие технического объекта на литосферу

Продолжение таблицы 5.7

1	2	3	4	5
	(производственного здания или сооружения по функциональному назначению, технологические операции, оборудование), энергетическая установка транспортное средство и т.п.	выбросы в окружающую среду)	воды, забор воды из источников водоснабжения)	(почву, растительный покров, недра) (образование отходов, выемка плодородного слоя почвы, отчуждение земель, нарушение и загрязнение растительного покрова и т.д.)
Установка Д-4 (Очистка бутadiensовой фракции от метилацетилена)	Ректификационная колонна 78	Бутан Бутилен Бутадиен Ацетон Ацетонитрил	Фузельная вода из куба колонны № 140; Освобождение аппаратов и трубопроводов при пропарке;	Отработанное масло от насосов. Мелкие разливы углеводородных жидкостей.

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

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

Наименование технического объекта	Установка производства бутадиена и БИФ
Мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия на атмосферу	Используемые в производстве углеводородные продукты имеют, как правило, низкие температуры кипения, поэтому при разливе их во время аварии создается загазованность территории и может образоваться взрывоопасная концентрация в смеси с воздухом. Для обезвреживания разлитых продуктов место разлива ограждается красными флажками и выставляются посты дежурных, которые следят, чтобы в загазованную зону не проникли люди, автомобили или другие средства, могущие вызвать воспламенение горючих продуктов.
Мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия на гидросферу	Сброс химически загрязненной воды в канализацию производится после отпарки ее от углеводородов.
Мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия на литосферу	Мелкие разливы углеводородных жидкостей засыпаются песком, который затем лопаткой, изготовленной из не искрящего материала, удаляется в безопасное место или на сжигание. Отработанное масло от насосов, с целью предотвращения загрязнения окружающей среды, собирают в бойлер и вывозят на склад масел. Для предотвращения загрязнения почвы вредными веществами все технологическое оборудование размещено на бетонированной площадке с отбортовкой и лотками для сбора атмосферных вод в заглубленную емкость.

## Заключение

1. В разделе «Безопасность и экологичность технического объекта» приведена характеристика технологического процесса очистки бутадиеновой фракции от метилацетилен (пропин), 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 очистки бутадиеновой фракции от метилацетилена (пропин), 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).

## 6 ТЕХНИКО - ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРОЕКТА

### 6.1 Описание производства и маркетинговый анализ

Целью данного проекта является реконструкция одного из узлов производства бутадиена на ООО «Тольяттикаучук» с целью наращивания мощности и всех сопутствующих производств в соответствии с балансом сырья.

Проектом предусматривается реконструкция колонны №78 узла «Отгонки бутадиена от метилацетилену» с увеличением нагрузки по питанию на данную колонну.

Бутадиен является одним из основных мономеров для производства бутадиен-стирольных и  $\alpha$ -метилстирольных, стереорегулярных 1,4-цис-бутадиеновых, бутадиен-метилвинилпиридиновых, бутадиен-нитрильных и других синтетических каучуков и термоэластопластов, также используется в производстве синтетических смол, полиамидов.

На рынке складывается ситуация растущей потребности в бутадиене качества марки «А», применяемого как в процессе растворной полимеризации, так и при получении термоэластопластов и прочей продукции. Достигнутая мощность производства бутадиена на ООО «Тольяттикаучук» 70 тыс. т/год. Реализация данного проекта позволит создать частично условия для наращивания мощности производства до 100 тыс. т/год. и тем самым удовлетворить потребность в бутадиене при сохранении приемлемой цены на него за счет оптимизации процесса его производства.

Самым большим производителем бутадиена в мире является США. На его долю приходится около 2700 – 2800 тыс. т. бутадиена или около 27 – 28 % от всей выработки. Далее следует Европа – около 2400 – 2500 тыс. т., Япония – около 1100 тыс. т., Китай – 770 тыс. т., Южная Корея – 750 тыс. т., Германия – 550 тыс. т., Франция – 430 тыс. т. [1].

За последние два десятилетия объем производства бутадиена был нестабилен. В последние годы наблюдается рост производства бутадиена, этот рост по разным источникам составляет 3 – 4 % в год. Мировое производство к 2010 году оценивается в 11,2 млн. т. Опережающими темпами растет производство бутадиена в южно-азиатском регионе и в первую очередь в Китае.[1]

Цены на бутадиен за тот же период колебались в диапазоне от 200 до 700 долларов за тонну, в последние же годы отмечается устойчивый рост до 1000 и даже более 1200 долларов за тонну бутадиена. [2]

### Обзор рынка бутадиена-1,3 (дивинила)

В 2008г. спрос на товарный бутадиен растет огромными темпами, а предложение не всегда способно его удовлетворить. С середины августа 2008г. начались проблемы с поставками бутадиена; первым отреагировал на эту тенденцию североамериканский рынок, где цены пошли вверх уже на второй неделе. В случае продолжения проблем с поставками бутадиена, аналитики ожидают продолжения роста цен на мономер.

К 2017 году ожидается, что ежегодный рост потребления дивинила достигнет 3,5%. Что касается прироста объемов производства, то безусловным лидером выступает Китай, где за последние пять лет мощности по выпуску бутадиена возросли на 38%. Ожидается, что в течение нескольких лет в Северо-Восточной Азии войдет в строй свыше 500 тыс. тонн новых мощностей (Тайвань, Китай, Южная Корея и Япония).

В Европе 1-е место по производству бутадиена занимает крупнейший нефтехимический комплекс в Антверпене «Fina Antwerp Olefins S.A./NV», на долю которого приходится более 10% западноевропейского рынка. Ближайшие наиболее крупные производства располагаются в Кельне «INEOS» и Марселе «Shell», на них приходится приблизительно 8 и 7% производства бутадиена в Западной Европе соответственно. Ожидается, что рост спроса на бутадиен в Западной Европе также будет незначительным. Здесь не планируется ввод его но-

вых крупных мощностей, так что коэффициент загрузки здесь окажется выше, чем в США.

На рынке бутадиена в странах СНГ спрос также растет. Более того, развитие производства здесь имеет весьма радужные перспективы благодаря потенциальным источникам пиролизного сырья.

Таблица 6.1-Производство бутадиена в России

Показатели	Выработка бутадиена, тыс. т в год					
	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Бутадиена всего	353	381	390	466	474	509
1. В т.ч. из пиролизных фракций:						
ООО «Нижнекамскнефтехим»	66	80	83	87	94	101
ООО «Тольяттикаучук»	45	52	54	55	54	57
ЗАО «Каучук»	30	29	28	30	31	35
ОАО «Экойл» + ОАО «Омский каучук»	46	58	54	48	40	41
Всего из пиролизных фракций	187	219	219	220	219	234
2. Бутадиен из бутана (одностадийный синтез):						
ООО «Тобольскнефтехим»	166	165	171	186	189	192
ОАО «НКНК–Дивинил»	–	–	–	60	66	83
Всего из бутана (одностадийный)	166	165	171	246	255	275

## Динамика цен на бутадиен в России 2008-22 гг.



Рисунок 9- Динамика цен на бутадиен-1,3 в России

По расчетам американской компании CMAI (Chemical Market Associates Inc.), в период 2008-2022 гг. мировой рынок бутадиена будет ежегодно увеличиваться на 3,9%. В предыдущее пятилетие прирост составлял только около 2,7%.

