

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

ИНСТИТУТ ХИМИИ И ИНЖЕНЕРНОЙ ЭКОЛОГИИ
Кафедра «Рациональное природопользование и ресурсосбережение»

УТВЕРЖДАЮ

Зав. кафедрой «РПиР»

_____ М.В.Кравцова
(подпись) (И.О. Фамилия)

« _____ » _____ 20 ____ г.

ЗАДАНИЕ
на бакалаврскую работу

Студент: Ткачев Дмитрий Аркадьевич

1. Тема: «Модернизация блока экстрактивной ректификации БДФ цеха Д-4 ОАО «Тольяттисинтез»»
2. Срок сдачи студентом законченной выпускной квалификационной работы
04.06.2015
3. Исходные данные к выпускной квалификационной работе: технологический регламент цеха Д-4.
4. Содержание выпускной квалификационной работы:
 - 4.1 Анализ блока экстрактивной ректификации БДФ цеха Д-4 ОАО «Тольяттисинтез».
 - 4.2 Модернизация блока экстрактивной ректификации БДФ.
5. Дата выдачи задания «16» марта 2016г.

Руководитель бакалаврской работы

_____ З.А. Шамугия
(подпись) (И.О. Фамилия)

Задание принял к исполнению

_____ Д.А.Ткачев
(подпись) (И.О. Фамилия)

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«Тольяттинский государственный университет»

ИНСТИТУТ ХИМИИ И ИНЖЕНЕРНОЙ ЭКОЛОГИИ

Кафедра «Рациональное природопользование и ресурсосбережение»

УТВЕРЖДАЮ

Зав. кафедрой «РПиР»

(подпись) М.В.Кравцова
(И.О. Фамилия)

«____» _____ 20__ г.

КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

бакалаврской работы

Студента: Ткачева Дмитрия Аркадьевича

по теме: «Модернизация блока экстрактивной ректификации БДФ цеха Д-4
ОАО «Тольяттисинтез»»

Наименование раздела работы	Плановый срок выпол- нения раздела	Фактический срок выполне- ния раздела	Отметка о выполнении	Подпись руково- дителя
Введение	15.05.2016			
Анализ блока экстрактивной ректификации БДФ цеха Д-4 ОАО «Тольяттисинтез»	17.05.2016			
Модернизация блока экстрактивной ректификации БДФ	20.05.2016			
Заключение	02.06.2016			

Руководитель бакалаврской работы

З.А. Шамугия

(подпись)

(И.О. Фамилия)

Задание принял к исполнению

Д.А.Ткачев

(подпись)

(И.О. Фамилия)

АННОТАЦИЯ

Цель бакалаврской работы - повышение качества получаемого продукта и снижения его себестоимости за счет проведения модернизации блока экстрактивной ректификации.

В бакалаврской работе рассматривается блок экстрактивной ректификации для получения бутадиена из БДФ цеха Д-4 ОАО «Тольяттикаучук». Описаны и обоснованы предлагаемые мероприятия по совершенствованию технологического процесса, подобраны аппараты для проведения процессов.

Бакалаврская работа состоит из введения, 2-х глав, заключения, списка использованных источников - 61. Общий объем работы 62 страницы машинописного текста, в том числе 12 таблиц, 10 рисунков.

Во введении обосновывается актуальность проводимого исследования, описывается цель, задачи работы. В первой главе проведен анализ блока экстрактивной ректификации БДФ цеха Д-4. Во второй главе разработано технологическое решение по модернизации блока экстрактивной ректификации и представлено технико-экономическое обоснование

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	6
ГЛАВА 1. АНАЛИЗ БЛОКА ЭКСТРАКТИВНОЙ РЕКТИФИКАЦИИ БДФ ЦЕХА Д-4	7
1.1 Действующая технологическая схема	7
1.2 Характеристика действующего оборудования	10
1.3 Требование на сырьё	16
1.4 Недостатки действующей технологической схемы	20
ГЛАВА 2. МОДЕРНИЗАЦИЯ БЛОКА ЭКСТРАКТИВНОЙ РЕКТИФИКАЦИИ БДФ	22
2.1 Анализ существующих тарелок	22
2.2 Модернизация действующих колонн	29
2.3 Материальный баланс	31
2.4 Внедрение в схему дополнительного аппарата сепаратора	35
2.5 Повышение интенсификации теплообмена 216 рекуператора	35
2.5.1 Зависимость параметров теплообмена от оребрения	38
2.6 Тепловой расчёт	41
2.7 Технико-экономическое обоснование предлагаемого оборудования	46
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	56
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	57

ВВЕДЕНИЕ

Производство бутадиена из бутилен - бутадиеновой (пиролизной) фракции (ББФ) на предприятии ООО «Тольяттикаучук» введено в эксплуатацию в 1978 г.

Проектная мощность составляет - 60 тыс. тонн бутадиена в год. Получение бутадиена из пиролизной осуществляется методом экстрактивной ректификации в присутствии экстрагента - ацетонитрила.

Целевой бутадиен используется для получения бутадиен-стирольных каучуков, которые применяются главным образом в производстве шин. На основе бутадиен-стирольных каучуков изготавливают также многочисленные резинотехнические изделия (конвейерные ленты, рукава, профили, формовые детали), а также изоляцию кабелей, обувь, спортивные изделия и другое. Мировое производство бутадиен-стирольных каучуков превышает 4 млн. т/год. По объему выпуска они занимают первое место среди всех синтетических каучуков.

Сополимеризацией бутадиена с акрилонитрилом и стиролом получают АБС - пластик, применяемый для изготовления корпусов лодок, корпусов пылесосов, деталей автомобилей, крупногабаритных деталей приборостроения, деталей холодильников, деталей слуховых аппаратов.

Целью бакалаврской работы является повышение качества получаемого продукта и снижения его себестоимости за счет проведения модернизации блока экстрактивной ректификации.

Для реализации цели бакалаврской работы необходимо решить следующие задачи:

1. Провести анализ блока экстрактивной ректификации БДФ цеха Д-4 ОАО «Тольяттисинтез».
2. Разработать технологическое решение по модернизации блока экстрактивной ректификации ОАО «Тольяттисинтез».
3. Провести технико-экономический расчет.

ГЛАВА 1. АНАЛИЗ БЛОКА ЭКСТРАКТИВНОЙ РЕКТИФИКАЦИИ БДФ ЦЕХА Д-4

1.1 Действующая технологическая схема блока экстрактивной ректификации БДФ цеха Д-4

Пиролизная (Бутадиен-Бутиленовая) фракция из емкостей №5 отделения Д-12 через отсекабель подается в трубное пространство испарителя №210, обогрев которого осуществляется теплом циркулирующего ацетонитрила, поступающего в межтрубное пространство (рис. 1).

Из испарителя № 210 пиролизная фракция с температурой 60-65 °С поступает в куб колонны №211, куда также подаются пары с верха колонны № 218. Десорбированный ацетонитрил из емкости № 223 насосом № 224/1,2 через фильтр № 225а/1,2 подается в горячий контур пластинчатого холодильника № 225/1,2, в холодный контур которого поступает обратная вода из коллектора прямой обратной воды на резервный блок. В фильтре № 225а/1,2 ацетонитрил очищается от механических примесей. Охлажденный до заданной температуры ацетонитрил из холодильника № 225/1,2 подается на тарелку № 97 в колонну №211. Ацетонитрил подается в колонну № 211 в массовом соотношении (13÷17):1 к содержанию бутадиена в БДФ. Для очистки циркулирующего ацетонитрила от солей, димеров и тяжелых углеводородов часть его непрерывно подается на узел регенерации ацетонитрила в емкость № 85.

В колонне № 211 происходит экстракция бутадиена и частично бутиленов ацетонитрилом, стекающим по тарелкам в куб колонны №211.

Пары бутилен-изобутиленовой фракции (БИФ) с верха колонны № 211 поступают в межтрубные пространства конденсаторов № 212/1-3, где конденсируются обратной водой, циркулирующей в трубных пространствах. Несконденсированные в конденсаторах № 212/1-3 пары БИФ направляются для конденсации в конденсатор № 212/4, охлаждаемый обратной водой (рассолом), циркулирующими в трубном пространстве.

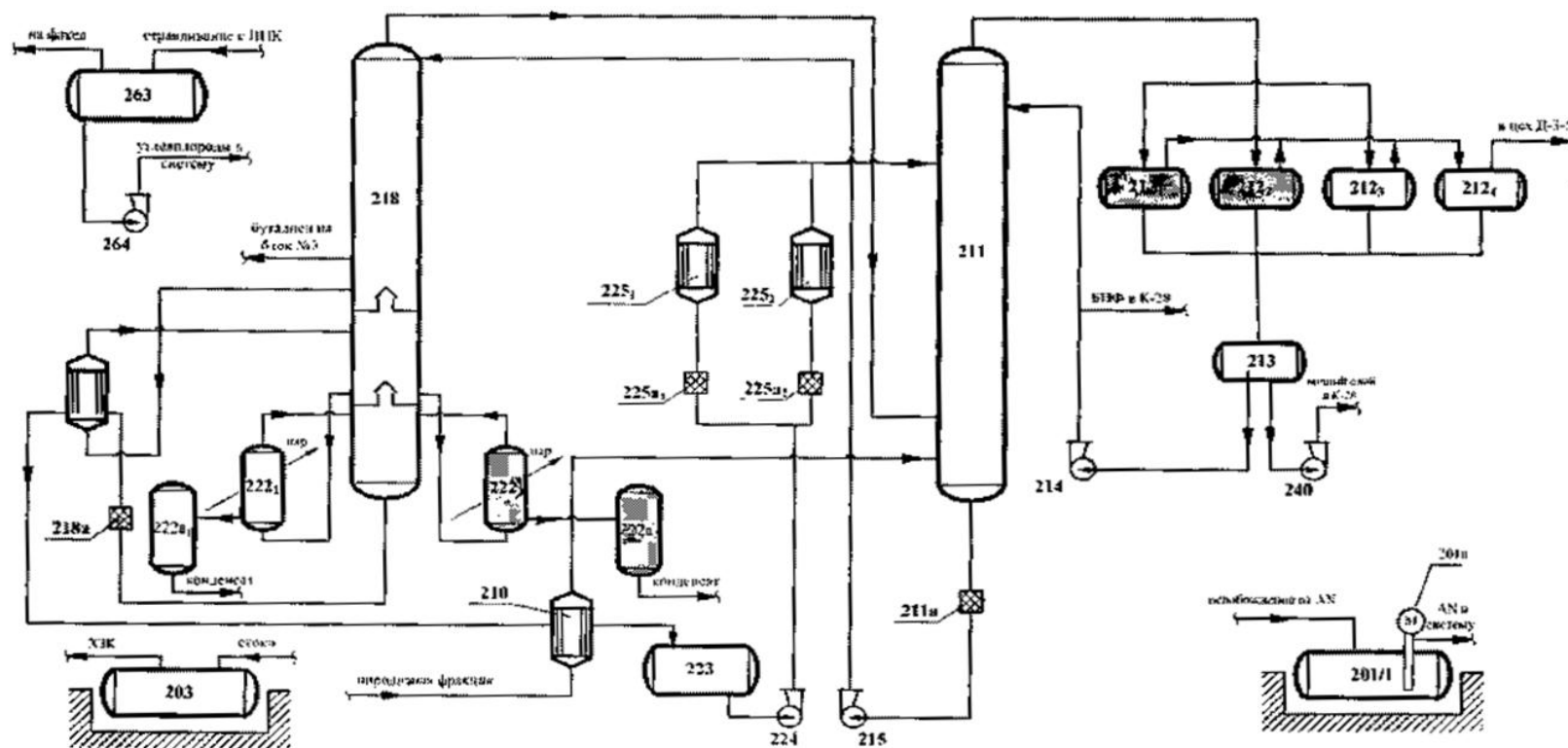


Рисунок 1 - Принципиальная схема блока экстракционной ректификации

Сконденсированная БИФ из конденсаторов № 212/1-4 сливается в сборник № 213, где происходит расслаивание ее на водный и углеводородный слой.

Несконденсированные углеводороды из конденсатора № 212/4 через сепаратор № 64 поступают в колонну № 186 цеха Д-3-5.

БИФ из емкости № 213 насосом №214/1,2 частично подается в виде флегмы в колонну № 211, а оставшая часть на отмывку от ацетонитрила в колонну № 28 (№ 32). Отстоявшаяся вода с ацетонитрилом из емкости № 213 насосом № 240/2,3 подается в колонну № 28 (№ 32). Насыщенный углеводородами ацетонитрил из куба колонны № 211 насосом № 215/1,2 подается на тарелку № 97 в колонну № 218.

Насыщенный углеводородами ацетонитрил, с «глухой» тарелки колонны № 218, поступает в трубное пространство рекуператора № 216, обогреваемого по межтрубному пространству десорбированным ацетонитрилом, поступающим из куба колонны № 218 через фильтр № 218а. Нагретый в рекуператоре № 216 ацетонитрил возвращается в десорбционную часть колонны № 218 под «глухую» тарелку.

В десорбционной части колонны № 218 происходит десорбция бутадиеновой фракции из насыщенного ацетонитрила. Подвод тепла в кубовую часть колонны № 218 производится подаваемым в межтрубное пространство кипятильника № 222/1,2 водяным паром.

В десорбционной части колонны № 218 дополнительно установлена глухая тарелка, предназначенная для предотвращения уноса ацетонитрила с бутадиеновой фракцией. Кубовая жидкость с глухой тарелки колонны №218 поступает в кипятильники № 222/1,2, а оттуда - в колонну, под нижнюю глухую тарелку. Конденсат из кипятильника № 222/1,2 самотеком сливается в конденсационный бачок № 222а/1,2 затем в линию конденсата в кипятильник № 41 узла отгонки ацетонитрила из промывных вод.

Газообразная бутадиеновая фракция с примесями бутиленов, ацетиленовых углеводородов, ацетонитрила с тарелки № 40 (боковой отбор) подает-

ся на очистку от ацетиленовых углеводородов в колонну № 11/1 блока № 3.

