

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

**ИНСТИТУТ ХИМИИ И ИНЖЕНЕРНОЙ ЭКОЛОГИИ**

**Кафедра «Рациональное природопользование и ресурсосбережение»**

18.03.02 «Энерго- ресурсосберегающие процессы в химической  
Технологии, нефтехимии и биотехнологии»

## **БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

**На тему: Применение естественного холода на установке полимеризации  
бутадиена и альфаметилстирола**

Студент

Е. Ю. Лейпинен

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

В. Ю. Зотов

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

**Допустить к защите**

Заведующий кафедрой

«Рациональное

природопользование

и ресурсосбережение»

к.п.н., М. В. Кравцова

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

(личная подпись)

«    »      20     Г.

Тольятти 2016

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

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

УТВЕРЖДАЮ  
заведующая кафедрой «РПиР»  
\_\_\_\_\_ М.В. Кравцова  
(подпись) (И.О. Фамилия)  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_ г.

**ЗАДАНИЕ**  
**на выполнение бакалаврской работы**

Студент: Лейпинен Евгений Юрьевич

1. Тема: Применение естественного холода на установке полимеризации  
бутадиена и альфаметилстирола

2. Срок сдачи студентом законченной бакалаврской работы 3.06.2016

3. Исходные данные к бакалаврской работе: Технологический регламент  
установки полимеризации бутадиен и альфаметилстирола.

4. Содержание бакалаврской работы:

-Анализ существующей технологии полимеризации бутадиен и  
альфаметилстирола

-Применение естественного холода на полимеризации бутадиена и  
альфаметилстирола

5. Дата выдачи задания «15»марта 2016 г.

Руководитель бакалаврской работы

\_\_\_\_\_ В.Ю. Зотов  
(подпись) (И.О. Фамилия)

Задание принял к исполнению

\_\_\_\_\_ Е.Ю. Лейпинен  
(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

заведующая кафедрой «РПиР»

\_\_\_\_\_ М.В. Кравцова

(подпись)

(И.О. Фамилия)

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

**КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН**

**выполнения выпускной квалификационной работы**

Студент: Лейпинен Евгений Юрьевич

По теме: Применение естественного холода на установке полимеризации  
бутадиена и альфаметилстирола

Наименование раздела работы	Плановый срок выполнения раздела	Фактический срок выполнения раздела	Отметка о выполнении	Подпись руководителя
Введение	16.03.2016			
Анализ существующей технологии полимеризации бутадиена и альфаметилстирола	14.04.2016			
Применение естественного холода на установке полимеризации бутадиена и альфаметилстирола	12.05.2016			
Заключение	1.06.2016			

Руководитель бакалаврской работы

\_\_\_\_\_ (подпись)

В.Ю. Зотов

(И.О. Фамилия)

Задание принял к исполнению

\_\_\_\_\_ (подпись)

Е.Ю. Лейпинен

(И.О. Фамилия)

## АННОТАЦИЯ

**Бакалаврскую работу выполнил:** Лейпинен Евгений Юрьевич

**Тема работы:** Применение естественного холода на установке полимеризации бутадиена и альфаметилстирола.

**Научный руководитель:** Зотов В.Ю.

**Цель бакалаврской работы** – является технически сравнительный анализ с базовым. Предложение по внесению изменения в технологию с целью снижения энергозатратности и ресурсосбережения, что находит свое отражение в графической части работы и в расчетно-пояснительной записке.

Краткие выводы по бакалаврской работе: Сравнительные расчеты показали, что с внедрением изменения в технологию снизилось энергозатратность.

Бакалаврская работа состоит из введения, двух глав, заключения, списка использованных источников.

Во введении обосновывается актуальность проводимого исследования, описывается цель, задачи, объект и предмет исследования. В первой главе рассматривается обзор литературы и, а также выбор и обоснование технологии производства. Во второй главе рассматривается описание технологической схемы производства и технико-технологические расчеты оборудования.