Ввиду актуальности, в данной дипломной работе для возможности увеличения нагрузки на блок очистки бутадиена от метилацетилена и как, следствие, увеличение его производительности по бутадиену-1,3. Необходимости модернизации колонны №78, которая заключается в замене массообменных устройств (сетчатых тарелок) колонны №78 на высокоэффективную регулярную тонколистовую насадку с вертикальными контактными решётками АВР.

С целью обоснования выбора потребного оборудовании был произведен маркетинговый анализ. На рынке представлено несколько аналогов. Технические характеристики данных аналогов рассмотрим в таблице 6.2

Таблица 6.2-анализ теплообменного оборудования

Наименование производителя	Техническая характеристика	Цена оборудования, за ед., руб.
ОАО "Волгограднефтемаш"	2000 ТГН-2,5- М1/20Г-6-4-У	6 452 000
ОАО «Уральский завод химического машиностроения»	1200 ИНТ-1-0,6-1,0- М8/25Г-4-1-У-И	6 115 000
ОАО «Рузаевский завод химического машиностроения» г. Рузаевка	2000 ИНТ-1-0,6-1,0- М8/25Г-4-1-У-И	6 090 000
ООО «Глазовский завод «Химмаш» г. Глазов	2000 ИНТ-1-0,6-1,0- М8/25Г-4-1-У	5 980 000

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

Из ниже предложенных в таблице (6.2) производителей ректификационного оборудования, выбраны высокоэффективные регулярная насадка с вертикальными контактными решетками (АВР), производителя ООО «Химмаш», Глазов. Выбор данного оборудования исходил из критериев по параметрам и техническим характеристикам в соответствии с технологическими расчетами, а также по цене.

## 6.2 Расчет годовой производственной мощности

$$M = Q_{\text{час}} \cdot \Phi_{\text{эф.}}; \quad (6.1)$$

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

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

В химической промышленности оборудование работает круглосуточно.

$$\Phi_{\text{эф.}} = (D_{\text{к}} - D_{\text{рем.}}) \cdot 24 \quad (6.2)$$

где  $D_k$  - календарная продолжительность года, сутки;

$D_{рем.}$  – плановые простои для ремонта, сутки

Таблица 6.3-Расчет годовой производственной мощности основного оборудования

Показатели	Количество	
	базовый вариант	проектный вариант
Плановые простои оборудования, сутки.	25	25
Эффективное время работы оборудования, сутки.	340	340
Эффективное время работы оборудования, час.	8160	8160
Часовая производительность т/ч	9,3	15
Годовая производственная мощность т/год	75888	122400

### 6.3 Расчет капитальных вложений (инвестиций)

#### 6.3.1 Расчёт затрат на модернизацию оборудования

Так как производится модернизация существующей колонны то:

$$K_{мод.} = C_{вв} + (P_{сб.} + P_{дем.}) \cdot K_{нак} - C_{дем.} \quad (6.3)$$

где  $K_{\text{мод}}$  – затраты на модернизацию оборудованию

$C_{\text{вв}}$  – стоимость покупки или изготовления вновь вводимых узлов и приборов 5980000 руб. ;

$C_{\text{дем}}$  – стоимость демонтируемых узлов и приборов по цене металлолома

565600 руб ;

$P_{\text{сб}}$  – расходы на сборочные и монтажные работы;

$P_{\text{дем}}$  – расходы на демонтаж;

$K_{\text{нак}}$  – коэффициент накладных расходов ( $K_{\text{нак}}=1,5$ ).

$$K_{\text{мод}} = 5980000 - 565600 + (350000 + 79998) \cdot 1,5 = 6.059.397 \text{ руб.}$$

Расходы на сборочные и монтажные работы:

$$P_{\text{сб}} = T_{\text{сб}} \cdot Z_{\text{ср.м}} \cdot (1 + K_{\text{пр}} + K_{\text{н}} + K_{\text{вн}} + K_{\text{у}} + K_{\text{пф}} + K_{\text{д}} + K_{\text{с}}); \quad (6.4)$$

где  $T_{\text{сб}}$  – трудоёмкость сборки и монтажа вновь вводимых узлов и приборов в нормочасах,  $T_{\text{сб}} = 210\text{ч}$ ;

$Z_{\text{ср.м}}$  – средневзвешенная тарифная ставка рабочих бригады, выполняющей модернизацию  $Z_{\text{ср.м}} = 51,7$  руб.;

$K_{\text{пр}}$  – коэффициент премирования, принимается по данным базового предприятия ( $K_{\text{пр}} = 0,2 \dots 0,45$ );

$K_{\text{н}}$  – коэффициент доплат за работу в ночное время ( $K_{\text{н}} = 0,2$ ), учитывается только для части работ, приходящуюся на ночное время;

$K_{\text{вн}}$  – коэффициент выполнения норм ( $K_{\text{вн}} = 0,1$ );

$K_{\text{у}}$  – коэффициент доплат за условия труда ( $K_{\text{у}} = 0,12$ );

$K_{\text{пф}}$  – коэффициент доплат за профмастерство ( $K_{\text{пф}} = 0,15$ );

$K_{\text{д}}$  – коэффициент доплаты до часового, дневного и месячного фонда ( $K_{\text{д}} = 0,08$ );

$K_{\text{с}}$  – коэффициент страховых выплат ( $K_{\text{с}} = 0,3$ ).

$n$  – количество ремонтных рабочих,  $n = 12$  чел.

$$P_{сб} = 210 \cdot 58,8 \cdot 12 \cdot (1 + 0,45 + 0,2 + 0,1 + 0,12 + 0,15 + 0,08 + 0,3) = 355622,4 \text{ р}$$

уб.

Расходы на демонтаж:

$$P_{дем} = T_{дем} \cdot 3_{ср.м} \cdot (1 + K_{пр} + K_n + K_{вн} + K_y + K_{нф} + K_d + K_c) \quad (6.5)$$

$$P_{сб} = 48 \cdot 58,8 \cdot 12 \cdot (1 + 0,45 + 0,2 + 0,1 + 0,12 + 0,15 + 0,08 + 0,3) = 81285,12 \text{ руб}$$

#### 6.4 Расчет численности рабочих и фонда оплаты труда

Режим работы цеха и график сменности

Таблица 6.4-График сменности производственных рабочих

Смены	Часы	Дни месяца									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	7 - 19	А	Б	В	Г	А	Б	В	Г	А	Б
2	19 -7	Г	А	Б	В	Г	А	Б	В	Г	А
Выходные		В	Г	А	Б	В	Г	А	Б	В	Г
		Б	В	Г	А	Б	В	Г	А	Б	В

А, Б, В, Г. – смены

Номинальный годовой фонд рабочего времени одного рабочего:

$$\Phi_{НР} = (D_K - D_{ПР} - D_{ВЫХ}) \cdot T_{СМ} - D_{ПРЕД} \cdot T_{СОК}; \quad (6.6)$$

$$\Phi_{НР2010} = (365 - 14 - 102) \cdot 8 - 5 \cdot 1 = 1987 \text{ часов};$$

где,  $D_K$  – количество календарных дней в году (определяете по календарю);

$D_{ПР}$  – количество праздничных дней (определяете по календарю);

$D_{ВЫХ}$  – количество выходных дней (суббота, воскресенье – определяете по календарю);

$D_{ПРЕД}$  – количество предпраздничных дней (определяете по календарю);

$T_{СМ}$  – продолжительность рабочей смены, (8 часов);

$T_{СОК}$  – время, на которое сокращается предпраздничный день (1 час).