Десорбированный ацетонитрил из куба колонны № 218 с температурой 130-140^{°C} через фильтр № 218а, последовательно поступает через межтрубные пространства рекуператоров № 216, № 210 в емкость № 233 [5]

1.2 Характеристика действующего оборудования

Испаритель № 210 – 1 шт., для испарения пиролизной фракции поступающей в отделение Д-12 через трубное пространство в колонну №211.

Поверхность теплообмена	350м ²
Диаметр	1200 мм
Длина цилиндрической части	4000 мм
Количество трубок	1114 шт.
Длина трубок	4000 мм
Диаметр трубок	25х2,0 мм
Расчетное давление:	
— трубного пространства	16,0кгс/см ²
— межтрубного пространства	16,0кгс/см ²
Расчетная температура	
— трубного пространства	150 ^{°C}
— межтрубного пространства	200 ^{°C}
Материал:	
— корпуса	сталь углеродистая
— трубок	сталь углеродистая

Ректификационная колонна №211 – 1 шт., для разделения пиролизной фракции на БИФ и бутадиеновую фракцию

Диаметр	400 мм
Высота цилиндрической части	5000 мм
Количество клапанных тарелок	03 шт.
Расстояние между тарелками	50 мм
Расчетное давление	0 кгс/см ²

Расчетная температура	150°С
Материал:	
— корпуса	ВСтЗсп5
— тарелок	09Г2С

Фильтр № 211а - 1 шт., для очистки от ацетонитрила, поступающего из куба колонны № 211

Объем	1,9 м ³
Диаметр	1200 мм
Высота цилиндрической части	1155 мм
Расчетное давление	10 кгс/см ²
Расчетная температура	200°С
Материал	ВСтЗспб

Конденсатор № 212 - 4 шт., для конденсации в межтрубных пространствах паров бутилен-изобутиленовой фракции, поступающих из колонны №211, оборотной водой (или рассолом в конденсаторе № 212/4), циркулирующих в трубных пространствах.

Поверхность теплообмена	671 м ²
Длина цилиндрической части	5990 мм
Диаметр	1400 мм
Количество ходов	4
Диаметр трубок	25х2,5 мм
Длина трубок	6000 мм
Количество трубок	1417 шт.
Расчетное давление:	
— трубного пространства	6 кгс/см ²
— межтрубного пространства	10 кгс/см ²
Расчетная температура:	
— трубного пространства	100°С

— межтрубного пространства 100°С

Материал:

— корпуса сталь углеродистая

— трубок сталь углеродистая

Емкость № 213 - 1 шт., для сбора бутилен-изобутиленовой фракции поступающей из теплообменников № 212/1-4.

Объем 30 м³

Диаметр 2400 мм

Общая длина 6970 мм

Расчетное давление 10,0 кгс/см²

Расчетная температура 100°С

Материал сталь углеродистая

Ректификационная колонна с десорбером № 218 - 1 шт., для выделения бутадиеновой фракции из насыщенного ацетонитрила.

Диаметр 3400 мм

Высота цилиндрической части 56000 мм

Количество клапанных тарелок 97 шт.

Расстояние между тарелками 450 мм

Расчетное давление 10 кгс/см²

Расчетная температура 150°С

Материал:

— корпуса ВСт3сп5

— тарелок 09Г2С

Рекуператор № 216 -1 шт., для подвода тепла с ацетонитрилом циркулирующим с глухой тарелки (расположена между тарелками № 34 и №35) через трубное пространство под глухую тарелку колонны № 218 за счет теплообмена с ацетонитрилом, поступающим из куба колонны № 218 в межтрубное пространство.

Поверхность теплообмена 819 м²

Диаметр	1800 мм
Длина общая	8160 мм
Количество трубок	2632 шт.
Длина трубок	4000 мм
Диаметр трубок	25x2 мм
Расчетное давление:	
— трубного пространства	16,0 кгс/см ²
— межтрубного пространства	10,0 кгс/см ²
Расчетная температура:	
— трубного пространства	200°C
— межтрубного пространства	200°C
Материал:	
— корпуса	сталь углеродистая
— трубок	сталь углеродистая

Кипятильник № 222 - 2 шт., для подвода тепла в колонну № 218.

Поверхность теплообмена	819 м ²
Диаметр	1800 мм
Высота общая	8160 мм
Количество трубок	2632 шт.
Длина трубок	4000 мм
Диаметр трубок	25x2 мм
Расчетное давление:	
— трубного пространства	16,0 кгс/см ²
— межтрубного пространства	10,0 кгс/см ²
Расчетная температура:	
— трубного пространства	200°C
— межтрубного пространства	200°C
Материал:	
— корпуса	сталь углеродистая
— трубок	12X18H10T

Фильтр № 218а - 1 шт., для очистки от механических примесей ацетонитрила, поступающего из куба колонны № 218.

Объем	1,9 м ³
Диаметр	1200 мм
Общая высота	2135 мм
Расчетное давление	10 кгс/см ²
Расчетная температура	200°С
Материал	сталь углеродистая

Конденсационный бачок № 222а - 2 шт., для сбора конденсата из кипя-
тильников № 222/1,2.

Объем	2 м ³
Диаметр	1000 мм
Высота цилиндрической части	1440 мм
Расчетное давление	16 кгс/см ²
Расчетная температура	200°С

Емкость № 223 - 1 шт., для циркулирующего ацетонитрила и приема
технического ацетонитрила из отделения Д-13.

Объем	100 м ³
Диаметр	3400 мм
Длина общая	11625 мм
Расчетное давление	10,0 кгс/см ²
Расчетная температура	100°С
Материал	сталь углеродистая

Пластинчатый теплообменник № 225- 2 шт., для охлаждения: в горячем
контуре ацетонитрила, поступающего в колонну № 211, оборотной водой,
циркулирующей в холодном контуре

Поверхность теплообмена	75,6 м ²
Количество пластин	92 шт.
Количество ходов:	

— по горячему контуру	1
— по холодному контуру	1

Расчетное давление

— горячего контура	16 кгс/см ²
— холодного контура	16 кгс/см ²

Расчетная температура:

— горячего контура	150°С
— холодного контура	150°С

Фильтр № 225а - 2 шт., для очистки от механических примесей ацетонитрила на входе в горячий контур теплообменника № 225.

Объем	0,1м ³
Диаметр	400 мм
Общая длина	850 мм
Расчетное давление	20 кгс/см ²
Расчетная температура	100°С
Материал	сталь углеродистая

Сепаратор № 263 - 1 шт., для улавливания жидких углеводородов из газов стравливания после ПГЖ аппаратов №210, 218, 222, 216 и при ручном стравливании из аппаратов № 212, 213, 215а, 223, 224а, а также при освобождении насоса № 214.

Объем	25 м ³
Диаметр	2200 мм
Длина цилиндрической части	5800 мм
Расчетное давление	6 кгс/см ²
Расчетная температура	200°С
Материал	сталь углеродистая

Заглубленная емкость № 201/1 - 1 шт., для приема продукта при освобождении оборудования для ремонта.

Объем	10 м ³
Диаметр	1800 мм
Длина цилиндрической части	4480 мм
Расчетное давление	10 кгс/см ²
Расчетная температура	200°С
Материал	Ст.3

Заглубленная емкость № 203 - 1 шт., для сбора производственных и атмосферных стоков.

Объем	50 м ³
Диаметр	2800 мм
Длина цилиндрической части	7200 мм
Расчетное давление	6 кгс/см ²
Расчетная температура	80°С
Материал	ВСт3сп5

1.3 Требования на сырьё и выпускаемую продукцию

Бутилен-бутадиеновая (пиролизная) фракция, очищенная в цехе Д-3-5, ТР-34-07:

Массовая доля бутадиена 1,3	не менее 40%
Массовая доля углеводородов C ₅ и выше	не более 0,4%

Технические характеристики ацетонитрил технический ТУ 6-01-667-78 с изменением № 1-5 (марка «А» или марка «Б») представлены в таблице 1.

Таблица 1- Ацетонитрил технический ТУ 6-01-667-78 с изменением № 1-5 (марка «А» или марка «Б»)

№ п/п	Показатели	Марка А	Марка Б
1	Массовая доля ацетонитрила, % не менее	99,7	99,3
2	Массовая доля синильной кислоты, % не более	0,0009	0,001
3	Массовая доля аммиака, %, не более	0,0005	0,01

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4
4	Массовая доля ацетона, %, не более	0,002	0,005
5	Массовая доля воды, %, не более	0,19	0,3
6	Показатель pH	6,0-8,0	6,0-10,0
7	Коэффициент рефракции при 20°C	1,3441	1,3411
8	Массовая доля нитрила акриловой кислоты, %, не более	0,005	0,01
9	Массовая доля уксусной кислоты, %, не более	0,003	0,005
10	Массовая доля проциснитрила, %, не более	0,1	0,3

Нитрит натрия (сорт первый) - кристаллы белого цвета, с сероватым или желтоватым оттенком ГОСТ 19906-74 с изменением № 5.

Массовая доля нитрита натрия (NaNO_2), %, не менее 98,5.

Массовая доля воды, %, не более 1,0.

Массовая доля нитрита натрия (NaNO_3), %, не более 1,4.

Массовая доля хлористых солей в пересчете на NaCl %, не более 0,17.

Массовая доля нерастворимого в воде прокаленного остатка, %, не более 0,3.

Таблица 2- Триэтаноламин ТУ 2423-168-00203335-2007

№ п/п	Показатели	Марка А	Марка Б
1	Массовая доля триэтаноламина, %, не менее	90,0	85,0
2	Массовая доля диэтаноламина, %, не более	9,0	13,0
3	Массовая доля моноэтаноламина, %, не более	1,0	2,0
4	Массовая доля воды, %, не более	0,5	1,0
5	Плотность при температуре 20 °С, в пределах, г/см ³	1,095- 1,124	1,095- 1,135

Фракция бутадиеновая - боковой отбор колонны № 218 (аналитические данные) ТР-34-07.

Массовая доля бутадиена, %, не менее 90,0

Аналитический контроль компонентов представлен в таблице 3.

Таблица 3 - Аналитический контроль продуктов

№ п/п	Наименование стадий процесса, анализируемый продукт	Место отбора проб	Контролируемые показатели	Методы контроля (методика анализа, ГОСТ или ОСТ)	Норма	Частота контроля	Кто контролирует
1	Бутилен- изобутиленовая фракция	Линия выхода БИФ из емкости №213	Углеводородный состав: Бутадиен	Хроматографич., 245	Не более 0,5% масс	3 раза в сутки	Лаборатория цеха БК- 4
2	Бутадиеновая фракция	Линия бутадиеновой фракции из колонны № 218 на блок № 3 (клапанная сборка)	Углеводородный состав: Бутадиен	Хроматографич., 245	Не менее 90 % масс	3 раза в сутки	Лаборатория цеха БК- 4
3	Десорбированный ацетонитрил	Линия выхода ацетонитрила из куба колонны №218	Углеводороды C ₄	Хроматографич., 252	не более 0,05% масс	1 раза в сутки	Лаборатория цеха БК- 4
			Ацетонитрил	Хроматографич., 252	не нормируется	1 раза в сутки	Лаборатория цеха БК- 4
			Ацетон	Хроматографич., 252	не нормируется	1 раза в сутки	Лаборатория цеха БК- 4
			Вода	Хроматографич., 252	5-15% мас-се	1 раза в сутки	Лаборатория цеха БК- 4

Продолжение таблицы 3

№ п/п	Наименование стадий процесса, анализируемый продукт	Место отбора проб	Контролируемые показатели	Методы контроля (методика анализа, ГОСТ или ОСТ)	Норма	Частота контроля	Кто контролирует
			МЭК+С	Хроматографич., 252	5-15% мас-се	1 раза в сутки	Лаборатория цеха БК- 4
			Нитрит натрия	Фотоколориметрический, 226	0,01-0,03% масс	1 раз в сутки	Лаборатория цеха БК- 4
			Соли уксусной кислоты	Потенциометр, 588	Не более 0,15% масс	1 раз в 7 суток	Лаборатория цеха БК- 4
			рН	Потенциометр, 209	7-9,5	1 раз в сутки	Лаборатория цеха БК- 4
			Смолы	Колориметрический, 735	Не более 2% масс	1 раз в неделю	Лаборатория ЦЗЛ
4	Сточные воды	Линия осво-бождения ем-кости №203	ХПК	ПНДФ 14.1:2.100-97	Не более 1200 мгО ₂ /дм ³	По требова-нию	Лаборатория, охраны природы
			Ацетонитрил	М01-01, М- 06-04		По требова-нию	Лаборатория, охраны природы

1.4 Недостатки действующей технологической схемы

Изучив, технологическую схему блока экстрактивной ректификации и проанализировав данное производство с точки зрения современных установок экстракции, выявился ряд недостатков:

1. Несовременные массообменные устройства. Из вышеприведённого требования на выпускаемую продукцию и оговорённую ранее масштабность производства бутадиена было бы целесообразно заменить массообменные устройства на более современные способные повысить качество разделения, а соответственно и качества выхода продукта, а так же работать при более высоких нагрузках.

Изучив предложения на рынке по обновлению массообменных устройств, мною был сделан вывод, что лидером в этой области является фирма «Зульцер Хемтех». На этом основании первым пунктом модернизации я предлагаю замену установленных сетчатых тарелок на высокоэффективные тарелки «Зульцер».

2. Проблема низкой поверхности теплообмена 216 рекуператора. Увеличение теплоотдачи позволит экономить на расходе пара обогревающего колонну 218, а так же десорбированный ацетонитрил будет подаваться в ёмкость 223 более захламоженным. Благодаря этому давление в ёмкости 223 понизится и это позволит сократить стравливание отдувок, то есть уменьшить-ся прямая потеря продукта.

Увеличение интенсификации теплообмена я предлагаю путём замены кожухотрубного рекуператора на эффективный змеевиковый аппарат с оребрённой поверхностью труб, который уже очень положительно проявил себя в многочисленных экспериментах, а так же на площадке предприятия Волжского автомобильного завода.