Структура и объем работы. Работа состоит из введения, 2-х разделов, заключения, списка литературы из 64 источников. Общий объем работы, без приложений 42 страниц машинописного текста.

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	6
ГЛАВА 1. АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩЕЙ ТХНОЛОГИИ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ БУТАДИЕНА И АЛЬФАМЕТИЛСТИРОЛА	8
1.1 Описание технологического процесса получения каучука бутадиен - альфаметилстиролового	8
1.2 Краткая характеристика основного оборудования	13
1.3 Описание технологической схемы	15
ГЛАВА 2. ПРИМЕНЕНИЕ ЕСТЕСТВЕННОГО ХОЛОДА НА УСТАНОВКЕ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ БУТАДИЕНА И АЛЬФАМЕТИЛСТИРОЛА	19
2.1 Применение естественного холода	19
2.2 Тепловой и конструкционный расчет проектируемого аппарата	23
2.3 Расчет гидравлического сопротивления кожухотрубного теплообменника	30
2.4 Прочностной расчет теплообменника	32
2.5 Расчет толщины стенок, обечаек и патрубков	33
2.6 Расчет энергоэффективности при изменении технологии	38
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	39
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ	30
ПРИЛОЖЕНИЕ	44

## ВВЕДЕНИЕ

Стремительно развитие химии и физики полимерных материалов привело к подъему промышленности синтетического каучука.

Натуральный каучук известен человечеству очень давно. Он является продуктом растительного происхождения. Его получают коагуляцией млечного сока (латекса) каучуконосных растений, главным образом бразильской гевеи.

В настоящее время значение каучука в народном хозяйстве весьма велико, и по мере развития техники оно всё более и более возрастает. Специфические свойства каучука – способность к большим обратимым деформациям (эластичность), сохранение прочности при различных деформациях – сжатии, растяжении (усталостная прочность), большая стойкость к действию весьма активных химических веществ, малая водо- и газонепроницаемость, хорошие диэлектрические (изоляционные) свойства и другие обусловили исключительно широкое применение каучука в виде резиновых изделий в различных областях техники [30].

Сегодня на предприятиях, производящих синтетический каучук, благодаря постоянному совершенствованию существующих и внедрению новых технологических процессов выпускается более 200 марок синтетических каучуков и латексов, что позволяет удовлетворить потребности шинной, резинотехнической, электротехнической, легкой и других отраслей промышленности.

Поэтому потребление каучука остается по прежнему на высоком уровне. Не смотря на это, конкуренция на рынке остается высокая, и каждый производитель стремится снизить себестоимость продукции, разработать и внедрить ресурсосберегающие мероприятия.

На предприятии «Тольяттикаучук» производства бутадиен альфаметилстироловых каучуков выпускаются каучуки марки СКМС-30 АРКМ-15, БСК-1502. Все эти марки производятся методом

низкотемпературной полимеризации. Полимеризация проходит при температуре 4-12°C. Встает актуальным вопрос о применении естественного холода.

Целью данной работы является технически сравнительный анализ с базовым. Предложение по внесению изменения в технологию с целью снижения энергозатратности и ресурсосбережения.

Задачи для достижения данной цели:

- провести анализ существующей технологии установки полимеризации бутадиена и альфаметилстирола;
- провести анализ предлагаемой технологии;
- спроектировать и рассчитать теплообменный аппарат для охлаждения деаэрированной воды умягченной водой.

# ГЛАВА 1. АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩЕЙ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ БУТАДИЕНА И АЛЬФАМЕТИЛСТИРОЛА

## 1.1 Описание технологического процесса получения каучука бутадиен альфаметилстирольного

Латекс СКМС-30АРК получают сополимеризацией бутадиена и альфаметилстирола в водной эмульсии по радикальному механизму.