Действительный фонд рабочего времени одного рабочего

$$\Phi_{ДР} = \frac{Д_K}{2} \cdot T_{Дсм}; \quad (6.7)$$

где  $T_{Дсм}$  – действительная продолжительность смены (12 часов).

$$\Phi_{ДР2010} = \frac{365}{2} \cdot 12 = 2190 \text{ часов};$$

Количество часов переработки ( $\Phi_{ПЕР}$ ) сверх нормы рабочего времени:

$$\Phi_{ПЕР2010} = 2190 - 1987 = 203 \text{ часа};$$

Действительный эффективный фонд времени одного рабочего ( $\Phi_{ЭДР}$ ), часов:

$$\Phi_{ЭДР} = \Phi_{ДР} \cdot \left(1 - \frac{B_o}{100}\right); \quad (6.8)$$

где,  $B_o$  – планируемый процент времени на отпуск рабочих, болезни и т.д. (10...12 %).

$$\Phi_{ЭДР2010} = 2190 \cdot \left(1 - \frac{12}{100}\right) = 1927 \text{ часа}$$

Списочная численность рабочих в бригаде рассчитывается с учётом коэффициента подмены.

$$\mathcal{Ч}_{СП} = K_{подм} \cdot \mathcal{Ч}_{Я}; \quad (6.9)$$

$$K_{подм} = \frac{\Phi_{ДР}}{\Phi_{ЭДР}} = \frac{2190}{1927} = 1,14;$$

где,  $\text{Ч}_{\text{сп}}$  – списочная численность рабочих в бригаде, чел.;

$\text{Ч}_\text{я}$  – явочное число рабочих в смену, чел.;

Коэффициент загрузки:

$$K_3 = \frac{\Phi_y}{\Phi_{\text{ЭДР}}} \quad (6.10)$$

где  $\Phi_y$  – время, затрачиваемое на обслуживание проектируемого участка.

Таблица 6.5-Штаты рабочих цеха

Состав бригады	$K_3$	Явочное число рабочих в смену	Тариф часовой, руб.	Количество смен (бригад)	Списочная численность рабочих в бригадах
1	2	3	4	6	7
1. Производственные рабочие					
1.1) аппаратчик 5-го разряда	1	5	41,1	4	23
1.2) аппаратчик 6-го разряда		1	47,8		5
1.3) машинист		1	39,4		5
Всего		7			$\sum \text{Ч}_{\text{сп.}} = 33$
2. Дежурный персонал					
2.1) слесарь	0,7	1	43,3	4	$\sum \text{Ч}_{\text{сп.}} = 5$

## 6.5 Расчет заработной платы рабочих

### 6.5.1 Расчет средневзвешенной тарифной ставки

$$Z_{CP} = \frac{\sum Z_i \cdot Ч_i}{\sum Ч_{сп}}; \quad (6.11)$$

где,  $Z_{CP}$  – средневзвешенная тарифная ставка, руб.;

$Z_i$  – тарифная ставка рабочих  $i$ -го разряда, руб.;

$Ч_i$  – численность рабочих  $i$ -го разряда.

Средневзвешенная тарифная ставка производственных рабочих:

$$Z_{CP} = \frac{41,1 \cdot 20 + 47,8 \cdot 4 + 39,4 \cdot 4}{33} = 35,5 \text{ руб.}$$

Средневзвешенная тарифная ставка дежурного персонала:

$$Z_{CP} = \frac{43,3 \cdot 4}{5} = 34,6 \text{ руб.}$$

### 6.5.2 Годовой фонд заработной платы

$$Z_{год} = Z_{осн} + Z_{доп}; \quad (6.12)$$

где  $Z_{осн}$  – основной фонд заработной платы;

$Z_{доп}$  – дополнительный фонд заработной платы.

- для производственных рабочих:

$$Z_{год} = 4316837,6 + 518414,7 = 4.835.252, \text{ руб}$$

- для дежурного персонала:

$$Z_{год} = 442501,6 + 53140,6 = 495.642,2 \text{ руб}$$

Основной фонд заработной платы:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{тар.}} + Z_{\text{прем}} + Z_{\text{празд}} + Z_{\text{ночн}} + Z_{\text{св.н.}}; \quad (6.13)$$

где  $Z_{\text{тар}}$  – оплата по тарифу;

$Z_{\text{прем}}$  – премия;

$Z_{\text{празд}}$  – доплата за работу в праздничные дни;

$Z_{\text{ночн}}$  – доплата за работу в ночное время;

$Z_{\text{св.н}}$  – доплата за работу сверх нормы рабочего времени.

- для производственных рабочих:

$$Z_{\text{осн.}} = 2257480,5 + 1196464,7 + 71568 + 767543,4 + 23781,5 = 4.316837,6 \text{ руб}$$

- для дежурного персонала:

$$Z_{\text{осн.}} = 239429,8 + 126897,8 + 6975,4 + 67040,3 + 2458,3 = 442.501,6 \text{ руб}$$

Дополнительный фонд заработной платы:

$$Z_{\text{доп}} = Z_{\text{отп}} + Z_{\text{уч}} + Z_{\text{гос}}; \quad (6.14)$$

где  $Z_{\text{отп}}$  – оплата дней отпуска;

$Z_{\text{уч}}$  – оплата ученических отпусков;

$Z_{\text{гос}}$  – оплата дней за выполнение государственных обязанностей;

- для производственных рабочих:

$$Z_{\text{доп.}} = 518414,7 \text{ руб.}$$

- для дежурного персонала:

$$Z_{\text{доп.}} = 53140,6 \text{ руб.}$$

Оплата по тарифу:

$$Z_{\text{тар}} = Z_{\text{ср}} \cdot \Phi_{\text{ЭДР}} \cdot \Sigma \text{Ч}_{\text{сп}} \cdot K_3; \quad (6.15)$$

- для производственных рабочих:

$$Z_{\text{тар}} = 35,5 \cdot 1927 \cdot 33 \cdot 1 = 2257480 \text{ руб}$$

- для дежурного персонала:

$$Z_{\text{тар}} = 35,5 \cdot 1927 \cdot 5 \cdot 0,7 = 239429,8 \text{ руб}$$

Расчёт премий:

$$Z_{\text{прем}} = Z_{\text{тар}} \cdot K_{\text{пр}}; \quad (6.16)$$

$K_{\text{пр}} = 0,53$  по предприятию

- для производственных рабочих:

$$Z_{\text{прем}} = 2257480,5 \cdot 0,53 = 1196464,7 \text{ руб}$$

- для дежурного персонала:

$$Z_{\text{прем}} = 239429,8 \cdot 0,53 = 126897,8 \text{ руб}$$

Размер доплат за работу в праздничные дни:

$$Z_{\text{празд}} = Z_{\text{ср}} \cdot t_{\text{см}} \cdot n_{\text{см}} \cdot \text{Ч}_{\text{я}} \cdot D_{\text{пр}} \cdot K_3; \quad (6.17)$$

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

$n_{см}$  – число смен в сутки.