Пары растворителя уносятся вместе с готовым продуктом. Для дальнейшего отделения бутадиена от ацетонитрила требуется затраты в виде расхода пара для выпарки, а так же возврата его в систему. Предлагаю решить проблему внедрения в схему дополнительного аппарата – сепаратора на ли-

нии выхода продукта. Пары растворителя отбившись от бутадиена возвращать обратно в систему в линию входа растворителя в рекуператор 210.

Обоснование актуальности проблемы. На рынке продукции химической промышленности действует жёсткая конкуренция, где решающими факторами являются высокое качество и готовность предприятия в сжатые сроки изготавливать количество продукта необходимое заказчику. Поэтому многие заводы покупают новейшее оборудование за рубежом, совершенствуя действующие установки внедрением новых иностранных комплексов и технологий. Но зачастую, необходимыми действиями может послужить модернизация существующей установки, осуществить которую можно выявив недостатки и устранив их определёнными действиями.

Исходя из вышесказанного, целесообразно выполнить модернизацию для снижению себестоимости, увеличению объема изготовления и повышению качества получаемого продукта.

ГЛАВА 2. МОДЕРНИЗАЦИЯ БЛОКА ЭКСТРАКТИВНОЙ РЕКТИФИКАЦИИ БДФ

2.1 Анализ существующих тарелок

В настоящий момент на блоке экстрактивной ректификации БДФ используются сетчатые тарелки. Изобретение сетчатых насадок в начале шестидесятых годов явилось поистине прорывом в ректификационных технологиях. Характеристики этих насадок позволили впервые решить сложные задачи ректификационного разделения веществ.

Сетчатые насадки представляют собой плоский перфорированный лист со сливными устройствами. Перфорацию выполняют в виде круглых отверстий диаметром 2-6 мм, с шагом равным $(3\div 5)d$. Площадь отверстий, в зависимости от производительности тарелки составляет от 8 до 30 % от площади сечения колонны.

Известны конструкции многосливных тарелок с двумя зонами контакта фаз с сетчатым полотном или контактными элементами другого типа. В этом случае переливное устройство в нижней части имеет щель, из которой жидкость вытекает в виде пленки, перекрывающей сечение колонны под полотном тарелки. Таким образом, образуется вторая зона контакта фаз в пространстве между тарелками.

Преимущество сетчатой тарелки: большое свободное сечение тарелки; простота изготовления; малая металлоемкость.

Тарелки фирмы Зульцер. На сегодняшний день фирма «Зульцер Хем-тех» выпускает широкий ряд тарельчатых устройств, начиная от колпачковых и заканчивая тарелками с вихревыми элементами. В настоящее время производителями основное внимание уделено современным тарельчатым устройствам. Именно они позволяют получать максимальную эффективность и производительность в процессах ректификации и абсорбции. Развитию современных высокопроизводительных устройств послужил бурный рост химической и нефтехимической промышленности за последнее десятилетие.

Интерес заказчиков к интенсификации технологических процессов в значительной мере переместился с задач повышения эффективности разделения к задачам повышения производительности в существующих корпусах аппаратов. Другой тенденцией, повлиявшей на конструкцию современных тарельчатых устройств, является повышение межремонтного цикла работы установок до 5-7 лет. Такое требование привело к разработке неподвижных клапанов, отличающихся высокой степенью надёжности и способностью работать в загрязнённых средах или в условиях постепенного накопления загрязнений на полотне тарелок [5]. По-прежнему одним из основных факторов, определяющих интерес к тарелкам, является их относительно низкая стоимость по сравнению с другими массообменными устройствами. Снижение стоимости массообменных устройств за счёт оптимизации их конструкции является ключевым условием на всех этапах проектирования, начиная от клапана и заканчивая колонной в целом. К примеру, фирма «Зульцер Хем-тех» впервые стала использовать прямоугольные подвижные клапаны вместо круглых, что позволило не только существенно снизить отходы металла при их изготовлении, но и сократить затраты на сборку тарелок. Значительным шагом в снижении себестоимости тарелок являлось изобретение и использование неподвижных клапанов, выштампованных в полотне тарелки и являющихся неотъемлемой частью полотна. Низкая стоимость таких клапанов в сочетании с высокой надёжностью и значительным диапазоном устойчивой работы обуславливают их широкое применение.

Тарелки с клапанами SVG. Клапаны SVG являются самыми большими по размеру из фиксированных клапанов. Струи пара, проходящие через широкие боковые отверстия клапана, производят очистку полотна тарелки от загрязнений в зоне расположения отверстия. Это обеспечивает отличные эксплуатационные характеристики при работе в загрязнённых средах в течение долгого периода времени и позволяет обходиться без остановки на очистку тарелок. Тарелки с клапанами SVG успешно зарекомендовали себя в процессах производства акрилонитрила, бражных колоннах, ректификации бута-

диена, атмосферных и вакуумных колоннах в нефтепереработке, абсорберах очистки газа от кислых примесей, установках гидроалкилирования, производстве изопропилбензола, латекса, колоннах отгонки суспензии ПВХ, колоннах щелочной очистки и других процессах.

Фиксированные или неподвижные клапаны V-Grid представляют собой элементы, выштампованные в полотне тарелки и расположенные в шахматном порядке. Клапаны имеют трапециевидную форму и ориентированы параллельно потоку жидкости. Такие клапаны обладают следующими преимуществами:

- Пониженный унос жидкости благодаря горизонтальному направлению истечения пара на полотно через боковые отверстия.
- Организация направленного движения пара, поступающего через клапаны, помогает организовать поток жидкости поперек тарелки, при этом уменьшается поперечная неравномерность распределения времени пребывания жидкой фазы на тарелке.
- Более высокая производительность, чем у тарелки с подвижными круглыми клапанами.
- Меньшее гидравлическое сопротивление в расчете на теоретическую ступень, чем у тарелки с подвижными круглыми клапанами.
- Широкий диапазон нагрузок — немного меньший, чем у тарелки с подвижными клапанами, но значительно большими, чем у сетчатых тарелок.
- Стабильная эффективность в рабочем диапазоне нагрузок.
- Отсутствие движущихся частей исключает механический износ и обеспечивает более долгий срок службы, чем у тарелок с подвижными клапанами.
- Способность к переработке загрязняющих сред [28].

Тарелки VGPlus прошли успешные испытания в институте Fractionation Research, Inc. (FRI) на системе гексан/гептан при давлении 0,34 и 1,65 бар. FRI является независимым институтом, получившим всемирное признание в вопросах тестирования массообменных устройств. Исследования показали

более высокую, чем у сетчатых тарелок, производительность (до 20%) и эффективность. Кроме этого было обнаружено, то производительность фиксированных клапанов MVG выше, чем у традиционных дисковых клапанов. Также по опытным данным были составлены основные преимущества тарелок VGPlus перед традиционными тарелками:

- увеличенная производительность до 30%;
- снижение гидравлического сопротивления до 20%;
- более высокая эффективность;
- равномерное распределение жидкости и пара.

Компьютерное моделирование гидродинамики. Исследования и пилотные испытания подкреплены расчетами на основе численных методов анализа гидродинамических задач, которые позволяют изучать сложные двухфазные смеси, например течение вспененной жидкости по полотну и унос жидкости с тарелок.



Рисунок 2 - Распределение жидкости по тарелкам

Рисунок 2 отображает распределение скоростей течения жидкости на полотне тарелки. Видно, что направляющие элементы (профили скоростей снизу) создают более равномерный поток на тарелке.

Тарелки были испытаны в ректификационной колонне с внутренним диаметром 1,2 м при давлениях 2...3 кг-с/см² с разными продуктами [29].

Как видно из результатов эксперимента, тарелки VGPlus являются

лучшими из испытанных тарелок благодаря сегментными переливными карманами. Результаты отображены на рисунке 3.

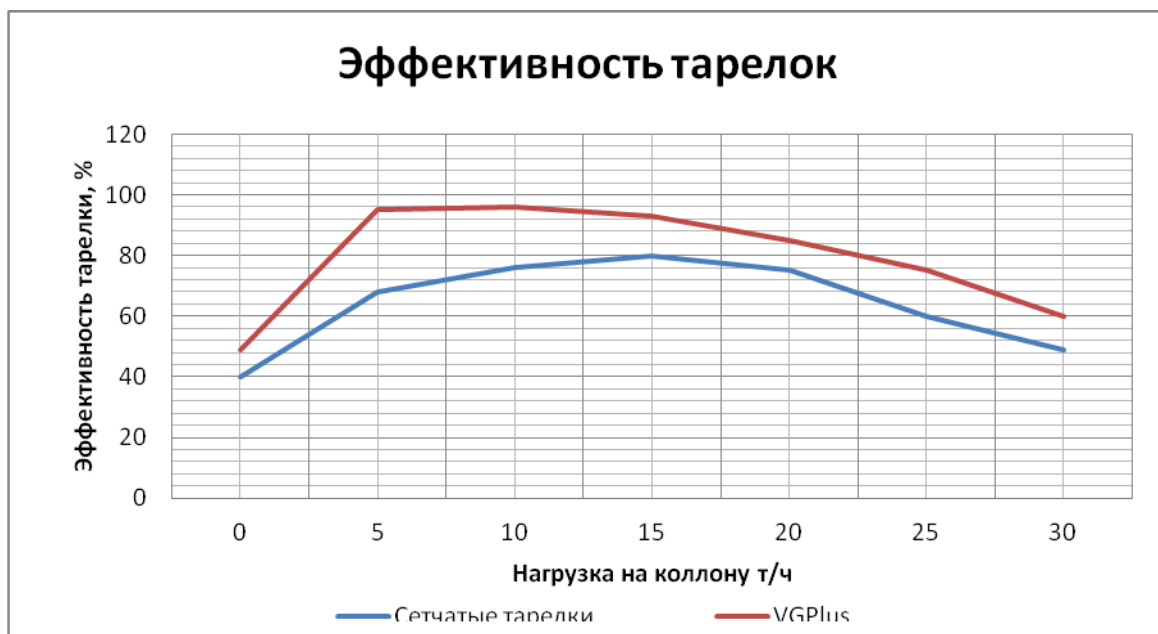


Рисунок 3 – График эффективности тарелок

Эти тарелки могут использоваться для увеличения производительности действующих экстракторов в процессах экстракции, щелочной очистке и в технологиях получения смазочных масел. Использование тарелок для экстракции по сравнению с обычными сетчатыми тарелками:

- позволяет увеличить производительность более чем на 15 % при одинаковой эффективности;
- позволяет уменьшить межтарельчатое расстояние без потери производительности [28].

На основании проведённых испытаний можно прийти к выводу, что на блоке экстрактивной ректификации целесообразно заменить сетчатые тарелки на тарелки фирмы «Зульцер» VGPlus.

Механизм самобалансирования тарелок. Специальное расположение переливных камер способствует равномерному распределению жидкости на каждой секции тарелки. Линии течения жидкости прямые и протяженность пути везде примерно одинакова. Поток пара выходит через клапаны MVG в боковом направлении перпендикулярно потоку жидкости. Пар распределяет-

ся равномерно по секциям тарелки. Равномерное распределение пара и жидкости гарантирует хорошее взаимодействие паровой и жидкой фаз.

Поскольку пар под барботажной зоной не встречает преград, он равномерно распределяется между различными секциями тарелки. В результате тарелки являются гидравлически самобалансирующимися многопоточными тарелками.

Восьмидесятые годы были ознаменованы расширением использования в нефтехимической, нефтеперерабатывающей и газовой промышленности, а также в процессах санитарной очистки воздуха и отпарки летучих компонентов из сточных вод. В сравнении с традиционными к тому времени технологиями использование тарелок VGPlus давало существенные преимущества в самых различных областях применения.

К настоящему моменту тысячи колонн, первоначально оснащенных тарелками или насыпной насадкой, были модернизированы с использованием VGPlus для увеличения выхода продукта, улучшения его чистоты либо увеличения производительности колонны. Обширные экспериментальные данные в сочетании с накопленным опытом промышленного применения уже позволяли в большинстве случаев гарантировать заказчикам, как улучшение глубины разделения, так и рост производительности.

Разработав совершенные внутренние вспомогательные устройства, «Зульцер Хемтех» тем самым предложил новые стандарты для устройств распределения газовой и жидкой фаз в насадочных колоннах. Современные конструкции распределителей пригодными для самых различных технологий и условий эксплуатации. Области применения устройств «Зульцер Хемтех» представлены в таблице 4.

Таблица 4 - Области применения тарелок Зульцер

Области применения	Диаметр и рабочие параметры	Отличительные особенности
Основная химия и нефтехимия, этилбензол, жирные кислоты, капролактамы, процессы нефтепереработки, абсорбционные, десорбционные, ректификационные, экстракционные колонны, осушка.	Диаметр: от 80 мм до 17 м (в зависимости от типа) Давление: от вакуума до избыточного. Нагрузка по жидкости: от 0,2 до 200 м ³ /м ² ч.	Универсальный тип насадки для различных областей применения. Работает в широком диапазоне нагрузок по жидкости. Стойкость ко многим химическим веществам.
Этилбензол, стирол, жирные кислоты, например, таловое масло.	Диаметр: от 80 мм до 12 м (в зависимости от типа) Давление: от вакуума до избыточного Нагрузка по жидкости: от 0.2 до 200 м ³ /м ² ч.	Повышена стойкость ко многим химическим веществам. Малое гидравлическое сопротивление.
Абсорбционные и десорбционные колонны.	Диаметр: от 200 мм до 15 м (в зависимости от типа) Давление: от вакуума до избыточного. Температура: от 110° С.	Стойкость ко многим химическим веществам Малое гидравлическое сопротивление.
Нефтяная и нефтеперерабатывающая промышленность. Первичная перегонка сырой нефти. Заключочные колонны.	Минимальный диаметр: 900 мм. Давление: от вакуума до избыточного.	Жесткая конструкция Гладкая поверхность Не забивается, не чувствительна к загрязнениям. Эффективное противодействие уносу.