В качестве основного эмульгатора применяются:

- калиевое мыло диспропорционированной талловой или сосновой канифоли в сочетании со стеаратом или парафинатом;
- калиевое мыло смолы «Диталп», «СЖКТ»,»ДиСКАН»;
- комплексные эмульгаторы «ЭДиСКАН», «СЖКТ» различных марок.

В качестве дополнительного эмульгатора применяется Диспергатор НФ(Лейканол, продукт конденсации 2-нафталинсульфокислоты с 40% раствором формальдегида). Диспергатор НФ применяется для повышения агрегативной устойчивости латекса во время полимеризации и отгонки незаполимеризовавшихся мономеров.

Эмульгаторы оказывают значительное влияние на протекание процесса полимеризации и обеспечивают устойчивость водной эмульсии углеводородов.

Водные растворы мыл представляют собой сложную систему. Характерной особенностью веществ, применяемых в качестве эмульгаторов, является одновременно содержание в их молекуле гидрофильных и гидрофобных групп.

По современным представлениям роль и поведение эмульгаторов в полимеризационных системах сводится к следующему:

- молекулы этих веществ обладают поверхностной активностью и состоят из большой нейтральной углеводородной части и полярной части (карбоксилатные группы канифольного мыла).



- благодаря специфике молекул в водных растворах эмульгаторы находятся в виде скоплений молекул, ориентированных относительно друг друга. Эти скопления носят название мицелл.

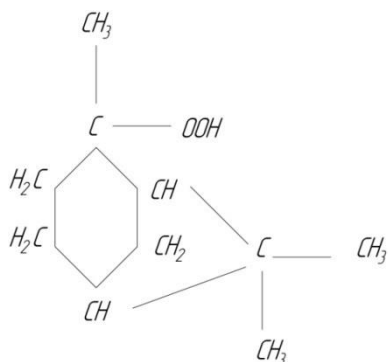
В настоящее время общепризнанным является следующий механизм эмульсионной полимеризации – молекулы мономеров проникают внутрь мицелл, в которых под воздействием активного радикала инициатора начинает формироваться макромолекула полимера.

При полимеризации в эмульсии процесс можно разделить на три стадии:

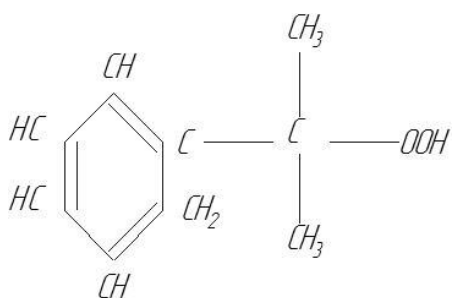
- реакция инициирования, приводящая к образованию из молекул мономеров реакционных центров (активных радикалов),
- реакция роста полимерной цепи, в результате ее развития,
- реакция обрыва реакционной цепи, приводящая к образованию конечного продукта – полимера.

#### Первая стадия

Для процесса полимеризации бутадиена и альфаметилстирола применяются вещества, иницирующие процесс полимеризации. В качестве инициатора используется гидроперекись на основе гидрированных терпеновых углеводородов: гидроперекись пинана  $C_{10}H_{18}O_2$  и гидроперекись изопропилбензола (гипериз,  $C_9H_{12}O_2$ ).