- для производственных рабочих:

$$З_{\text{празд}} = 35,5 \cdot 12 \cdot 2 \cdot 7 \cdot 12 \cdot 1 = 71568 \text{ руб}$$

- для дежурного персонала:

$$З_{\text{празд}} = 34,6 \cdot 12 \cdot 2 \cdot 1 \cdot 12 \cdot 0,7 = 6975,4 \text{ руб}$$

Размер доплат за работу в ночное время:

$$З_{\text{ноч}} = \frac{З_{\text{тар}} \cdot (1 + K_H)}{3} \cdot K_3; \quad (6.18)$$

где,  $1/3$  – часть суток, приходящаяся на ночное время.

- для производственного персонала:

$$З_{\text{ноч}} = \frac{2257480,5 \cdot (1 + 0,2)}{3} \cdot 1 = 767543,4 \text{ руб}$$

- для дежурного персонала:

$$З_{\text{ноч}} = \frac{239429,8 \cdot (1 + 0,2)}{3} \cdot 0,7 = 67040,3 \text{ руб}$$

Размер доплат за работу сверх нормы рабочего времени:

$$З_{\text{св.н.}} = З_{\text{ср}} \cdot \Phi_{\text{пер}} \cdot Ч_{\text{сп}} \cdot K_{\text{св.н}} \cdot K_3; \quad (6.19)$$

- для производственных рабочих:

$$З_{\text{св.н.}} = 35,5 \cdot 203 \cdot 33 \cdot 0,1 \cdot 1 = 23781,5 \text{ руб.}$$

- для дежурного персонала:

$$Z_{св.н.} = 34,6 \cdot 203 \cdot 5 \cdot 0,1 \cdot 0,7 = 2458,3 \text{ руб}$$

Размер оплаты дней отпуска:

$$Z_{отп} = \frac{Z_{осн} \cdot (\Phi_{ДР} - \Phi_{ЭДР})}{\Phi_{ЭДР}}; \quad (6.20)$$

- для производственных рабочих:

$$Z_{отп} = \frac{4316837,6 \cdot (2190 - 1927)}{1927} = 518414, \text{ руб}$$

- для дежурного персонала:

$$Z_{отп} = \frac{442501,6 \cdot (2190 - 1927)}{1927} = 53140,6 \text{ руб}$$

$$\text{Расчет страховых выплат: } C_{стр} = Z_{год} \cdot K_c; \quad (6.21)$$

- для производственных рабочих:

$$C_{стр} = 4835252,3 \cdot 0,3 = 1450575,69 \text{ руб}$$

- для дежурного персонала:

$$C_{стр} = 495642,2 \cdot 0,3 = 148692,66 \text{ руб}$$

Расчеты по формулам (7.11) – (7.21) сводим в таблицы:

Таблица 6.6-Оплата по тарифу

Группа рабочих	Расчет по формуле (7.15)	Оплата по тарифу, тыс.руб.
Производственные рабочие	$Z_{тар} = 35,5 \cdot 1927 \cdot 33 \cdot 1 =$ $= 2257480 руб$	2257,480
Дежурный персонал	$Z_{тар} = 35,5 \cdot 1927 \cdot 5 \cdot 0,7 =$ $= 239429,8 руб$	239,4298

Таблица 6.7-Расчет премии

Группа рабочих	Расчет по формуле (7.16)	Премия, тыс.руб.
Производственные рабочие	$Z_{прем} = 2257480,5 \cdot 0,53 = 1196464,7 руб$	1196,4647
Дежурный персонал	$Z_{прем} = 239429,8 \cdot 0,53 = 126897,8 руб$	126,8978

Таблица 6.8-Доплата за работу в праздничные дни

Группа рабочих	Расчет по формуле (7.17)	Доплата, тыс.руб.
Производственные рабочие	$Z_{празд} = 35,5 \cdot 12 \cdot 2 \cdot 7 \cdot 12 \cdot 1 = 71568 руб$	71,568
Дежурный персонал	$Z_{празд} = 34,6 \cdot 12 \cdot 2 \cdot 1 \cdot 12 \cdot 0,7 = 6975,4 руб$	6,9754

Таблица 6.9-Доплата за работу в ночное время

Группа рабочих	Расчет по формуле (7.18)	Доплата, тыс.руб.
Производственные рабочие	$Z_{\text{н.оч.}} = \frac{2257480,5 \cdot (1+0,2)}{3} \cdot 1 = 767543,4 \text{руб}$	767,5434
Дежурный персонал	$Z_{\text{н.оч.}} = \frac{239429,8 \cdot (1+0,2)}{3} \cdot 0,7 = 67040,3 \text{руб}$	67,0403

Таблица 6.10-Доплата за работу сверх нормы рабочего времени

Группа рабочих	Расчет по формуле (7.19)	Доплата, тыс.руб.
Производственные рабочие	$Z_{\text{св.н.}} = 35,5 \cdot 203 \cdot 33 \cdot 0,1 \cdot 1 = 23781,5 \text{руб.}$	23,7815
Дежурный персонал	$Z_{\text{св.н.}} = 34,6 \cdot 203 \cdot 5 \cdot 0,1 \cdot 0,7 = 2458,3 \text{руб}$	2,4583

Таблица 6.11-Основная заработная плата

Группа рабочих	Расчет по формуле (7.13)	Основная за- работная плата, тыс.руб.
Производственные рабочие	$Z_{\text{осн.}} = 2257480,5 + 1196464,7 + 71568 +$ $+ 767543,4 + 23781,5 = 4316837,6 \text{руб}$	4316,8376
Дежурный персонал	$Z_{\text{осн.}} = 239429,8 + 126897,8 + 6975,4 +$ $+ 67040,3 + 2458,3 = 442501,6 \text{руб}$	442,5016

Таблица 6.12-Оплата дней отпуска

Группа рабочих	Расчет по формуле (7.20)	Оплата дней от-пуска, тыс.руб.
Производственные рабочие	$Z_{отп} = \frac{4316837,6 \cdot (2190 - 1927)}{1927} = 518414,7 \text{ руб}$	518,4147
Дежурный персонал	$Z_{отп} = \frac{442501,6 \cdot (2190 - 1927)}{1927} = 53140,6 \text{ руб}$	53,1406

Таблица 6.13-Годовой фонд заработной платы

Группа рабочих	Расчет по формуле (7.12)	Годовой фонд зара-ботной пла-ты, тыс.руб.
Производственные рабочие	$Z_{год} = 4316837,6 + 518414,7 = 4835252,3 \text{ руб}$	4835,2523
Дежурный персонал	$Z_{год} = 442501,6 + 53140,6 = 495642,2 \text{ руб}$	495,6422