2.2 Модернизация действующих колонн

Основное назначение данного типа модернизации это увеличение производительности колонны. Монтаж новых внутренних устройств опорных балок, опорных решеток, насадки, установочных решеток, распределителей и коллекторов производится через люки.

Подготовительные работы к реконструкции (для тарельчатых колонн):

- удаление тарелок;
- удаление опорных колец (если необходимо - в зависимости от типа модернизации колонны);
- приварка опорных кронштейнов, балок и кольцевых каналов для коллектора жидкости;
- монтаж новых люк-лазов в зонах размещения распределителей жидкости (при необходимости);
- врезка новых штуцеров подачи питания и вывода продуктов;
- очистка колонны от грязи, мусора и посторонних предметов.

Время замены тарелки зависит от размера колонны и квалификации персонала, модификация действующей колонны может занять от одной до четырех недель.

Так же компания Зульцер произведёт разработку технико-экономического обоснования проекта, компьютерное моделирование колонны, материальный баланс и принципиальную схему процесса, энергетическую оптимизацию процесса, расчет технологического процесса, диагностика колонны, анализ рабочих характеристик, анализ критических параметров, поиск и устранение неисправностей, концепция управления процессом, опытные испытания установки с продуктом при реальных рабочих условиях, планирование и реализация реконструкции установки, помощь в пуске колонн и установок.

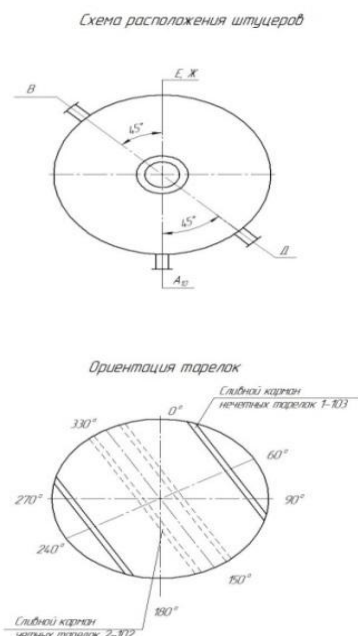
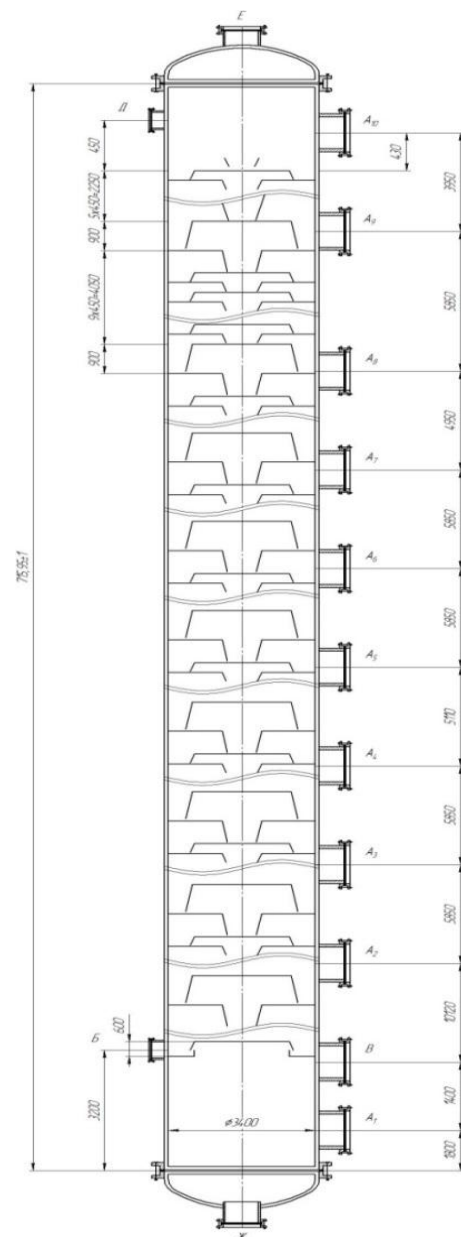


ТАБЛИЦА ШТУЦЕРОВ					
Обозначение	Назначение	Кол.	Ди. мм	P _ц кгс/см ²	Уплотнительная поверхность
A ₁₋₁₀	Лик	10	600	16	шип-паз
B ₁₋₃	Вход продукта	3	250	16	выступ-впадина
B	Вход продукта	1	500	16	выступ-впадина
Г ₁₋₂	Вход продукта	2	600	16	выступ-впадина
Д	Вход продукта	1	200/150	16	выступ-впадина
Е	Выход продукта	1	400	16	выступ-впадина
Ж	Выход продукта	1	350	16	выступ-впадина

ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И ПАРАМЕТРЫ СОСУДА			
Наименование параметров рабочего пространства	Единица измерения	Корпус	
Рабочее давление	МПа (кгс/см ²)	0,6 (6)	
Расчетное давление	МПа (кгс/см ²)	1,0 (10)	
Пробное гидравлическое давление	МПа (кгс/см ²)	1,34 (13,4)	
Расчетная температура стенок	К (°C)	423 (150)	
Наименование рабочей среды	–	ацетонитрил (с ₁ , вод	
Прибавка на коррозию	мм	1,0	
Характеристика рабочей среды	Кл. опасности по ГОСТ 12.1.005-88	–	IV
	Воспламеняемость	–	да
	Взрывоопасность	–	да
	Максимальная температура	К (°C)	413 (140)
	Минимальная температура	К (°C)	402 (129)
	Температура кипения жидкости при давлении 0,7 кгс/см ²	К (°C)	356,7 (83,7)
Срок службы	лет	10	
Число циклов нагружения сосуда за весь срок службы	–	1000	
Емкость	м ³	519,87	
Сейсмичность	балл	5	
Район территории по скоростным напорам ветра	–	III	
Группа сосуда	–	I	
Аппарат подлежит контролю РОСТЕХНАДЗОРА			

Рисунок 4 – Схема расположения штуцеров и ориентации тарелок

2.3 Материальный баланс

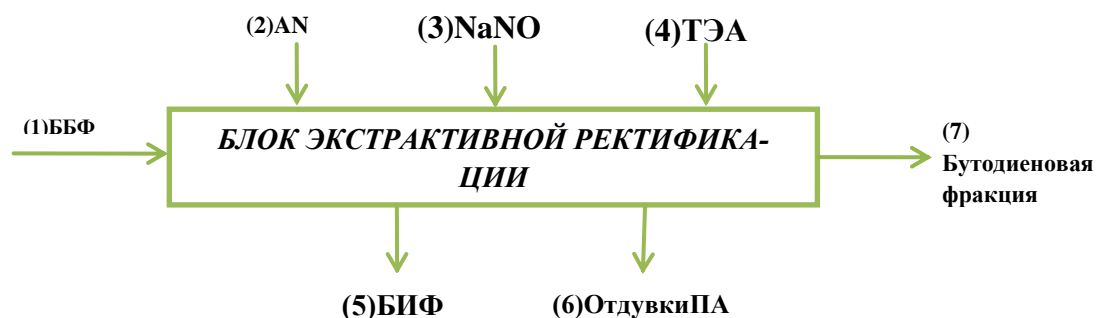


Рисунок 5 - Производство бутадиена из бутилен-бутадиеновой фракции (БДФ)

Расходные нормы на выработку 1 тонны бутадиена из БДФ:

- C₄H₆ (бутадиен)-1070 кг;
- БИФ -1007 кг;
- АН (ацетонитрил) - 2,4 кг;
- ТЭА (Триэтаноламин) - 0,04 кг;
- NaNO₂ (нитрит натрия) - 0,04 кг

Расчёт материального баланса. Благодаря аналитическому контролю нам известно, что БДФ поступает на блок экстрактивной ректификации с концентрацией 42% бутадиена.

Узнаем, сколько кг БДФ понадобится для изготовления 1070 кг бутадиена:

$$X = 1070 \text{ кг} \cdot 100\% / 42,22\% = 2534,34 \text{ кг БДФ}$$

На экстракцию 2534,34 кг нам понадобится ацетонитрила:

$$2,53434 \text{ т} \cdot 2,4 \text{ кг} = 6,08 \text{ кг}$$

Так же в БДФ присутствуют компоненты:

-C ₃ -0,3%	2534,34·0,3%=7,6 кг
-Изобутан-3,6%	2534,34·3,6%=91,24 кг
-Н-Бутан - 7,5%	2534,34·7,5%=190,08 кг
-Изобутилены- 25,4%	2534,34·25,4%=643,82 кг

Н-бутилены- 20,17% $2534,34 \cdot 20,17\% = 511,18$ кг

-Е Ацетиленовых-0,81% $2534,34 \cdot 0,81\% = 20,53$ кг

Так же в ББФ добавляются:

NaNO₂ (нитрит натрия) $2,53434 \cdot 0,04\text{кг} = 0,1$ кг

ТЭА (Триэтаноламин) $2,53434 \cdot 0,04\text{кг} = 0,1$ кг

Итого: $2534 \text{ кг} + 6,08 + 0,1 + 0,1 = 2540,62$

Выход БИФ составляют Изобутилены и Н-бутилены их в ББФ было:

$643,82 \text{ кг} + 511,18 \text{ кг} = 1155 \text{ кг}$

Делим на расходную норму БИФ:

$1155 \text{ кг} / 1007 = 1,14681 \cdot 1000 = 1146,81 \text{ кг}$

Выйдет БИФ с компонентами.

Прибавляем дополнительные компоненты уносимые вместе с БИФ

-Ацетонитрил-0,195% $1146,81 \cdot 0,195\% = 2,24$ кг 1146,81

-Нитрит натрия-0,004% $0,004\% = 0,05$ кг $1146,81 \cdot 0,004\% = 0,05$ кг

-Триэтаноламин-0,004% Сумма=2,34

Тогда Выход БИФ будет $= 2,34 + 1146,81 = 1149,15$

Компоненты БИФ:

-С3 -0,27% $1149,97 \cdot 0,27\% = 3,1$ кг

-Изобутан-5,66% $1149,97 \cdot 5,66\% = 65,04$ кг

-Н-Бутан -16,3% $1149,97 \cdot 16,3\% = 187,31$ кг

-Изобутилены- 41,66% $1149,97 \cdot 41,66\% = 478,74$ кг

-Н-бутилены- 35,84% $1149,97 \cdot 35,84\% = 411,86$ кг

-Бутадиен-0,070% $1149,97 \cdot 0,07\% = 0,8$ кг

В виде отдувок выводятся компоненты:

-С3 -1,512% $2534,34 \cdot 1,512\% = 3,1$ кг

-Изобутан-8,801 % $2534,34 \cdot 8,801\% = 26,19$ кг

-Н-Бутан -0,929% $2534,34 \cdot 0,929\% = 2,76$ кг

-Изобутилены- 44,53% $2534,34 \cdot 44,53\% = 132,53$ кг

-Н-бутилены- 22,384% $2534,34 \cdot 22,384\% = 66,62$ кг

-Бутадиен-23,248% $2534,34 \cdot 23,248\% = 69,19$ кг

-Ацетонитрил-0,491% $2534,34 \cdot 0,491\% = 1,46$ кг

Сумма=2973,62

Выход Бутадиена с компонентами:

-Изобутилены- 2,967% $1149,97 \cdot 2,967\% = 32,46$ кг

-Н-бутилены- 2,989% $1149,97 \cdot 2,989\% = 32,7$ кг

-Бутадиен-91,42% $1149,97 \cdot 91,42\% = 1000$ кг

-D Ацетиленовых -2,0% $1149,97 \cdot 2\% = 20,53$ кг

-Ацетонитрил -0,218% $1149,97 \cdot 0,218\% = 2,38$ кг

-Нитрит натрия-0,005% $1149,97 \cdot 0,005\% = 0,05$ кг

-Триэтаноламин-0,005% $1149,97 \cdot 0,005\% = 0,05$ кг

Итого= $1149,15 + 2973,62 + 1093,85 = 2540,62$

Приход = Расходу.

Потоки, входящие в состав процесса представлены в виде таблицы 5.

Таблица 5 - Потоки, входящие в состав процесса

Балансовые потоки	1		2		3		4		5		6		7	
Компоненты:	кг	%	кг	%	кг	%	кг	%	кг	%	кг	%	кг	%
СЗ	7,60	0,3							3,10	0,270	4,50	1,512		
Изобутан	91,24	3,6							65,04	5,660	26,19	8,801		
Н-бутан	190,08	7,5							187,31	16,300	2,76	0,929		
Изобутилены	643,72	25,4							478,74	41,660	132,53	44,530	32,46	2,967
Н-бутилены	511,18	20,17							411,86	35,840	66,62	22,384	32,70	2,989
Бутадиен	1070,00	42,22							0,80	0,070	69,19	23,248	1000,00	91,420
Σ Ацетиленовых	20,53	0,81											20,53	2,000
Ацетонитрил			6,08	100					2,24	0,195	1,46	0,491	2,38	0,218
Нитрит натрия					0,1	100			0,05	0,004			0,05	0,005
ТЭА							0,1	100	0,05	0,004			0,05	0,005
ИТОГО:	2534,34	100	6,08	100	0,1	100	0,1	100	1149,15	100	297,62	100	1093,85	100

2.4 Внедрение в схему дополнительного аппарата сепаратора

Бутадиеновая фракция на выходе из колонны 218 уносит с собой пары ацетонитрила в количестве примерно 2,38 кг на тонну продукции. Установка сепаратора для отбивки и возврата в схему паров ацетонитрила обеспечит существенную экономию в виде потерь. Отбитый ацетонитрил возвращать в схему - в линию насыщенного углеводородами ацетонитрила в 216 рекуператор.