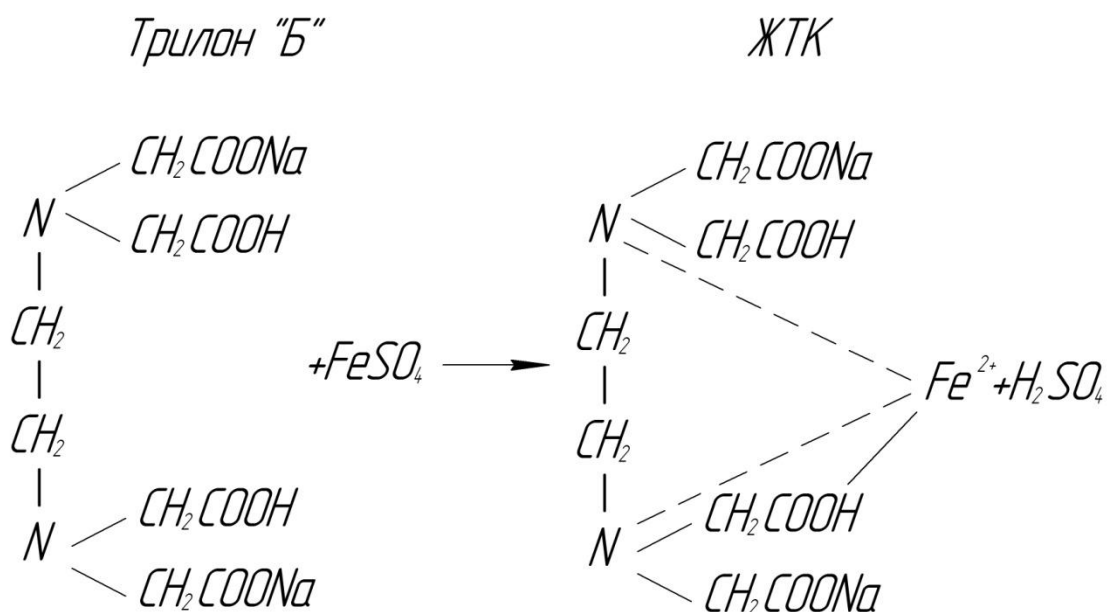
гидроперекись пинана  $C_{10}H_{18}O_2$  ,



гидроперекись изопропилбензола (гипериз,  $C_9H_{12}O_2$ ).

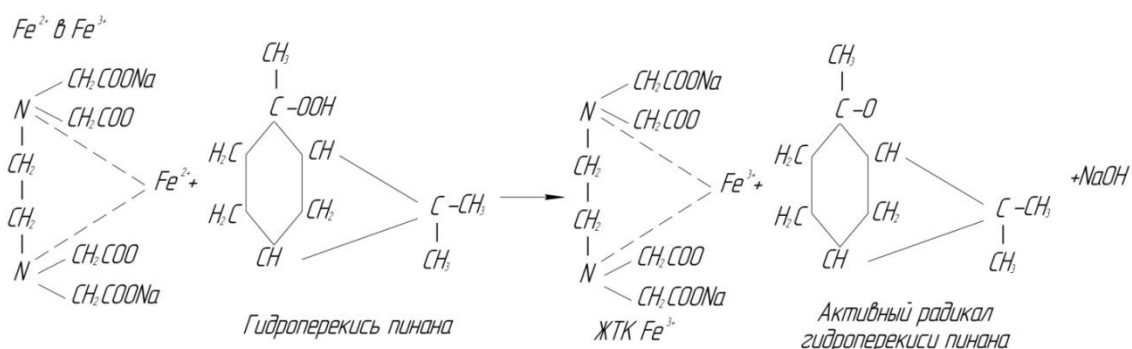
Гидроперекись способна распадаться с образованием активного радикала, который и возбуждает процесс полимеризации.

Для ускорения процесса распада гидроперекиси в системе полимеризации применяются вещества – активаторы. Активатор – вещество, взаимодействующее с инициатором по окислительно-восстановительному механизму и ускоряющее его распад на свободные радикалы. Активатором процесса эмульсионной полимеризации при получении латекса СКМС-30АРК является железо-трилоновый комплекс (ЖТК), образующийся при взаимодействии сернокислого закисного железа с динатровой солью этилендиамин-тетра-уксусной кислоты по реакции:



В водной среде железо-трилоновый комплекс вступает в реакцию с гидроперекисью пинана с образованием свободного активного радикала, щелочи и превращением железа из двухвалентного состояния в трехвалентное.