Таблица 6.14-Страховые выплаты

Группа рабочих	Расчет по формуле (7.21)	$C_{стр}$ , тыс.руб.
Производственные рабочие	$C_{стр} = 4835252,3 \cdot 0,3 = 1450575.69 \text{ руб}$	1.450,575
Дежурный персонал	$C_{стр} = 495642,2 \cdot 0,3 = 148692.66 \text{ руб}$	148,692

Таблица 6.15-Результаты расчетов по зарплате

Группа работников	Средний тариф	Численность рабочих	Оплата по тарифу	Доплаты				Основной фонд зарплаты	Дополнительный фонд зарплаты	Годовой фонд Зарплаты	Страховые выплаты
				Премия	Праздничные	ночные	сверх нормы				
Производственные Рабочие	35,5	33	2257480	1196464,7	71568	767543,4	2378 1,5	4316837,6	518414,7	483525 2,3	1.450,57 5
Дежурные Рабочие	34,6	5	239429,8	126897,8	6975,4	67040,3	2458, 3	442501,6	5310,6	495642 ,2	148,692

## 6.6 Организация управления производством

### 6.6.1 Расчет годового фонда заработной платы ИТР

$$З_{\text{год.ИТР}} = T_{\text{ок}} \cdot 12 \cdot Ч_{\text{сп.ИТР}} \quad (6.22)$$

где  $T_{\text{ок}}$  – размер месячного оклада

12 – количество месяцев в году

$Ч_{\text{сп.ИТР}}$  – списочная численность

### 6.6.2 Расчет доплат за работу в праздничные дни и в ночное время (начальники смен)

доплата за работу в праздничные дни

$$З_{\text{празд}} = З_{\text{ср}} \cdot t_{\text{см}} \cdot n_{\text{см}} \cdot Ч_{\text{я}} \cdot Д_{\text{пр}} \cdot K_3 = 61,3 \cdot 12 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 12 \cdot 1 = 35314,3 \text{ руб}$$

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

$n_{\text{см}}$  – число смен в сутки

$З_{\text{ср}}$  – часовая оплата при норме 168ч в месяц

$Д_{\text{пр}}$  – количество праздников в году

доплата за работу в ночное время

$$З_{\text{ноч}} = \frac{З_{\text{нар}} \cdot (1 + K_H)}{3} \cdot K_3 = \frac{494400 \cdot (1 + 0,2)}{3} \cdot 1 = 197760 \text{ руб}$$

$$З_{\text{доп}} = 35314,3 + 197760 = 233074,3 \text{ руб}$$

### 6.6.3 Расчет премии

$$З_{\text{прем}} = З_{\text{год}} \cdot K_{\text{пр}};$$

$$K_{\text{пр}} = 0,8$$

#### 6.6.4 Расчет страховых выплат

$$C_{\text{стр}} = Z_{\text{год}} \cdot K_c$$

$$K_c = 0,3$$

Таблица 6.16-Заработная плата ИТР и руководителей

Категория работников	К <sub>з</sub>	Ч <sub>сп</sub>	Оклад	Премии	Доплаты (сумма)	Годовой фонд з/пл	Страховые выплаты
ИТР							
1.Начальник установки		1	26000	249600	-	312000	147700,8
2.Начальник отделения		1	13600	130560	-	163200	77258,9
3.Технолог	1	1	12400	119040	-	148800	70441,9
4.Мастер по ремонту		1	15400	147840	-	184800	87484,3
5.Мастер смены		4	10300	395520	233074,3	494400	295347,5
Итого		8				1303200	678233,4

## 6.7 Расчет себестоимости продукции

### 6.7.1 Расчет расходов на сырье, топливо и энергию

Таблица 6.17-Расход сырья на одну тонну продукции

Вид сырья, материалов, полуфабрикатов	Ед. изм.	Расход на одну тонну продукции, $P_{с.уд}$		Цена за единицу	Сумма, руб.	
		базовый	Проектный		базовый	проект
1	2	3	4	5	6	7
1.Бутадиен -1,3	т	1,123	1,123	19663	22081,5	22081,5
2.Вода оборотная	м <sup>3</sup>	113,8	113,8	0,97	110,4	110,4
3.Пар	ГКл	1,5	1,5	451,28	676,9	676,94
4.Электроэнергия	кВт	30	30	3,44	103, 2	103,2
5. Холод	ГКл	0,12	0,12	1742,0	209,0	209,0
Итого					$\Sigma=23181$	$\Sigma=23181$

### 6.7.2 Расчет себестоимости по заработной плате

Основная заработная плата на одну тонну продукции:

$$Z_{осн.уд} = \frac{Z_{осн}}{M}; \quad (6.23)$$

где  $M$  – годовая производственная мощность

- для производственных рабочих:

$$Z_{осн.уд} = \frac{4316837,6}{75888} = 56,88 \text{ руб (базовый)}$$

$$Z_{осн.уд.} = \frac{4316837,6}{122400} = 35,3 \text{ руб (проектный)}$$

- для дежурного персонала:

$$Z_{осн.уд.} = \frac{442501,6}{75888} = 5,8 \text{ руб (базовый)}$$

$$Z_{осн.уд.} = \frac{442501,6}{122400} = 3,6 \text{ руб (проектный)}$$

- для ИТР и руководителей:

$$Z_{осн.уд.} = \frac{1303200}{75888} = 17,2 \text{ руб (базовый)}$$

$$Z_{осн.уд.} = \frac{1303200}{122400} = 10,6 \text{ руб (проектный)}$$

Дополнительная заработная плата на одну тонну продукции:

$$Z_{Доп.уд} = \frac{Z_{доп}}{M}; \quad (6.24)$$

- для производственных рабочих:

$$Z_{Доп.уд} = \frac{518414,7}{75888} = 6,8 \text{ руб; (базовый)}$$

$$Z_{Доп.уд} = \frac{518414,7}{122400} = 4,2 \text{ руб; (проектный)}$$

- для дежурного персонала:

$$Z_{Доп.уд} = \frac{5310,6}{75888} = 0,07 \text{ руб; (базовый)}$$

$$Z_{\text{Доп.уд}} = \frac{5310,6}{122400} = 0,04 \text{ руб}; (\text{проектный})$$

- для ИТР и руководителей:

$$Z_{\text{Доп.уд}} = \frac{233074,3}{75888} = 3,1 \text{ руб}; (\text{базовый})$$

$$Z_{\text{Доп.уд}} = \frac{233074,3}{122400} = 1,9 \text{ руб}; (\text{проектный})$$

Страховые выплаты на одну тонну продукции:

$$C_{\text{стр.уд}} = (Z_{\text{Осн.уд}} + Z_{\text{Доп.уд}}) \cdot K_C;$$

(6.25)

- для производственных рабочих:

$$C_{\text{стр.уд}} = (56,88 + 6,8) \cdot 0,3 = 19,1 \text{ руб}; (\text{базовый})$$

$$C_{\text{стр.уд}} = (35,3 + 4,2) \cdot 0,3 = 11,8 \text{ руб}; (\text{проектный})$$

- для дежурного персонала:

$$C_{\text{стр.уд}} = (5,8 + 0,07) \cdot 0,3 = 1,7 \text{ руб}; (\text{базовый})$$

$$C_{\text{стр.уд}} = (3,6 + 0,04) \cdot 0,3 = 1,1 \text{ руб}; (\text{проектный})$$