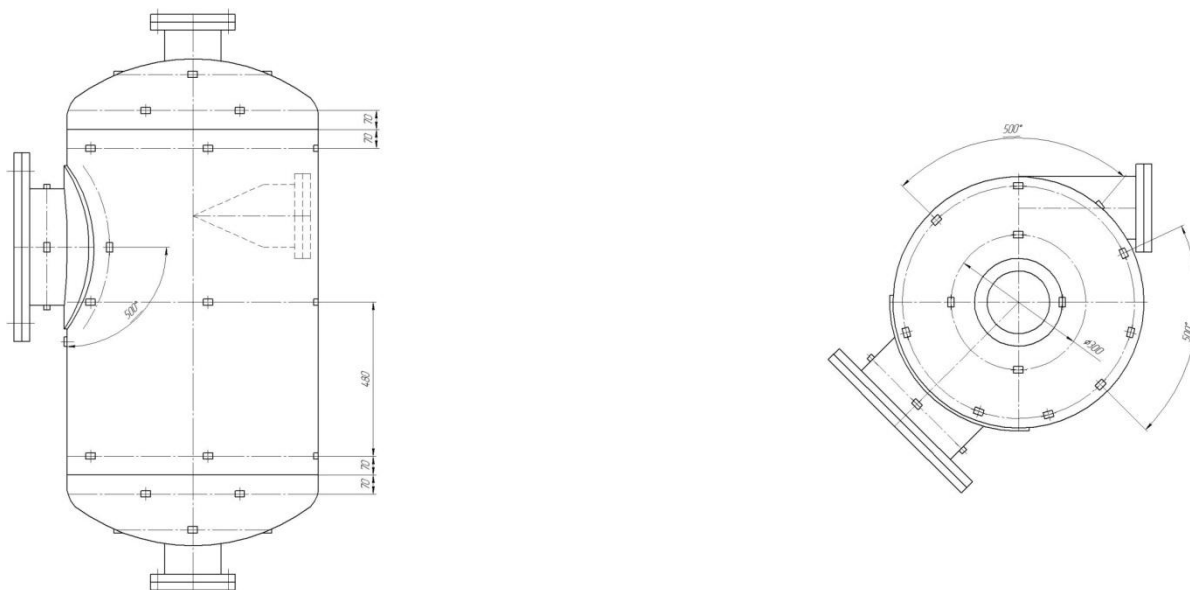


Рисунок 6 – Принципиальная схема сепаратора

2.5 Повышение интенсификации теплообмена 216 рекуператора

Конструкции теплообменных аппаратов в каждом конкретном случае должны обеспечивать оптимальное сочетание тепловой эффективности, малые габариты и массы, повышение эффективности теплообмена, эксплуатационной надёжности и ресурса работы, а так же обеспечение снижения токсичных выбросов в атмосферу при их изготовлении. Создание совершенных конструкций теплообменных аппаратов обуславливает поиск высокоэффективных поверхностей теплообмена путём применения оребренных труб достаточно большой поверхностью теплообмена по сравнению с гладкими цилиндрическими трубами.

Повышение интенсивности теплообмена теплообменных аппаратов может быть достигнуто путём увеличения площади теплообменных поверхностей, контактирующих с теплоносителями, за счёт формирования макрорельефа, имеющего оптимальные геометрические параметры.

В настоящее время в промышленности применяют ряд способов интенсификации теплообмена. Например:

- конструирование шероховатых поверхностей и поверхностей сложной формы;
- использование турбулизирующих вставок в каналах;
- увеличение площадей теплообмена путём оребрения и т.д.

Одним из наиболее широко используемых способов интенсификации теплообмена является оребрение наружной поверхности при условии направления в межтрубное пространство теплоносителя с низким значением коэффициента теплоотдачи.

Повышение эффективности теплообмена включает в себя следующие, аспекты: совершенствование технологии изготовления теплообменной поверхности с использованием технологии изготовления теплообменной поверхности с использованием новых методов обработки, например, метода деформирующего резания для оребрения теплообменных труб; увеличение компактности за счёт применения змеевиковых теплообменных поверхностей и оптимизация конструкций теплообменных аппаратов. Оребрение труб методом деформирующего резания является перспективным способом создания эффективных теплообменных аппаратов [27].

Метод оребрения основан на подрезании и отгибке слоёв поверхностного слоя металла обрабатываемой детали. Метод реализуется при использовании обычного металлорежущего оборудования и является безотходным. В отличие от обычного резания целью обработки методом деформирующего резания становится получение заданной формы, точности и качества.

Инструмент для деформирующего резания имеет геометрические формы, исключающей разрушения припуска по линии проекции вспомогатель-

ной кромки. Подрезание материала поверхностного слоя осуществляется главной режущей “кромкой”, а последующая деформация подрезанного слоя - передней поверхностью инструмента. Вспомогательная кромка инструмента, на которой процесс резания невозможен, определяет окончательное положение подрезанного слоя на заготовке.

Управление всеми геометрическими параметрами получаемого макро-рельефа осуществляется путём выбора геометрических параметров инструмента и режимом деформирующего резания. Изменение шага оребрения осуществляется выбором величины подачи инструмента на один оборот заготовки S_0 , управление толщиной ребра (a) - выбором главного угла инструмента. Высота рёбер h - выбором глубины резания при выбранном ранее главном угле инструмента.

Оребрение труб производится на обычном токарно - винторезном станке с использованием специально заточенного инструмента и дополнительной оснастки. Использование токарных станков позволяет легко перенастраиваться для получения разных параметров.

Внутренний диаметр трубы после получения на ней рёбер методом деформирующего резания не изменяется. Наружный диаметр оребрённой трубы больше исходного на величину, равную высоте полученных рёбер. Труба после обработки удлиняется не более чем на 1 %. Чем пластичнее материал трубной заготовки, тем шире возможности метода деформирующего резания.

Производительность станка при оребрении зависит от шага оребрения и составляет 4 м трубы в минуту при шаге 0,7 мм. Для теплообменных аппаратов использующих оребрение на длинномерных трубах диаметром 12, 16 и 20 мм и длиной 3 и 4 м, с регулированием шага от 0,4 до 2,5 мм, при высоте рёбер до 3 мм[27].

В результате проведения экспериментов подтверждены теоретические предпосылки повышения эффективности теплообмена в системах охлаждения с теплообменными аппаратами, элементы которых изготовлены выше описанным способом.

2.5.1 Зависимость параметров теплообмена от оребрения

Графики зависимости параметров теплообменных аппаратов от шага оребрения и от изменения высоты рёбер получены экспериментально на примере теплообменного аппарата “вода - масло” (рис.7-10) [27].

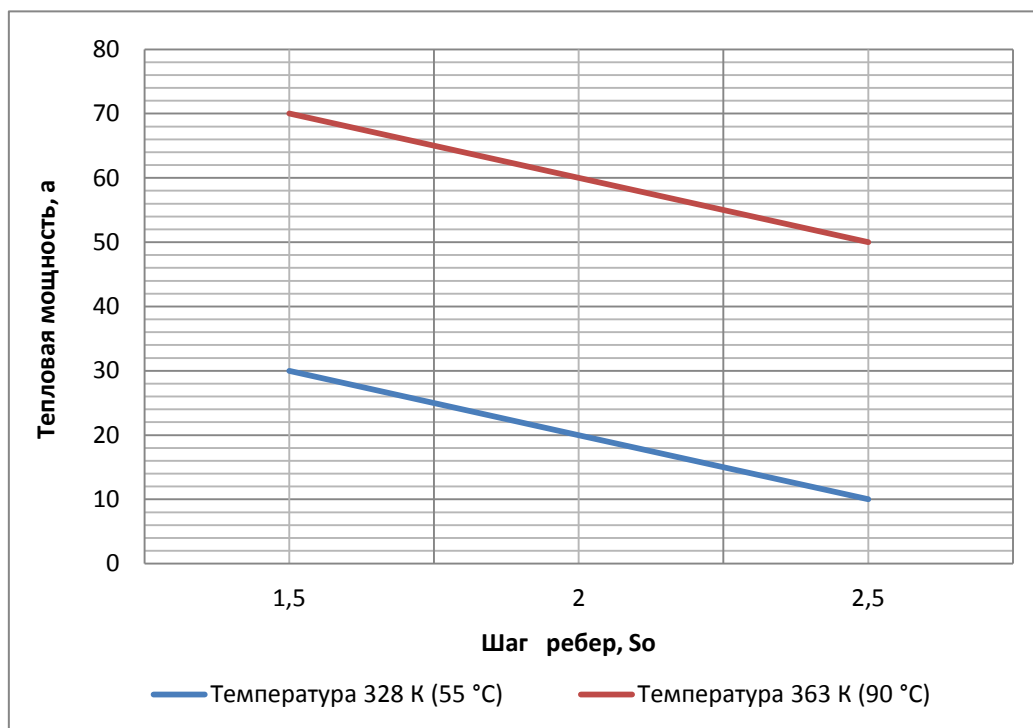


Рисунок 7 – График зависимости снимаемого с теплообменного аппарата тепловой мощности от шага рёбер и температуры охлаждающей среды (“вода - масло”)

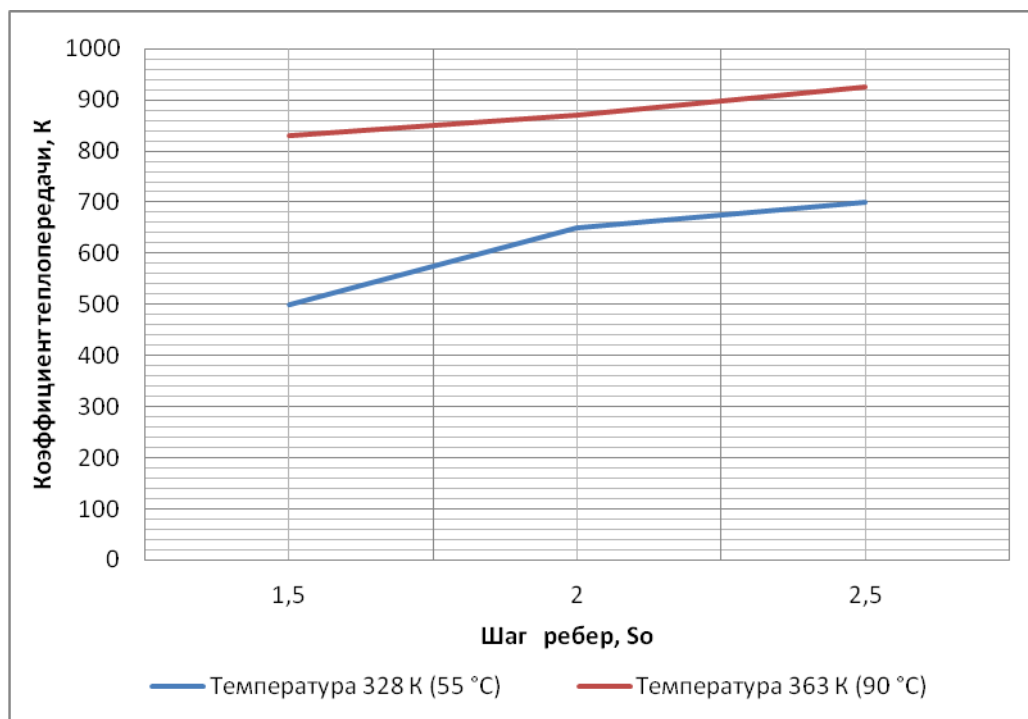


Рисунок 8 – График зависимости коэффициента теплопередачи от шага рёбер и температуры охлаждающей среды (“вода - масло”)

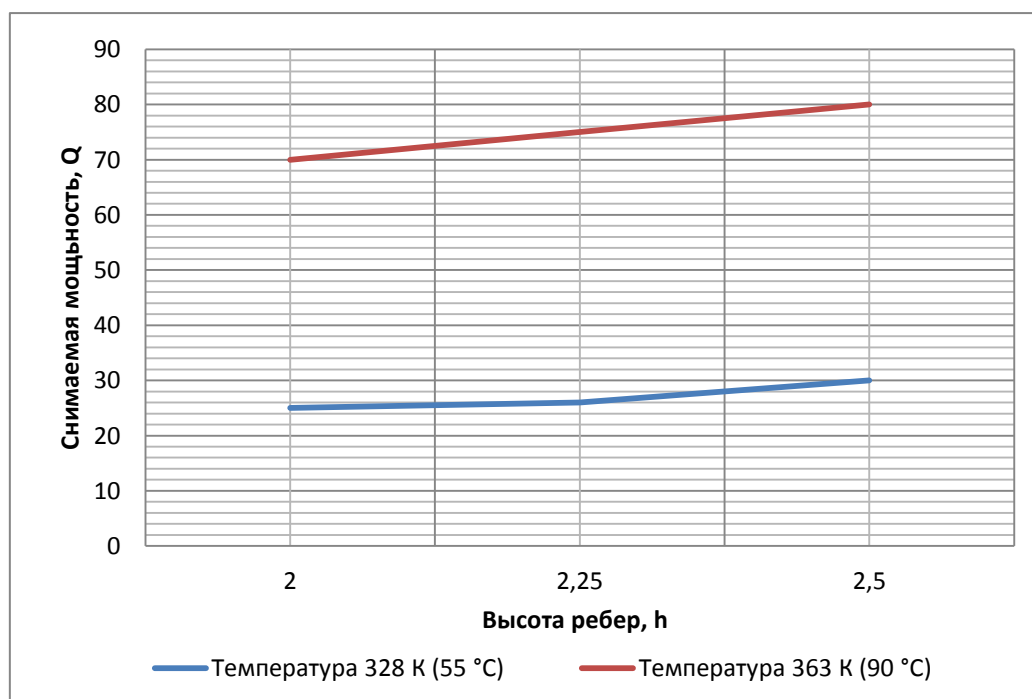


Рисунок 9 – График зависимости снимаемой с теплообменного аппарата мощности от шага рёбер

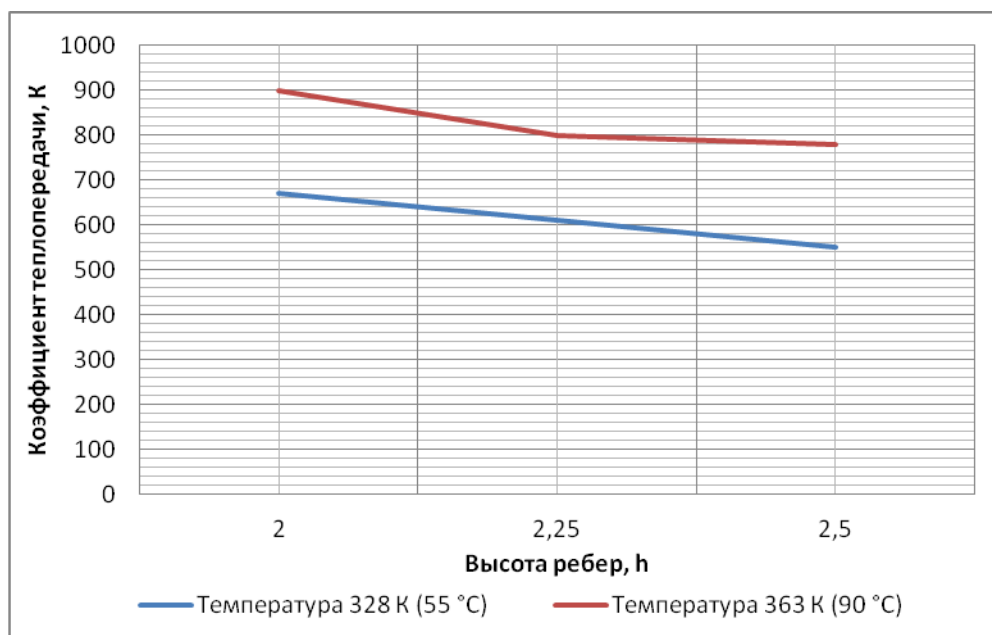


Рисунок 10 – График зависимости коэффициента теплопередачи от высоты рёбер и температуры

В процессе экспериментальных исследований установлено, что оребрение сформированное методом деформирующего резания на трубах, позволяет их гибку с радиусом изгиба не меньшим, чем для гладкой трубы, поскольку часто расположенные рёбра выполняют функцию элементов жёсткости. Эта особенность позволяет навить малогабаритные змеевики любого диаметра, а на их основе разрабатывать малогабаритные конструкции теплообменных аппаратов [26].