Перевод трехвалентного железа в ЖКТ в первоначальное, двухвалентное состояние происходит за счет ронгалита (формальдегид-сульфоксилат натрия), присутствующего в полимеризационной системе:



Двухвалентный комплекс железа вновь реагирует с молекулой гидроперекиси пинана, за счет чего образуются свободные радикалы, которые дают начало роста новой полимерной цепи.

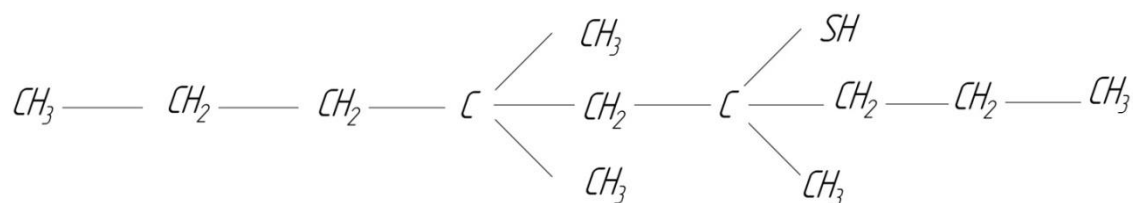
#### Вторая стадия

При взаимодействии образовавшегося свободного радикала с мономерами начинается полимеризация мономеров, рост цепи. К растущей цепи присоединяются, как молекула бутадиена, так и молекула альфаметилстирола, образуя молекулу полимера.

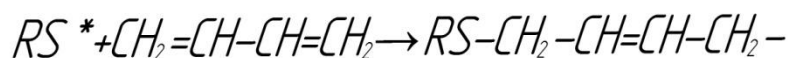
Перевод трехвалентного железа в комплексе в первоначальное состояние

Двухвалентный комплекс железа вновь реагирует с молекулой гидроперекиси, за счет чего образуются свободные радикалы, которые дают начало роста новой полимерной цепи.

Регулирование молекулярного веса полимера производится с помощью третичного додецилмеркаптана, имеющего структурную формулу:



Механизм регулирования состоит в реакции переноса цепи, т.е. в обрыве реакции роста полимерной цепи с образованием свободного радикала, дающего начало роста новой цепи:



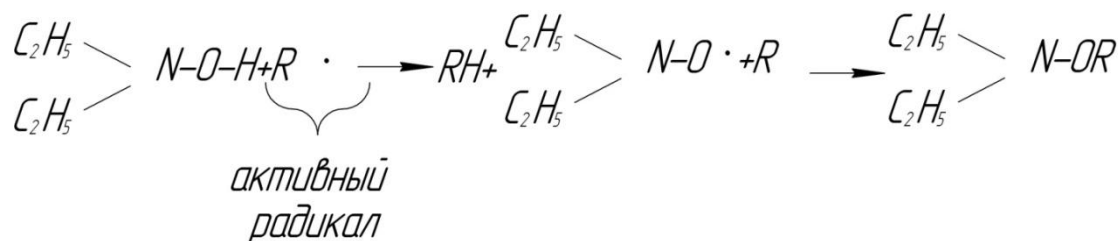
*RS\** – обозначает радикал третичного додецилмеркаптана

Третья стадия

Окончательный обрыв процесса полимеризации, после достижения регламентного значения конверсии мономеров производится вводом в систему раствора прерывателя (стоппера), водный раствор диэтилгидроксиламина (ДЭГА), который взаимодействуя с активными радикалами гидроперекиси растущей молекулярной цепи, обрывает процесс полимеризации. Одна молекула ДЭГА нейтрализует два активных радикала.

Предполагаемый химизм действия ДЭГА следующий:

*Предполагаемый химизм действия ДЭГА*



Латекс, полученный в результате полимеризации бутадиена и альфаметилстирола, представляет собой коллоидную систему, в которой мелкие частицы каучука находятся во взвешенном состоянии и имеют одинаковый электрический заряд. Под влиянием этих зарядов частицы отталкиваются одна от другой, чем в известной степени обуславливается стабильность латекса [46].