- для ИТР и руководителей:

$$C_{\text{стр.уд}} = (17,2 + 3,1) \cdot 0,3 = 6,1 \text{ руб}; (\text{базовый})$$

$$C_{стр.уд} = (10,6 + 1,9) \cdot 0,3 = 3,7 \text{ руб}; \text{ (проектный)}$$

Таблица 6.18-Расчёты себестоимости по заработной плате

Группы Работников	Основная заработная плата, руб.		Дополнительная заработная плата, руб.		Страховые выплаты на одну тонну продукции	
	базовый	Проектный	базовый	проектный	базовый	Проектный
Производственные рабочие	56,9	35,3	6,8	4,2	19,1	11,8
Дежурный Персонал	5,8	3,6	0,07	0,04	1,7	1,1
ИТР, служащие и руководители	17,1	10,6	3,1	1,9	6,1	3,7
Итого:	79,9	49,5	9,97	6,14	26,9	16,6

### 6.7.3 Расчет расходов на содержание и эксплуатацию оборудования

1) амортизация оборудования равна 522221,2 руб. по данным базового предприятия.

2) текущий ремонт и содержание оборудования принимаем 40% от амортизации оборудования

$$522221,2 \cdot 0,4 = 208888,5 \text{ руб.}$$

3) износ и восстановление инструментов и приспособлений принимаем 5% от амортизации

$$522221,2 \cdot 0,05 = 26111,06 \text{ руб.}$$

4) прочие расходы принимаем 1% от амортизации

$$522221,2 \cdot 0,01 = 5222,2 \text{ руб.}$$

Таблица 6.19-Расходы на содержание и эксплуатацию оборудования

Наименование статей	Сумма, руб., $P_{об}$	
	базовый	Проектный
1. Амортизация оборудования. $N_{ам} = \%$	522221,2	522221,2
2. Текущий ремонт и содержание оборудования	208888,5	208888,5
3. Износ и восстановление инструментов	26111,06	26111,06
4. Прочие расходы	5222,2	5222,2
Итого:	762442,96	762442,96
Затраты на одну тонну	$P_{об.б} = 10,05$	$P_{об.б} = 6,23$

Затраты на одну тонну продукции:

$$P_{об.уд} = \frac{P_{об}}{M} ;$$

- базовый:

$$P_{об.уд} = \frac{762442,96}{75888} = 10,05 \text{ руб}$$

- проектный:

$$P_{об.уд} = \frac{762442,96}{122400} = 6,23 \text{ руб}$$

#### 6.7.4 Расчет цеховых расходов

- 1) амортизация зданий равна 75800 руб. по данным базового предприятия
- 2) содержание зданий равно 250800 руб. по данным базового предприятия

3) затраты на научно-исследовательские, опытно-конструкторские работы и рационализацию принимаем 2% от общей заработной платы всех работников

$$(4835252,3 + 495642,2 + 1303200) \cdot 0,02 = 132681,9 \text{ руб.}$$

4) затраты на охрану труда принимаем 10% от зарплаты всех работающих

$$(4835252,3 + 495642,2 + 1303200) \cdot 0,1 = 663409,45 \text{ руб.}$$

5) прочие расходы принимаем 0,7% от зарплаты всех работающих

$$(4835252,3 + 495642,2 + 1303200) \cdot 0,07 = 464386,6 \text{ руб.}$$

Таблица 6.20-Расчёт цеховых расходов

Наименование статей расхода	Сумма, руб., $P_{ц}$	
	базовый	Проектный
1. Амортизация зданий	75800	75800
2. Содержание зданий	250800	250800
3. Затраты на НИОКР	132681,9	132681,9
4. Затраты на охрану труда	663409,45	663409,45
5. Прочие расходы	464386,6	464386,6
Итого	1587077,97	1587077,97
Расходы на одну тонну продукции	20,91	12,97

Расходы на одну тонну продукции:

$$P_{ц} = \frac{P_{ц}}{M} ;$$

- базовый:

$$P_{ц} = \frac{1587077,97}{75888} = 20,91 \text{ руб}$$

- проектный:

$$P_{ц} = \frac{1587077,97}{122400} = 12,97 \text{ руб}$$

### 6.7.5 Сравнительный анализ себестоимости одной тонны продукции базового и проектного вариантов

Таблица 6.21-Сравнительный анализ удельной себестоимости

Наименование статей	Ед. изм.	Базовый вариант	Проектный вариант	Отклонение
2	3	4	5	6
Сырьё, топливо и энергию	руб.	23137,2	23137,2	0
Основная заработная плата	руб.	79,9	49,5	30,4
Дополнительная заработная плата	руб.	9,97	6,14	3,83
Страховые выплаты	руб.	26,9	16,6	10,3
Расходы на содержание и эксплуатацию оборудования	руб.	10,05	6,23	3,82
Цеховые расходы	руб.	20,91	12,97	7,94
Цеховая себестоимость: $C_{ц} = P_{с.уд} + Z_{осн.уд} + Z_{доп.уд} + C_{стр.уд} + P_{об.уд} + P_{ц.уд}$	руб.	23283,68	23231	52,68

Общезаводские расходы:				
$P_{зав} = 3_{Осн.уд} \cdot K_{зав}; (K_{зав}=2,5).$	руб.	199, 8	123,83	75,89

## 7 РАСЧЕТ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЕКТА

7.1 Ожидаемая прибыль  $Pr_{ож}$  (условно-годовая экономия) от снижения себестоимости продукции

$$Pr_{ож} = (C_{п.баз} - C_{п.пр}) \cdot M_{пр} \quad (7.1)$$

где  $C_{баз}$  – себестоимость одной тонны продукции по базовому варианту;

$C_{пр}$  – себестоимость одной тонны продукции по проекту.

8.2 Налог на прибыль

$$H_{пр} = \frac{Pr_{ож} \cdot K_{нал}}{100} \quad (7.2)$$

где  $K_{нал}$  – ставка налога на прибыль (20%).

8.3 Чистая ожидаемая прибыль

$$Pr_{чист} = Pr_{ож} - H_{пр} \quad (7.3)$$

7.4 Расчётный срок окупаемости капитальных вложений (инвестиций), необходимых для осуществления проектируемого варианта

$$T_{ок} = \frac{K_{общ}}{Pr_{чист}} \quad (7.4)$$

где  $T_{ок}$  – срок окупаемости капитальных вложений

$K_{общ}$  – капитальные вложения (инвестиции), необходимые на проектирование, приобретение оборудования, инструментов и т.д.

### 7.5 Общая текущая стоимость доходов (чистой дисконтированной прибыли)

в течение принятого горизонта расчета:

$$D_{\text{ОБЩ.ДИСК}} = \sum_{t=1}^{T_r} \text{Пр}_{\text{чист}} \cdot \frac{1}{(1+E)^t} \quad (7.5)$$

где  $T_r$  – принятый горизонт расчета, лет;

$E$  – процентная ставка на капитал (например, при 10% –  $E=0,1$ ; при 20% –  $E=0,2$  и т.д.).