Исследования по повышению эффективности теплообмена позволили установить, что змеевиковые теплообменные аппараты из оребренных труб имеют тепловую эффективность на 28...40 % выше чем аналогичные теплообменные аппараты, выполненные из труб оребренных традиционным способом (например, накаткой, проволочное и т. д.) при этом поверхность теплопередачи, отнесённая к одному метру змеевика составляет 0,3...0,5 м²/м, в то время как у теплообменных аппаратов общепринятого назначения эта величина находится в пределах 0,09...0,13 м²/м.

Теплообменные аппараты змеевикового типа из оребренных труб технологичны в изготовлении, эффективны в работе. Промышленное внедрение их позволило существенно повысить надёжность и эффективность техноло-

гического оборудования и полностью отказаться от закупок подобных теплообменных аппаратов за рубежом

2.6 Тепловой расчёт

Исходные данные:

1. Температура десорбированного ацетонитрила t_d , °C 142.
2. Расход десорбированного ацетонитрила G_d , кг/ч 130000.
3. Расход насыщенного ацетонитрила G_n , кг/ч 5000.
4. Температура насыщенного ацетонитрила на входе t'_n , °C 74.
5. Температура насыщенного ацетонитрила на выходе t''_n , °C 85.
6. Диаметр трубок d_n/d_v , мм 30/25.

Принимаем:

$$\omega_b = 2 \text{ м/с}$$

Тепловой расчет подогревателя:

Средний температурный напор:

$$\Delta t_H = \frac{t''_n - t'_n}{\ln \frac{t_d - t'_n}{t_d - t''_n}} \quad (1)$$

$$\Delta t_H = \frac{85 - 74}{\ln \frac{142 - 74}{142 - 85}} = 65,93^\circ\text{C}$$

Средняя температура насыщенного ацетонитрила:

$$\Delta t_H = t_d - \Delta t, \quad (2)$$

$$\Delta t_{cp} = \Delta t_6 + \Delta t_m / 2 = 53;$$

$$\Delta t_6 = t''_1 - t'_2 = 124 - 74 = 50;$$

$$\Delta t_m = t'_1 - t''_2 = 142 - 85 = 57,$$

$$\Delta t_H = 142 - 65,93 = 76,07^\circ\text{C}$$

Параметры для насыщенного ацетонитрила 76°C

$$C_n = 2,22 \text{ КДж/К} \cdot \text{кг},$$

$$\lambda = 0,16 \text{ Вт/К} \cdot \text{м},$$

$$\mu = 3,06 \cdot 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{с},$$

$$\rho_H = 780,0 \text{ кг/м}^3.$$

Параметры для десорбированного ацетонитрила 142°C

$$Cd = 2,6 \text{ КДж/К} \cdot \text{кг},$$

$$\lambda = 0,18 \text{ Вт/К} \cdot \text{м},$$

$$\mu = 2,96 \cdot 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{с},$$

$$\rho_d = 798,8 \text{ кг/м}^3.$$

Тепловая нагрузка:

Насыщенного растворителя:

$$Q = G_H \cdot c_H \cdot (t''_H - t'_H), \quad (3)$$

$$Q = 5000 \cdot 2,22 \cdot 6 = 66700 \text{ ккал/ч};$$

Десорбированного ацетонитрила:

$$Q = G_d \cdot c \cdot (t''_d - t'_d) \cdot n_n, \quad (4)$$

где n_n коэффициент, учитывающий полезное использование тепла в аппарате. Для теплообменника потери тепла в окружающую среду не велики, поэтому значение принимается равным 0,98.

$$Q = 130000 \cdot 2,68 \cdot 18 \cdot 0,98 = 6145776 \text{ ккал/ч}.$$

Число Прандтля насыщенного ацетонитрила:

$$Pr_H = \rho_H \cdot \mu_H \frac{c_H}{\lambda_H}, \quad (5)$$

$$Pr_H = 780 \cdot 3,06 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{222}{0,16} = 3,311$$

Число Рейнольдса насыщенного ацетонитрила:

$$Re_B = \omega_B \cdot \frac{d_{BH}}{\mu_B}, \quad (6)$$

$$Re_B = 2 \cdot \frac{0,025}{3,06 \cdot 10^{-6}} = 16129,032$$

Коэффициент теплоотдачи к насыщенному ацетонитрила:

$$\alpha_H = 0,023 \cdot \frac{\lambda_H}{d_{BH}} \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,4}, \quad (7)$$

$$\alpha_H = 0,023 \cdot \frac{0,16}{0,025} \cdot 16129,032^{0,8} \cdot 3,311^{0,4} = 550,528 \text{ ккал/м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C}$$

Аналогично для десорбированного ацетонитрила.

Число Прандтля десорбированного ацетонитрила:

$$Prd = \rho d \cdot \mu d \cdot \frac{cd}{\lambda d}, \quad (8)$$

$$Prd = 798,8 \cdot 2,96 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{268}{0,18} = 3,52,$$

Число Рейнольдса десорбированного ацетонитрила

$$Re_B = \omega_B \cdot \frac{d_{BH}}{\mu_B}, \quad (9)$$

$$Re_B = 2 \cdot \frac{0,025}{2,96 \cdot 10^{-6}} = 17241,38$$

$$\alpha d = 0,023 \cdot \frac{\lambda_H}{d_{BH}} \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,4}, \quad (10)$$

$$\alpha d = 0,023 \cdot \frac{0,18}{0,025} \cdot 17241,38^{0,8} \cdot 3,52^{0,4} = 669,5 \text{ ккал/м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C}$$

Определяем коэффициент теплопередачи. Так как отношение наружно-го диаметра труб к внутреннему $d_H/d_B < 2$, $30/25=1,2$; $1,2 < 2$, то можно для определения коэффициента теплопередачи используем формулу для плоской стенки:

$$K_0 = 1/(1/a_H + \delta/\lambda + 1/a_d), \quad (11)$$

$$K_0 = 1/(1/550,528 + 0,002/39 + 1/669,5) = 303,03 \text{ ккал/м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C}$$

Толщина стенки $\delta_{CT} = 0,5(d_B - d_H) = 0,5(0,022 - 0,018) = 0,002 \text{ м}$.

Коэффициент теплопроводности $\lambda_{CT} = 39 \text{ ккал/м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C}$.

K_0 — коэффициент для чистой стенки, для определения коэффициента теплопередачи учитывая загрязнения $K_0 = 303,03 \cdot 0,95 \text{ ккал/м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C}$

Определяем поверхность теплообмена:

$$F = Q/(K \Delta t_{cp}), \quad (12)$$

$$F = 6212476/287,87 \cdot 56 = 385 \text{ м}^2$$

Определение температур стенки со стороны более горячей рабочей среды:

$$t'_w = t_1 - K/a_1 \cdot \Delta t_{cp}, \quad (13)$$

$$t'_w = 142 - 287,87/669,5 \cdot 56 = 118 ^\circ\text{C}$$

Определение температур стенки со стороны нагреваемой рабочей среды:

$$t''_w = t_2 - K/a_2 \cdot \Delta t_{cp}, \quad (14)$$

$$t''_w = 74 - 287,87/550,528 \cdot 56 = 45 \text{ }^\circ\text{C}$$

Определяем мощность [14]:

$$Q = F \cdot \Delta t_{cp} \cdot K, \quad (15)$$

$$Q = 385 \cdot 56 \cdot 287,87 = 6206477,2 \text{ ккал/ч}$$

Расчёт экономии при замене кожухотрубного на змеевиковый теплообменный аппарат

Расчет кипятильника № 222:

Для нагрева 120000 кг/час ацетонитрила от $t_{H2} = 90^\circ\text{C}$ до $t_{K2} = 140^\circ\text{C}$ увлажненным паром с $t_{H1} = 175^\circ\text{C}$ до $t_{K1} = 100^\circ\text{C}$.

Тепловая нагрузка на кипятильник № 222 составит:

$$Q_1 = 1,05 \cdot G_2 \cdot C_2 \cdot (t_{K2} - t_{H1}), \quad (16)$$

где 1,05-коэффициент, учитывающий потери в окружающую среду;

$G_2=120000$ кг/час= кг/сек - расход ацетонитрила;

$C_2=2,16$ кДж/кг К - теплоемкость ацетонитрила.

$$Q_1 = 1,05 \cdot 333,33 \cdot 2,16 \cdot 140 - 90 = 377999,622 \text{ кВт} = 32,51 \text{ Гкал/час}, \\ \text{кВт}=0,86 \times 10^{-3} \text{ Гкал/час}$$

Существующий рекуператор № 216 обогревает среднюю часть К-218, где t_1 -температура на выходе из рекуператора № 216 $=78,8^\circ\text{C}$, t_2 - температура на входе из рекуператора № 216 $=74,3^\circ\text{C}$

$$\Delta t = t_1 - t_2, \quad (17)$$

$$\Delta t = 78,8 - 74,3 = 4,5^\circ\text{C}$$

$$140^\circ\text{C} - 4,5^\circ\text{C} = 135,5^\circ\text{C}$$

Тепловая нагрузка на кипятильник № 222 при работе рекуператора составит:

$$Q_2 = 1,05 \cdot 333,33 \cdot 2,16 \cdot (135,5 - 90) = 34394,56 \text{ кВт} = 29,58 \text{ Гкал/час}$$

Экономический эффект составлял:

$$Q_3 = Q_1 - Q_2 t_2, \quad (18)$$

$$Q_3 = 32,51 - 28,58 = 3,93 \text{ Гкал/час}$$

При работе рекуператора змеевикового типа с оребрѐнной поверхностью труб.

Учитывая сказанное выше, эффективность змеевиковых теплообменников выше кожухотрубных. При пересчёте на минимальное значение в 10% увеличения эффективности теплосъёма рассчитаем экономию пара.

t_1 -температура на выходе в рекуператора № 216 =85°C,

t_2 - температура на входе из рекуператора № 216 =74°C.

$$\Delta t = t_1 - t_2, \quad (19)$$

$$\Delta t = 85 - 74 = 11^\circ\text{C}$$

$$140^\circ\text{C} - 11^\circ\text{C} = 129^\circ\text{C}$$

Тепловая нагрузка на кипятильник № 222 при работе змеевикового рекуператора с оребрѐнной поверхностью труб составит:

$$Q_2 = 1,05 \cdot 333,33 \cdot 2,16 \cdot (129 - 90) = 29483,7 \text{ кВт} = 25,35 \text{ Гкал/час}$$

Экономический эффект составляет:

$$Q_3 = Q_1 - Q_2, \quad (20)$$

$$Q_3 = 32,51 - 25,35 = 7,16 \text{ Гкал/час}$$

Стоимость пара = 798,66 руб.

Экономический эффект равен $16 \cdot 798,66 \cdot 24 \text{ час} \cdot 345 \text{ дней} = 47348398,04 \text{ руб/год}$.

2.7 Технико-экономическое обоснование предлагаемого оборудования

Таблица 4 - Краткая характеристика сравниваемых вариантов

Базовый вариант	Проектный вариант
Базовый вариант блока экстрактивной ректификации, представляет собой установку выделения бутадиена из БДФ с производительностью 176880 т/год. Процент отходности по готовому продукту составляет 1%.	Модернизация блока экстрактивной ректификации предусматривает внедрение дополнительного аппарата сепаратора, замену массообменных сетчатых тарелок на тарелки фирмы «Зульцер», замену 216кожухотрубного теплообменника назмеевиковый. В результате увеличится качество продукта, а так же обеспечится существенная экономия в виде расхода пара, что существенно снизит себестоимость. Внедрение узла предусматривает капитальные вложения.

Расчёт годовой производственной мощности:

$$M = T_{\text{эф}} \cdot Q_{\text{час}}, \quad (21)$$

где M - годовая производительность, т/год;

T_{эф} - эффективное время работы оборудования, ч;

Q_{час} - часовая производительность установки, т/ч.

Годовая производительность составит:

$$M = 22 \cdot 8040 = 176880 \text{ т/год.}$$

Время работы установки исходит из технологии работы оборудования.