## 1.2 Краткая характеристика основного оборудования

Емкость № 1/ 1,2 – для приема и хранения деаэрированной (умягченной) воды.

**Таблица 1-Технические параметры Емкости № 1/ 1,2.**

Наименование	Значение	
	1/1	1/2
1		
объем	50,6 м <sup>3</sup>	55 м <sup>3</sup>
диаметр	2800 мм	3300 мм
высота	9000 мм	6628 мм
расчетное давление	6,0 кгс/см <sup>2</sup>	0,05 кгс/см <sup>2</sup>
расчетная температура	200 <sup>0</sup> С	100 <sup>0</sup> С
материал	X18H9T	Сталь 3 ст

Емкость № 110 – для приема и хранения умягченной воды из отделения Е-3.

**Таблица 2-Технические параметры емкости № 110.**

Наименование	Значение
1	2
объем	11 м <sup>3</sup>
диаметр	2000 мм
длина	2500 мм
расчетное давление	6 кгс/см <sup>2</sup>
расчетная температура	100 <sup>0</sup> С
расчетная температура стенок	400 <sup>0</sup> С
материал	Ст. 3

Насос № 112/3,4 – для подачи умягченной воды из емкости № 110 в теплообменник № 44/6.

**Таблица 3-Технические характеристики 112/3,4 насоса.**

Насос	112/3	112/4
1	2	3
марка	К-45/55	К45/55
производительность	45 м <sup>3</sup> /час	45 м <sup>3</sup> /час
создаваемый напор	55 м.вод.ст.	55 м.вод.ст.
тип электродвигателя	ВАО 62-2	АО-52-2
мощность электродвигателя	17 кВт	13 кВт
число оборотов	3000 в мин.	3000 в мин.
исполнение	нормальное	нормальное
материал проточной части	СЧ-20	СЧ-20

Краткая характеристика отделения производства искусственного холода.

Холодильная турбокомпрессорная машина (далее машина) отделения Е-8 цеха - Е-8 предназначена для производства искусственного холода на технологические нужды цехов предприятия.

Характеристика основного оборудования

Система пуска, регулирования и защиты машины – электрическая, полуавтоматическая:

Давление пневмоиспытаний машины на плотность – 10 кг/ см<sup>2</sup> .

Машина состоит из следующих составных частей:

- 1 Испаритель.
- 2 Конденсатор – 2шт
- 3 Бак поплавковый.
- 4 ТК.
- 5 Редуктор.
- 6 Электродвигатель.
- 7 Система смазки редуктора и электродвигателя.

8 Система смазки ТК.

9 Щит управления и контроля работы.

10 Щит управления электродвигателя.

11 Соединительные муфты - 2 шт.

12 Трубопроводы обвязки и запорная аппаратура.

Всего установлено 10 машин.

Машина ХТМ-3-1-4000 – 2, 3, 4, 5, 6 -5 шт.

Холодопроизводительность от 1 до 3 мил. Ккал/час при режиме работы:

при температуре выхода рассола от минус 30<sup>0</sup>С до минус 3<sup>0</sup>С;

температура кипения фреона от минус 35<sup>0</sup>С до минус 8<sup>0</sup>С;

давление испарения от 0,025 до 1,4 атм;

температура конденсации + 35<sup>0</sup>С; давление конденсации 7,6 атм.

В условиях «Тольяттикаучук» машина работает при режиме:

Температура испарения минус 19<sup>0</sup>С;

Давление испарения 0,6 атм;

Температура конденсации + 35<sup>0</sup>С;

Давление конденсации 7,6 атм.