$t$  – первый, второй, третий и т.д. год получения прибыли в пределах принятого горизонта расчета.

### 7.6 Интегральный экономический эффект (чистый дисконтированный доход):

$$\mathcal{E}_{\text{ИНТ}} = \mathcal{ЧДД} = D_{\text{ОБЩ.ДИСК}} - K_{\text{общ}} \quad (7.6)$$

### 7.7 Индекс доходности

$$\text{ИД} = \frac{D_{\text{ОБЩ.ДИСК}}}{K_{\text{общ}}} \quad (7.7)$$

Индекс доходности показывает прибыль на каждый вложенный рубль

Таблица 7.1-Показатели экономической эффективности дипломного проекта

Наименование показателя	Расчёт по формуле	Сумма, руб
1	2	3
Ожидаемая прибыль	$\text{Пр}_{\text{ож}} = (C_{\text{п.баз}} - C_{\text{п.пр}}) \cdot M_{\text{пр}} = (23284,08 - 23229,1) \cdot 122400 = 6729552$ руб	6729552

Продолжение таблицы 7.1

1	2	3
(формула 7.1)		
Чистая прибыль  (формула 7.3)	$\text{Пр.чист} = \text{Прож} - \text{Н}_{\text{пр}} =$ $= 6729552 - 1345910,4 = 5383641,6 \text{ руб}$	5383641,6
Расчётный срок окупаемости капитальных вложений, лет  (формула 7.4)	$T_{\text{ок}} = K_{\text{сop}} \div \Pi_{\text{чист}} = 6059397 \div 5383641,6 = 1,2$	1,2 года
Общая текущая стоимость доходов  (формула 7.5)	$D_{\text{общ. диск}} = \sum_{t=1}^{T_{\text{r}}} \text{Пр}_{\text{чист}} \cdot \frac{1}{(1+E)^t} = 5114459,59 \cdot \frac{1}{(1+0,2)^1} =$ $= 5014176,06$	5014176,0 6
Чистый дисконтированный доход  (формула 7.6)	$\mathcal{E}_{\text{инт}} = \text{ЧДД} = D_{\text{общ. диск}} - K_{\text{общ}} = 5014176,07 - 3259397 =$ $= 1754779,1$	1754779,1
Индекс доходности  (формула 7.7)	$\text{ИД} = \frac{D_{\text{общ. диск}}}{K_{\text{общ}}} = \frac{5014176,07}{3259397} = 1,54;$	1,54

**Вывод:**

В результате проведенного экономического расчета модернизации оборудования для отгонки производства бутадиена, общие капитальные вложения составили 6059397 руб., чистая прибыль составляет 5383641,6 руб., а срок окупаемости-1,2 года, следовательно, проект эффективен.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Целью дипломного проекта была модернизация узла отгонки бутадиена от метилацетилена с заменой массообменных устройств (тарелок) на высокоэффективную регулярную насадку с вертикальными контактными решетками (АВР), что позволило бы более эффективно использовать существующее оборудование и получать бутадиен с содержанием метилацетилена не более 0,002% и уменьшить содержания бутадиена в отдувках не более 50% с одновременным увеличением производительности блока до 15т/час.

В дипломном проекте проведены технологические расчеты колонны (78) при увеличении нагрузки на блок очистки до 15т/час, что невозможно без реконструкции колонны. Проведены механический расчет колонны и проверочный расчет конденсатора, выполнен экономический расчет. Выполненные расчеты показали, что данная реконструкция имеет небольшой срок окупаемости и в дальнейшем принесет предприятию прибыль за счет увеличения производительности.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.

- 1 Кудинова, И.Н. Синтетические каучуки, тенденции и перспективы внутреннего рынка / И.Н. Кудинова // Вестник химической промышленности. - 2010. - №2. – С. 20-27
- 2 Справочник цен мирового рынка химической продукции / Е.И. Бондаренко [и др.]. – М.: Экономика, 2010. – 1073 с.
- 3 Игнатенков, Ю.И. Теплообменная насадка с вертикальными решетками в колоннах ректификации и абсорбции / Ю.И. Игнатенков // Центр науки и образования «Нефть и газ» - Самара, 2009. – 35 с.
- 4 Варгафтик, Н.Б Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей / Н.Б. Варгафтик . – М.: Физматгиз, 1963.- 708 с.
- 5 Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии / Под ред. П.Г. Романкова. – М.: Химия, 1970. – 624 с.
- 6 Основные процессы и аппараты химической технологии: учеб. пособие / Под ред. Ю.И. Дытнерского. М.: Химия, 1991. – 497 с.
- 7 Колонные аппараты: каталог. М.: ЦИНТИХИМНЕФТЕМАШ, 1978. – 31с.
- 8 Александров, И.А. Ректификационные и абсорбционные аппараты / И.А.Александров. – М.: Химия, 1971. – 593 с.
- 9 ГОСТ 14249-89. Сосуды стальные сварные. Методы расчета на прочность:
- 10 Сергеев А.В. Методические указания к выпускной квалификационной работе (экономическое обоснование проекта) /А.В. Сергеев. - Тольятти.: Тольяттинский государственный университет, 2007. – 29 с.
- 11 Технологический регламент ТР-34-07 производства бутадиена из ББФ (пиролизной фракции).
- 12 Маркелова, А.Т. Справочник конструктора-технолога теплоэнергетика: / А.Т. Маркелова. – М.: Энергия, 2003. – 860 с.
- 13 Тимонин, А.С. Основы конструирования и расчеты технологического и природоохранного оборудования: Справочник. Т.1 – Калуга: Издательство Н.Бочкаревой, 2002. – 852 с.

- 14 Лашинский, А.А. Основы конструирования и расчеты химической аппаратуры: / А.А. Лашинский, А.Р. Толчинский. – Л.: Машиностроение, 1970. – 752 с.
- 15 Марочник сталей и сплавов / Под ред. В.Г. Сорокина. – М.: Машиностроение, 1989. – 640 с.
- 16 Гельперин, Н.И. Основные процессы и аппараты химической технологии:/ Н.И. Гельперин. – М.: Химия, 1981. – 812 с.
- 17 Кузнецов А.А. Расчеты процессов и аппаратов нефтеперерабатывающей промышленности:/ А.А. Кузнецов, С.М. Кагерманов, Е.Н. Судаков. – Л.: Химия, 1974, 344 с.
- 18 Глинка Н.Л. Общая химия/ Под ред. В.А.Рабиновича. – Л.:Химия, 1986.- 706с
- 19 Березин Б.Д., Березин Д.Б. Курс современной органической химии: /Б.Д. Березин, Д.Б. Березин. – М.: Высшая школа, 2001. – 187 с.
- 20 Артеменко А.И. Удивительный мир органической химии:/ А.И. Артеменко.- М.: Высшая школа, 2004.
- 21 Балаев Г.А. Полимерные материалы:/ Г.А. Балаев. – Л.: Химия, 1982.-195 с.
- 22 Фелленберг Г. Загрязнение природной среды. Введение в экологическую химию: Пер. с нем. – М.: Мир, 1997. – 232 с.
- 23 Долин П.А. Справочник по технике безопасности:/ П.А. Долин. – М.: Энергоиздат, 1998. – 800 с.
- 24 Бесков С.Д. Технохимические расчеты:/ С.Д. Бесков. – М.: Высшая школа, 1965. – 519 с.
- 25 ПБ 09-540-03. Общие правила взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств.: М.: ФГПУ «НТЦ «Промышленная безопасность», 2006. – 103 с.
- 26 ТУ 3612-002-48158319-2008. Аппараты теплообменные кожухотрубчатые с неподвижными трубными решетками и кожухотрубчатые с температурным компенсатором на кожухе.