Таблица 5 - Основные показатели по проекту

№	Показатели	Проект	Ед. изм
1	Календарная продолжительность года	365	сут
2	Простои оборудования по графику ПНР	30	сут
3	Эффективное время работы оборудования	335	сут
4	Эффективное время работы оборудования	8040	ч
5	Часовая производительность оборудования	22	т/ч
6	Годовая мощность производства	176880	т/год

Ввиду характера работы — как научно-исследовательская проработка поставленной задачи, и отсутствие на рынке установок разрабатываемого типа сравнение с базовым вариантом не представляется возможным.

Капитальные затраты на модернизацию блока экстрактивной ректификации составляют:

- сепаратор: 400 000 руб.
- массообменные тарелки “Зульцер”: 1030000 руб .
- теплообменник змеевиковый с оребрѐнной поверхностью труб: 600 000руб.
- арматура - $20\% \cdot 1000\ 000 = 200\ 000$ руб.
- трубопроводы - $10\% \cdot 1000\ 000 = 100\ 000$ руб .
- КИП - $20\% \cdot 1000\ 000 = 200\ 000$ руб.
- фундамент под оборудование и металлоконструкции - 100 000 руб.

Итого: 2 530 000 руб.

Монтаж оборудования составляет 20% от общих затрат - 506 000 руб. Капитальные затраты составляют: $2\ 530\ 000 + 506\ 000 = 3\ 036\ 000$ руб. Ежегодные отчисления на амортизацию оборудования установки составляют 10 % от её стоимости и равны 303 600 руб.

Организация производства. График сменности

Таблица 6 - График сменности

Дни	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
№ смены	АБ	ВА	ГВ	БГ	АБ	ВА	ГВ	БГ	АБ	ВА	ГВ	БГ
Дни	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
№ смены	АБ	ВА	ГВ	БГ	АБ	ВА	ГВ	БГ	АБ	ВА	ГВ	БГ
Дни	25	26	27	28	29	30	31					
№ смены	АБ	ВА	ГВ	БГ	АБ	ВА	ГВ					

Для обеспечения непрерывной производственной работы установки при 12-и часовом рабочем дне необходимо соблюдать 4-х сменный график работы, при котором работа организована 4-я бригадами, по 2 бригады в сут-

ки.

При 4-х бригадном графике работы в течение календарного месяца количество отработанных смен и выходных:

Таблица 7 - Количество отработанных смен и выходных

Номер смены	Количество отработанных смен	Количество выходных дней
А	16 смен	15
Б	15 смен	16
В	15 смен	16
Г	16 смен	15
Итого	32 смены	

Номинальное время работы при непрерывном 12-ти часовом графике составляет:

$$T_{\text{ном}} = \frac{T_{\text{год}}}{2}, \quad (22)$$

$$T_{\text{ном}} = 365 / 2 = 183 \text{ сут}$$

Номинальное время работы в год при 5-дневной рабочей неделе составляет:

$$T_{\text{ном}} = T_{\text{год}} - (T_{\text{вых}} + T_{\text{праз}}), \quad (23)$$

где $T_{\text{год}}$ - среднее число дней в году (365);

$T_{\text{вых}}$ - число выходных дней в году, 104 дн;

$T_{\text{праз}}$ - число праздничных дней в году, 12 дн.

$$T_{\text{ном}} = 365 - 104 - 12 = 249 \text{ дн.}$$

Фактическое время работы в год определяется по формуле:

$$T_{\text{факт}} = T_{\text{ном}} - T_{\text{отп}} + T_{\text{учен}} + T_{\text{болн}} + T_{\text{выш гос об}}, \quad (24)$$

где $T_{\text{отп}}$ - число календарных дней, предоставляемых в отпуск;

$T_{\text{учен.}}$ - число дней, выделяемых на обязательную ежегодную проверку знаний по технике безопасности; $T_{\text{выш-гособ}}$ - планируемое число дней, выделяемых на выполнение государственных обязанностей;

$T_{\text{болн.}}$ - планируемое число дней в году по временной нетру-

доспособности.

При скользящем графике работы фактическое время работы в год составит:

$$T_{\text{факт}} = 183 - 28 - 1 - 7 - 1 = 146 \text{ дн}$$

При 5-дневной рабочей неделе фактическое время работы в год составляет:

$$T_{\text{факт}} = T_{\text{ном}} - (T_{\text{отп}} + T_{\text{учен}} + T_{\text{болн}} + T_{\text{вып. гос. об}}), \quad (25)$$

$$T_{\text{факт}} = 249 - 31 - 1 - 7 - 1 = 208 \text{ дн}$$

Таблица 8 - Баланс рабочего времени одного рабочего

Календарный фонд рабочего времени		При непрерывном графике	При пятидневной рабочей недели
		365	365
Не рабочие дни	Выходные	182	104
	Праздничные		12
Номинальное время работы		183	261
Планируемые не-выходы на работу	Очередной дополнительный отпуск	28	31
	Ученический отпуск	1	1
	Невыходы по болезни	7	7
	Выполнение гос. обязанностей	1	1
Фактическое время работы	дней	146	208
	часов	1752	1664

Расчёт штата рабочих

Списочная численность рабочих определяется с учетом подмены:

$$Ч_{\text{сп}} = K \cdot Ч_{\text{яв}}, \quad (26)$$

где $Ч_{\text{яв}}$. — явочная численность рабочих в сутки;

K - коэффициент подмены.

$$K = T_{\text{ном}}/T_{\text{фжг}}, \quad (27)$$

$$K = 183 / 146 = 1,25$$

Таблица 9 - Расчет численности рабочих

Наименование профессий основных рабочих	Кол-во смен по графику при 12 ч раб. дне.	Разряд	Явоч. число раб.		Коэф. подмены 1	Списочная численность
			смену	всего сменных рабочих		
1 .Оператор установки	4	VI	1	4	1,25	5
2 Аппаратчик установки	4	VI	1	4	1,25	5
3 Дежурный слесарь КИПиА	4	VI	1	4	1,25	5
4. Дежурный слесарь по ремонту оборудо-	4	VI	1	4	1,25	5
5. Дежурный электрик	4	VI	1	4	1,25	5
Итого:			5	20		25

Численность ИТР. Из инженерно-технических работников (ИТР) в дальнейших расчетах учитываются только мастера смен. Остальные ИТР определяются организационной структурой управления в целом всего предприятия, входят в его штат и в расчете заработной платы не учитываются.

Таблица 10 – Численность ИТР установки

Наименование должностей	Кол-во штатных единиц, чел	Должностной оклад, руб	График работы
Мастер смены	4	25000	12 ч в смену по графику

Расчет годового фонда заработной платы рабочих. Тарифная ставка рабочего:

$$T_{\text{стбраз.}} = 37,52 \text{ руб. /ч.}$$

Заработная плата по тарифу:

$$Z_{\text{тар}} = T_{\text{ст}} \cdot T_{\text{факт}} \cdot Ч, \quad (28)$$

где $Z_{тар}$ - заработная плата по тарифу, руб.;

$T_{ст}$ - часовая тарифная ставка, руб.;

$Ч$ - списочная численность рабочих, чел.;

$T_{факт}$ - фактическое время работы одного рабочего, ч.

$$Z_{тар} = 37,52 \cdot 1752 \cdot 25 = 1\,643\,376 \text{ руб}$$

Расчет премии:

$$Z_{прем} = Z_{тар} \cdot P, \quad (29)$$

где P - размер премии по премиальному положению ($P = 25\%$).

$$Z_{прем} = 1\,643\,376 \cdot 0,25 = 410\,844 \text{ руб}$$

Доплата за работу в праздничные дни:

$$Z_{празд} = T_{ст.браз} \cdot C_{см} \cdot P_{см} \cdot T_{празд} \cdot P_{раб.см}, \quad (30)$$

где $C_{см}$ - продолжительность смены, ч.;

$P_{см}$ - число смен в сутки;

$T_{празд}$ - число праздничных дней в году, дн.;

$P_{раб.см}$ - явочная численность рабочих в смену.

$$Z_{празд} = 37,52 \cdot 12 \cdot 2 \cdot 12 \cdot 5 = 54\,028,8 \text{ руб.}$$

Доплата за работу в ночное время:

$$Z_{н.в} = Z_{тар} \cdot 1/3 \cdot P_{в.н}, \quad (31)$$

где: $1/3$ - часть суток, приходящаяся на ночное время;

$P_{в.н}$ - размер доплаты за работу в ночное время, 40 %.

$$1\,643\,376 \cdot 1/3 \cdot 0,4 = 219\,116,8 \text{ руб}$$

Доплаты за работу в вечернее и ночное время оплачивается в соответствии с разъяснением «О порядке применения доплат и предоставления очередных отпусков в вечернюю и ночную смену», утвержденном постановлением Госкомтруда СССР и ВЦСПС от 7 мая 1987 г. № 294/14-38.

Основной фонд заработной платы:

$$Z_{осн} = Z_{тар} + Z_{прем} + Z_{празд} + Z_{н.в}, \quad (32)$$

$$Z_{осн} = 1\,643\,376 + 410\,844 + 54\,028,8 + 219\,116,8 = 2\,327\,365,6 \text{ руб.}$$

Оплата дней отпуска:

$$Z_{отп} = Z_{осн} \cdot T_{отп}/T_{факт}, \quad (33)$$

где Тотп - продолжительность отпуска, дн.;

Тфакт - фактическое время.

$$Зотп = 2\,327\,365,6 \cdot 28/146 = 446\,344 \text{ руб.}$$

Оплата ученических отпусков:

$$Зуч = Зост \cdot Туч, \quad (34)$$

где Туч - продолжительность обучения (проверки знаний), дн.

$$Зуч = 2\,327\,365,6 / 146 \cdot 1 = 15\,940,9 \text{ руб}$$

Оплата выполнения государственных обязанностей:

$$Згос = Зосн \cdot Тгос/Тфакт, \quad (35)$$

где Тгос - планируемое время выполнения гос. обязанностей.

$$Згос = 2\,327\,365,6/146 \cdot 1 = 15\,940,9 \text{ руб.}$$

Дополнительный фонд заработной платы:

$$Здоп = Зотп + Зуч + Згос, \quad (36)$$

$$Здоп = 446\,344 + 15\,940,9 + 15\,940,9 = 463\,875,8 \text{ руб}$$

Расчет размера оплаты по временной нетрудоспособности определяется согласно федеральному закону № 255-ФЗ/2005 «Об обеспечении пособиями по временной нетрудоспособности...» через среднедневную заработную плату, умноженную на количество дней временной нетрудоспособности:

$$Збол = Зосн/365 \cdot Р \text{ бол}, \quad (37)$$

$$Збол = 2\,327\,365,6/365 \cdot 7 = 44\,634,4 \text{ руб}$$

Оплата по временной нетрудоспособности осуществляется из фонда социального страхования. [24]

Годовой фонд заработной платы:

$$Згод = Зосн + Здоп, \quad (38)$$

где Згод - годовой фонд заработной платы, руб.;

Здоп. - дополнительный фонд заработной платы, руб.;

Зосн - основной фонд заработной платы, руб.

$$Згод = 2\,327\,365,6 + 463\,875,8 = 2\,791\,241,4 \text{ руб}$$

Отчисления на единый социальный налог:

$$ЕСН = З_{год} \cdot О, \quad (39)$$

где О - единый социальный налог, 26 %.

$$ЕСН = 2\,791\,241,4 \cdot 0,26 = 725\,722,7 \text{ руб}$$

Таблица 11 - Фонд заработной платы рабочих

Основной фонд зарплаты	Годовой фонд зар- платы	Дополнительная зарплата	Отчисления на ЕСН
2 327 365,6	2 791 241,4	463 875,8	725 722 ,7

Годовая заработная плата ИТР:

$$З_{зарп} = З_{окл} \cdot 11 \cdot И_{итр}, \quad (40)$$

где З_{зарп} - годовая заработная плата (по окладу), руб.;

З_{окл} - оклад, руб.;

И_{итр} - численность мастеров смены, 4 чел.;

11 - число рабочих месяцев в году.

$$З_{зарп} = 25000 \cdot 11 \cdot 4 = 1100000 \text{ руб}$$

Премияльные выплаты согласно премиальному положению для ИТР начисляются в процентном отношении от зарплаты (Р = 40%).

$$З_{прем} = З_{зарп} \cdot Р \quad (41)$$

$$З_{прем} = 1\,100\,000 \cdot 0,4 = 440\,000 \text{ руб}$$

Доплата за работу в праздничные дни:

Доплата за праздничные дни определяется путем умножения часовой оплаты на количество дней праздников (12 дн) и на продолжительность смены (12 ч):

$$З_{празд} = (З_{окл} / 180) \cdot С_{см} \cdot Т_{цпразд} \cdot Р_{раб.см}, \quad (42)$$

где С_{см} - продолжительность смены, 12 ч;

Т_{празд} - число праздничных дней в году, 12;

Р_{раб.см} - явочная численность ИТР в смену, 4 чел;

180 - количество рабочих часов в месяц для ИТР (15 смен · 12 ч = 180) ч.

$$З_{празд} = (25000 / 180) \cdot 12 \cdot 12 \cdot 4 = 80\,000 \text{ руб.}$$

Доплата за работу в ночное время:

$$Зн. в = Ззар \cdot 1/3 \cdot Рв. н. \quad (43)$$

где 1/3 - часть суток, приходящаяся на ночное время;

Рв.н - размер доплаты за работу в ночное время, 60 %.

$$Зн. в = 1\,100\,000 \cdot 1/3 \cdot 0,6 = 220\,000 \text{ руб}$$

Основной фонд заработной платы:

$$Зосн = Ззар + Зпрем + Зпразд + Зн. в., \quad (44)$$

где Ззарп- годовая заработная плата по окладу, руб.;

Зпрем - размер премии;

Зпразд - доплата за работы в праздничные дни;

Зн.в - доплата за работы в ночное время.

$$Зосн = 1\,100\,000 + 440\,000 + 80\,000 + 220\,000 = 1\,840\,000 \text{ руб}$$

Дополнительный фонд заработной платы:

$$Здоп = Зотп + Згос, \quad (45)$$

Оплата за отпуск и гос. обязанности рассчитывается из расчета средней заработной платы по году:

$$Зотп = Зосн \cdot Тотп/Тфакт, \quad (46)$$

$$Зотп = 1\,840\,000 / 146 \cdot 28 = 352\,876,7 \text{ руб}$$

$$Згос = Зосн \cdot Тгос/Тфакт, \quad (47)$$

$$Згос = 1\,840\,000 / 146 \cdot 1 = 12\,602,7 \text{ руб}$$

$$Здоп = 352\,876,7 + 12\,602,7 = 365\,479,4 \text{ руб}$$

Расчет годового фонда заработной платы ИТР:

$$Згод = Зосн + Здоп, \quad (48)$$

$$Згод = 1\,840\,000 + 365\,479,4 = 2\,205\,479,4 \text{ руб}$$

Отчисления на единый социальный налог:

$$ЕСН = Згод \cdot О, \quad (49)$$

где О - единый социальный налог, 26 %.

$$ЕСН = 2\,205\,479,4 \cdot 0,26 = 573\,424,6 \text{ руб}$$

Таблица 12 - Отчисления на ЕСН

Основной фонд зарплаты	Годовой фонд зар- платы	Дополнительная зарплата	Отчисления на ЕСН
1 100 000	205 479,4	365 479,4	573 424,6

После модернизации режим работы цеха, график сменности, штатные рабочие, численность руководителей, специалистов и служащих цеха, их фонд заработной платы в дипломном проекте остается таким же, как и был на производстве по базовому варианту. Т.е. количество всех рабочих и служащих остается прежним. Фонд заработной платы рабочих не изменятся, значит, финансово на внедрение нового оборудования не повлияет.