Холодопроизводительность 2.400.000 ккал/час при температуре выходящего рассола минус 14<sup>0</sup>С;

Потребляемая мощность при расчетном режиме работы 1500 квт/час

На выработку 1.6 Гкалл расходуется 1500 КВТ/час

### **1.3 Описание технологической схемы**

Технологический процесс получения каучуков бутадиен альфаметилстирольных состоит из следующих стадий:

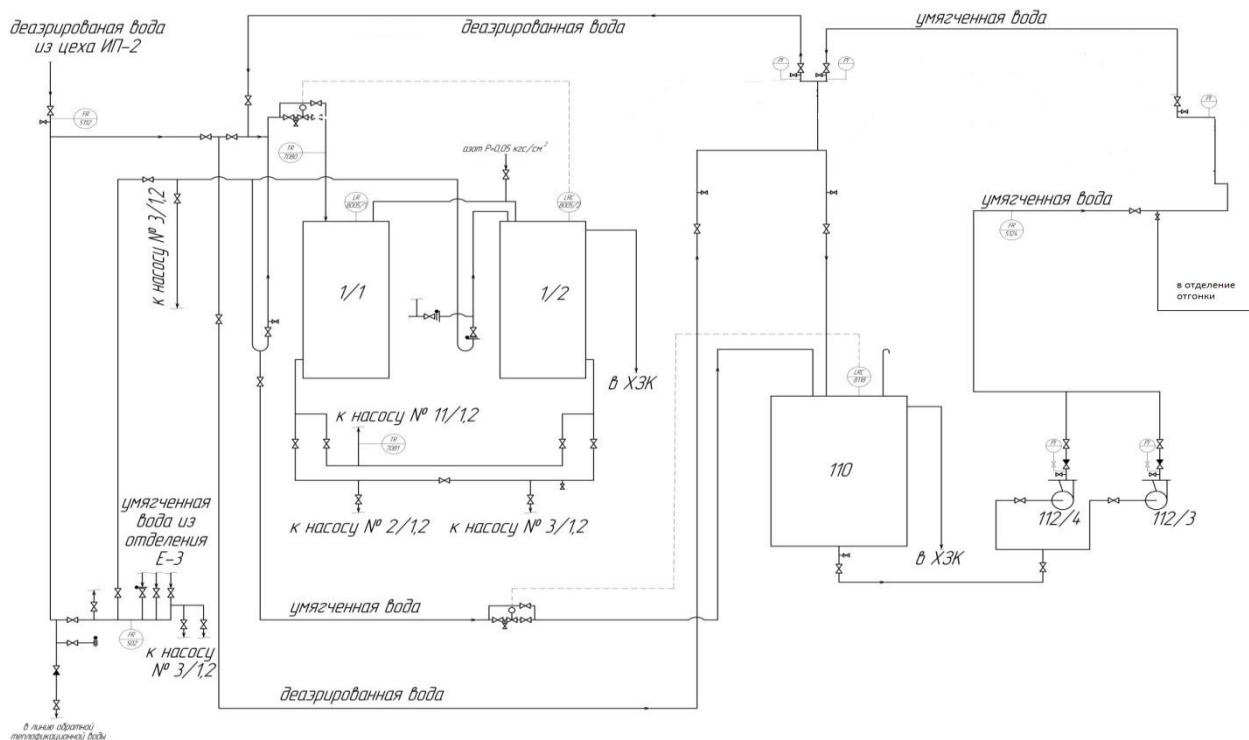
Приготовление растворов:

Приготовление раствора парафината калия и стеарата калия.

Приготовление раствора железо-трилонового комплекса.

Приготовление раствора ронгалита.

- Приготовление раствора инициатора.
- Приготовление раствора и эмульсии регулятора.
- Приготовление раствора стоппера.
- Приготовление эмульсии пеногасителя.
- Приготовление разбавленного раствора натровой щелочи
- Прием жидкой калиевой щелочи, растворение твердой калиевой щелочи.
- Приготовление раствора диспергатора НФ
- Приготовление раствора соды кальцинированной.
- Приготовление раствора концентрированной водной фазы.
- Приготовление углеводородной шихты, узел приема третичного додецилмеркаптана.
- Отмывка углеводородной шихты.
- Сополимеризация мономеров
- Приготовление эмульсии углеводородов.
- Полимеризация мономеров.
- Дегазация незаполимеризовавшихся мономеров из латекса
- Дистилляция альфаметилстирола
- Компримирование и конденсация бутадиев-возврата.