- 27 ПБ 03-576-03. Правила устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением
- 28 Писарев, А.С. Экономика производства: учебное пособие для вузов - изд. ТГУ, г. Тольятти, 2002.- 280 с.
- 29 Бесчастнов, М.В. Промышленные взрывы. Оценка и предупреждение, М.: Химия, 1991.- 432с
- 30 Горина, Л.Н. Обеспечение безопасных условий труда на производстве- учебное пособие, Тольятти: ТолПИ, 2000- 68с.
- 31 Дытнерский, Ю.И. Основные процессы и аппараты химической технологии: учебное пособие /под редакцией Ю.И. Дытнерского. – М.: Химия, 1991.– 497с.
- 32 ГОСТ 24755-89 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Укрепления отверстий,1989-29с.
- 33 ГОСТ 26202-84 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность обечаек и днищ от воздействия опорных нагрузок, 1989-48 с.
- 34 Гутник, С.П. Расчеты по технологии органического синтеза. М: Химия, 1988. – 272 с.
- 35 Кафаров, В.В., Глебов, М.Б. Математическое моделирование основных процессов химических производств. - М.: Высш.шк.,1991.-440с.
- 36 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.
- 37 Анурьев, В.И. Справочник конструктора – машиностроителя. М: Машиностроение, 1980. – 557 с.
- 38 Основные процессы и аппараты химической технологии: Пособие по проектированию/Г. С. Борисов, В.П.Брыков, Ю.И. Дытнерский и др. Под ред.Ю.И.Дытнерского, 2-е изд., перераб. и дополн. М.:Химия, 1991. - 496 с.

- 39 Общая химическая технология: Учеб.для химико-техн. спец. вузов. В 2-х т. Т.1: Теоретические основы химической технологии/И.П.Мухлёнов, А.Я.Авербух, Е.С.Тумаркина и др.; Под ред. И.П.Мухлёнова.- 4-е изд., перераб. и доп.- М.: Высш.шк., 1984.- 256 с., ил.
- 40 Общий курс процессов и аппаратов химической технологии: Учебник для вузов.Кн.1,2. / Под общ. ред. В.Г. Айнштейна. – М. : Химия, 1999. – 869 с.
- 41 Огородников, С.К. Формальдегид.- Л.: Химия, 1984. – 280 с.
- 42 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.
- 43 Уокер Дж. Ф. Формальдегид. - Госхимиздат, 1957-130 с.
- 44 Механика твёрдого тела. Лекции.(Университетский курс общей физики) //В.А.Алешкевич, Л.Г.Деденко, В.А. Караваяев -М.: Издательство Физического факультета МГУ (НЭВЦ ФИПТ), 1997, - 72 с., ил.
- 45 Статистическая теория необратимых процессов / Р.Айзеншиц - М.: Изд. Иностран. лит., 1963, - 127 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 Единицы физических величин и их размерности / Л.А. Сена
- 48 Покорение вещества. Органическая химия: Учебное пособие. СПб: Химиздат, 1999. -272 с., ил.
- 49 Практические работы по органической химии / Л.Гаттерман, Г.Виланд - 5-е изд., Государственное научно-техническое издательство химической литературы - М.: 1948
- 50 Кластеры и малые частицы / Ю.И.Петров. -М.: Наука. -368 с.

- 51 Техника безопасности в химических лабораториях: Справ.изд. - 2-е изд., перераб. и доп. - Л.: Химия, 1991. - 336 с.; ил.
- 52 Алгоритмы оптимизации Майника Э. Алгоритмы оптимизации на сетях и графах: Пер. с англ. - М.: Мир, 1981. - 323 с., ил.
- 53 Химическая энциклопедия: В 5 т.: т. 1: А - Дарзана / Редкол.: Кнунянц И.Л. (гл.ред.) и др. - М.: Сов.энцикл.,1988. -623 с.: ил.
- 54 Химическая энциклопедия: В 5 т.: т. 2: Даффа - Меди / Редкол.: Кнунянц И.Л. (гл.ред.) и др. - М.: Сов.энцикл.,1990. -671 с.: ил.
- 55 Химическая энциклопедия: В 5 т.: т. 3: Меди - Полимерные / Редкол.: Кнунянц И.Л. (гл.ред.) и др. - М.: Большая Российская энцикл.,1992. -639 с.: ил.
- 56 Химическая энциклопедия: В 5 т.: т. 4: Полимерные - Трипсин / Редкол.: Зефиоров Н.С. (гл.ред.) и др. - М.: Большая Российская энцикл.,1995. -639 с.: ил.
- 57 Химическая энциклопедия: В 5 т.: т. 5: Триптофан - Ятрохимия / Редкол.: Зефиоров Н.С. (гл.ред.) и др. - М.: Большая Российская энцикл.,1998. -783 с.: ил.
- 58 Краткий справочник физико-химических величин под ред.К.П.Мищенко и А.А.Равделя, Л.: Химия, 1974, - 200 с.
- 59 Кан Р., Дермер О. Введение в химическую номенклатуру: Пер. с англ./ Под ред. В.М.Потапова и Р.А.Лидина. - М.: Химия, 1983. -224 с.
- 60 Аверко-Антонович, Л. А., Химия и технология синтетического каучука, учебник для вузов. М.: Колосс, 2008.- 357с.
- 61 Рябов, В.Д. Химия нефти и газа. Учеб. для вузов – М.: Изд. «Техника» ГУМА ГРУПП, 2004. – 288
- 62 Горфикель, В.Я., Швандар, В.А. Экономика предприятия: учебник для вузов- 3-е изд., перераб. и доп.- М.: ЮНИТИ- ДАНА, 2003.-713 с.
- 63 Постоянный технологический регламент производства бутадиена ТР-И-9-26-12

- 64 Плановский, А.Н., Рамм В.М., Коган С.З. Процессы и аппараты химической технологии. 5-е изд.– М. : Химия, 1968. – 847 с.
- 65 Плановский, А.Н., Николаев, П.И. Процессы и аппараты химической и нефтехимической технологии. - М.: Химия, 1987.-540 с.
- 66 Закгейм, А.Ю. Введение в моделирование химико-технологических процессов. - М.: Химия, 1982.
- 67 Теплотехнический справочник / под.ред. С.Г. Герасимова. – М.: Энергия, 1957. – 386 с.
- 68 Альперт, Л.З. Основы проектирования химических установок.- М.: Высш. шк., 1982. – 304 с.
- 69 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.
- 70 Брейман, М.И. Инженерные решения по технике безопасности в пожаро- и взрывоопасных производствах / М.И. Брейман. – М.: Химия, 1973. – 344 с.