Расчёт экономической эффективности проектного решения Экономический эффект

1) При замене кожухотрубного теплообменника на змеевиковый с оребренной поверхностью:

$$= 7,16 \cdot 798,66 \cdot 24 \text{ час} \cdot 345 \text{ дней} = 1907633,1 \text{ руб/год, где}$$

7,16 Гкал/час - экономия пара при работе со змеевиковым теплообменником;

$$798,66 - \text{стоимость 1 Гкал/час пара}$$

2) При установке сепаратора. Согласно материальному балансу при производстве тонны бутадиена вместе с его парами улетает 2,38 кг растворителя: В среднем в сутки изготавливают 240 т/ч:

$$240 \cdot 2,38 = 571,2 \text{ кг}$$

Для выпарки его из бутадиеновой фракции понадобится на 0,1 Гкал/час. Меньше:

$$= 0,1 \cdot 798,66 \cdot 24 \text{ час} \cdot 345 \text{ дней} = 661290 \text{ руб/год}$$

3) При замене тарелок повысится качество сырья, что укрепит место на рынке, на стоимость это не повлияет.

$$\text{Итого экономический эффект: } 1907633,1 + 661290 = 2568923,1 \text{ руб/год}$$

$$3036000 - \text{затраты на модернизацию} + 303\,600 \text{ на ежегодные отчисле-}$$

ния на амортизацию оборудования установки - 3339600 руб:

$3339600 / 2568923,1 = 1,3$ года = 16 мес.

В результате внедрения проектной установки получен положительный чистый дисконтный доход, что говорит о том, что применение проектной установки целесообразно и чистая прибыль составит 3339600 руб. в год, а установка окупится за 16 месяцев. При анализе предлагаемых решений целесообразно предложить данный проект к внедрению в действующее производство.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной бакалаврской работе была предложена модернизация блока экстрактивной ректификации. Был посчитан: тепловой расчёт, материальный баланс. При анализе предлагаемых решений целесообразно предложить данный проект к внедрению в действующее производство.

В результате модернизации блока экстрактивной ректификации чистая прибыль составит 3339600 руб. в год, а установка окупится за 16 месяцев. Данные усовершенствования являются рентабельными, так как повышается качество получаемого продукта, увеличивается его стоимость, а так же осуществляется существенная экономия в виде расхода на пар.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Любарский Г.Д., Стрелец М.М., Химическая промышленность. - 1967, №7.
2. Производство бутадиена/ Под ред. В.И. Овчинникова В.Р. Ручинского. - М.: Химия, 1977. - 264 с.: ил.
3. Плановский А. И, В.М. Рамм, С.З. Коган Процессы и аппараты химической технологии. изд. 2-ое, доп. и перераб. -М.: Химия, 1962.
4. Дытнерский Ю.И., Борисов Г.С. и др. Основные процессы и аппараты химической технологии. М., «Химия», 1991.
5. Технологический регламент производства бутадиена из БДФ цеха Д-4 ООО «Тольяттикаучук».
6. Павлов К.Ф. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии: учеб, пособие для вузов/ К.Ф. Павлов, П.Г. Романков, А.А. Носков; под ред. чл.-корр. АН СССР П.Г. Романкова. - Изд. 10-е, перераб. и доп.-Л.:Химия, 1987.- 576с.: ил.
7. 7. Физические величины: справочник/ А.П. Бабичев, Н.А.
8. Бабушкина, А.М. Братковский [и др.]; под ред. И.С. Григорьева, Е.З. Мейлихова. -М.: Энергоатомиздат, 1991. - 1232 с. - ISBN 5-283-04013-5.
9. Дытнерский Ю.И. Процессы и аппараты химической технологии: учебник для вузов; в 2-х кн./ Ю.И. Дытнерский. - Изд. 2-е, перераб. и доп. - М.: Химия, 1995. - 400 с.: ил. - ISBN 5-7245-1006-5.
10. Справочник химика: в шести томах/ Под ред. Б.П. Никольского. - Изд. 2-е, перераб. и доп. - М.; Л.: Химия, 1966. - 1008-1072 с.
11. ГОСТ 14249 - 89. Нормы метода расчета на прочность химического оборудования.
12. ГОСТ 26202 - 84. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность обечаек и днищ от воздействия опорных нагрузок.
13. ГОСТ 14249 - 80. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность.

14. ГОСТ 24755-81 (СТ СЭВ 1639-79). Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность укрепления отверстий.
15. Флореа О. Расчеты по процессам и аппаратам химической технологии/ О. Флореа О. Смигельский; под ред. С.З. Кагана. - М.: Химия, 1971.- 419 с.: ил.
16. Стрелец М.М. и др. Химическая промышленность. - 1968, №8.
17. 16. Справочник нефтехимика: в двух томах./ Под.ред. С.К.
18. Огородникова. - Л.: Химия, 1978. - 496 с.: ил.
19. Пелих А.С. Экономика предприятия. Учебное пособие / А.С. Пелих В.М. Джуха И.И. Боков и др. Ростов н/Д: Феникс, 2002. - 328 с.
20. Шушкина Ж.В. Методические указания к экономическому обоснованию курсовых и дипломных проектов / Ж.В. Шушкина. - Тольятти: Изд-во ТолПИ, 1997. - 28 с.
21. Расчет экономической эффективности дипломного проекта: методические указания по экономической части дипломного проекта/ Сост. А.В. Сергеев. - Тольятти: ТГУ, 2007. - 29 с.
22. Горина, Л.Н. Методические указания «Идентификация опасных и вредных производственных факторов». - Тольятти: ТГУ, 2002
23. Безопасность жизнедеятельности. Учебник для вузов /С.В. Белов, А.В. Ильницкая А.Ф. Козьяков и др.; под общ. ред. С.В. Белова. 2-е изд., испр. и доп. - М.: Высшая школа, 1999. - 448с.
24. Долин, П.А. Основы техники безопасности в электроустановках, - М.: Энергоиздат, 1984, 450с.
25. Безопасность жизнедеятельности. /Н.Г. Занько, Г.А. Корсаков, К.Р. Малаян и др.; под общ. ред. О.Н. Рускак. - С.-Пб.: Петербургская лесотехническая академия, 1996.
26. Методические указания к дипломному проектированию по безопасности и экологичности объекта дипломного проекта/ Сост. Л.Н. Горина. - Тольятти: изд-во ТГУ, 2003. - 17 с.

27. Горина Л.Н. Обеспечение безопасных условий труда на производстве. - Уч. пособие. - Тольятти: ТолПИ, 2000. - 68с.
28. Патент РФ 2176061. Теплообменник. Чернов Н.С. Б.И. -2001. -
29. №32.
30. Чернов Н.С. Повышение эффективности систем охлаждения энергетических установок со змеевиковыми теплообменниками из оребренных труб. Технический ВУЗ - наука, образование и производство в регионе. Часть 1. Тольятти, -2001.-С 335-341.
31. Зульцер Хемтех [Электронный ресурс] // -Zulzer-Hemtech. com
32. Химическое оборудование [Электронный ресурс] // Chemistmew. ru
33. Тюреев И.Я., Ярофеева А.В. "Промышленность синтетического каучука и нефтехимических процессов", Изд. "Химия", 1964 г.
34. Технологический регламент «Производство изопренового каучука в цехах ИП-5, ИП-6» (ООО «Тольяттикаучук»).
35. Takamatsu, H. - Пат. 4446281 (США). Modified cis-1,4-polyisopren rubber, a process for manufacchering the same and a composition containing the same/ H. Takamatsu, S. Minatono // РЖХим. – 1985. – Т. 4. – № I. - 2П.
36. Тукжиков, О.И. Модификация цис-1,4-полиизопрена нитритом натрия в кислой среде / О.И. Тукжиков // В сб. Химия и технология элементарорганических мономеров и полмерных материалов - Волгоград, 1994. – С.75-81.
37. Процессы и аппараты химической технологии. Т. 16 / Гос. ком. СССР по науке и технике ; АН СССР ; ВИНТИ ; [гл. ред. А. И. Михайлов] ; науч. ред. В. В. Кафаров. - Москва : ВИНТИ, 1988. - 182 с. : ил.
38. Афанасьев Н. Д. Процессы и аппараты химической технологии : учеб.-метод. пособие по выполнению курсового проекта / Н. Д. Афанасьев; ТГУ ; каф. "Машины и аппараты химических и пищевых производств и предприятий строит. материалов". - ТГУ. - Тольятти : ТГУ, 2007. - 20 с.

39. Анализ продуктов производства синтетических каучуков / Всесоюз. науч.-исслед. ин-т синтет. каучука им. акад. С.В. Лебедева "ВНИИСК" ; авт.-сост.: Н. А. Исакова [и др.] ; под ред. И.В. Гармонова. - Москва ; Ленинград : Химия, 1964. - 316 с.
40. Быстров П. И. Гидродинамика коллекторных теплообменных аппаратов / П. И. Быстров, В. С. Михайлов. - Москва : Энергоиздат, 1982. - 224 с. : ил.
41. Адушкин, В.В. Расчет безопасных расстояний при газовом взрыве в атмосфере. Сборник Взрывное дело / В.В. Адушкин, С.М. Кочарго, А.Г. Лялин. – М.: Недра, 1975.
42. Двухфазные потоки и вопросы теплообмена / [отв. ред. И. Т. Аладьев]. - Москва : Наука, 1970. - 159 с. : ил.
43. Корсаков-Богатков С. М. Химические реакторы как объекты математического моделирования / С. М. Корсаков-Богатков. - Москва : Химия, 1967. - 223 с. : ил.
44. Крючков А. П. Каучук : науч.-попул. очерк / А. П. Крючков. - Москва ; Ленинград : Химия, 1965. - 104 с. : ил.
45. Колебательные спектры и молекулярные процессы в каучуках : [сборник статей] / ВНИИСК. - Москва ; Ленинград : Химия, 1965. - 150 с.
46. Распыливание жидкостей / Ю. Ф. Дитякин [и др.]. - Изд. 2-е, доп. и перераб. - Москва : Машиностроение, 1977. - 207 с. : ил.
47. Физико-химические методы анализа и исследования продуктов производства синтетического каучука / ВНИИСК им. С. В. Лебедева ; под ред. И. Я. Поддубного. - Ленинград : Госхимиздат, 1961. - 153 с.
48. Химия и технология синтетического каучука : учеб. пособие для вузов / Л. А. Аверко-Антонович [и др.]. - Гриф МО. - Москва : КолосС, 2008. - 357 с. : ил.
49. Фелленберг Г. Загрязнение природной среды. Введение в экологическую химию: Пер. с нем. – М.: Мир, 1997. – 232 с.

50. Алказов, Т.Г. Глубокое каталитическое окисление органических веществ:/Л. Я. Марголис. - М.: Химия,1985. – 186 с.
51. Артеменко А.И. Удивительный мир органической химии:/ А.И. Артеменко.- М.: Высшая школа, 2004.
52. Бесков С.Д. Технохимические расчеты:/ С.Д. Бесков. – М.: Высшая школа, 1965. – 519 с.
53. Березин, Б.Д. Курс современной органической химии: /Б.Д. Березин, Д.Б. Березин. – М.: Высшая школа, 2001. – 187 с.
54. Гельперин, Н.И. Основные процессы и аппараты химической технологии:/ Н.И. Гельперин. – М.: Химия,1981. – 812 с.
55. Глинка Н.Л. Общая химия/ Под ред. В.А. Рабиновича. – Л.:Химия,1986.- 706 с.
56. Дыкман, А.С. Разработка технологии обезвреживания газов регенерации катализаторов расщепления 4,4-диметил-1,3-диоксана и высококипящих побочных продуктов синтеза изопрена на ТПО "Синтезкаучук": Отчет № 65-88 О научно-исследовательской работе - Санкт-Петербург: ВНИИНЕФТЕЧИМ, 1988. - 42 с.
57. Кудинова, И.Н. Синтетические каучуки, тенденции и перспективы внутреннего рынка / И.Н. Кудинова // Вестник химической промышленности. - 2010. - №2. – с. 27
58. Безопасность жизнедеятельности. Учебник для вузов/Под ред. С.В. Белова. – М.: Высш. Шк., 1999. – 448 с.