## **Рисунок 1-Технологическая схема узла деаэрированной и умягченной воды.**

На приготовление растворов используется деаэрированная вода из цеха ИП-2 с температурой 60-70°C и поступает в емкость № 1/1,2.

Допускается, при отсутствии аэрированной воды, для приготовления растворов использовать умягченную, однако кислород, содержащийся в ней, способен снижать активность инициатора во время процесса полимеризации (гидроперекись помимо иницирования полимеризации будет тратиться на реакцию с кислородом, содержащимся в системе). С целью исключения попадания кислорода в емкости № 1/1,2 в них подается азот  $P = 0,05 \text{ кгс/см}^2$  от гидрозатвора.

Умягченная вода из отделения Е-3 поступает в емкость № 1/1,2 или в емкость № 110.

Технологической схемой предусмотрена возможность подачи умягченной воды из отделения Е-3 непосредственно во всасывающую линию насоса № 3/1,2. Из емкости № 1/1,2 умягченная подается насосом:

- № 2/1,2 на приготовление растворов;
- № 3/1,2 на увлажнение пара в отделение отгонки, в колонны отмывки и сальники насосов;
- № 11/1,2 в смеситель № 22 и на сальники насоса № 25/1,2.

При завышении уровня в емкости № 110 технологической схемой предусмотрена возможность слива умягченной воды в хим. загрязненную канализацию (ХЗК) [48].

Умягченная вода – подается из отделения Водозабор (речная вода)→ Цех Е-8(узел повышения давления речной воды)→Цех Е-3(подготовка умягченной воды)→цех полимеризация бутадиена и альфаметилстирола.

Деаэрированная вода идет на приготовление растворов, которые участвуют в низкотемпературной полимеризации (4-12°C), достигается за счет отвода тепла с полимеризатора в рубашке которого циркулирует хладоноситель (рассол – водный раствор хлористого кальция) с

температурой минус 10-12°C. Хладоноситель подается с отделения производства искусственного холода выработка которого происходит за счет работы холодильных установок, на которые затрачивается электроэнергия.

## ГЛАВА 2. ТЕХНИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ

### 2.1 Применение естественного холода

Естественные источники холода находятся в окружающей нас среде и снижают свою температуру в результате естественных процессов. В процессе охлаждения тепло отбирается от охлаждаемого тела. Как естественные источники холода можно использовать лед рек и водоемов, снег, холодный наружный воздух в зимнее время, воду горных рек, ночной холод в районах с резко континентальным климатом, массив вечномерзлых пород, артезианская вода.

Температурный потенциал естественных охладителей ограничен природными условиями, подвержен колебаниям, не поддается управлению и в большинстве случаев действие его ограничивается узкими временными рамками. По этой причине в технике и в бытовых условиях больше применяется энергозатратные искусственные способы охлаждения. В районах с жарким климатом, где потребность в холоде особенно велика, находится меньше источников естественного холода, выше их температура. В холодных районах земного шара больше источников холода, но потребность в них ниже. Таким образом, потребность в холоде, например для создания комфортных условий среды обитания человека, и предложение естественного холода не совпадают. Это тоже существенный недостаток естественных охладителей. В некоторых случаях, например, при использовании заготовленного в зимнее время льда, ощутимы затраты на его заготовку и хранение. Естественные источники холода могут быть дополнены и системами принудительного искусственного холодоснабжения. Разумное их использование позволяет снизить затраты на производство дорогостоящего искусственного холода. Применяются также различные способы аккумуляции естественного холода, как, например, заготовка и хранение льда. Может быть целесообразно применение льда рек и водоемов,

снега, холодного наружного воздуха в зимнее время, в меньшей степени ночного холода и артезианской воды.

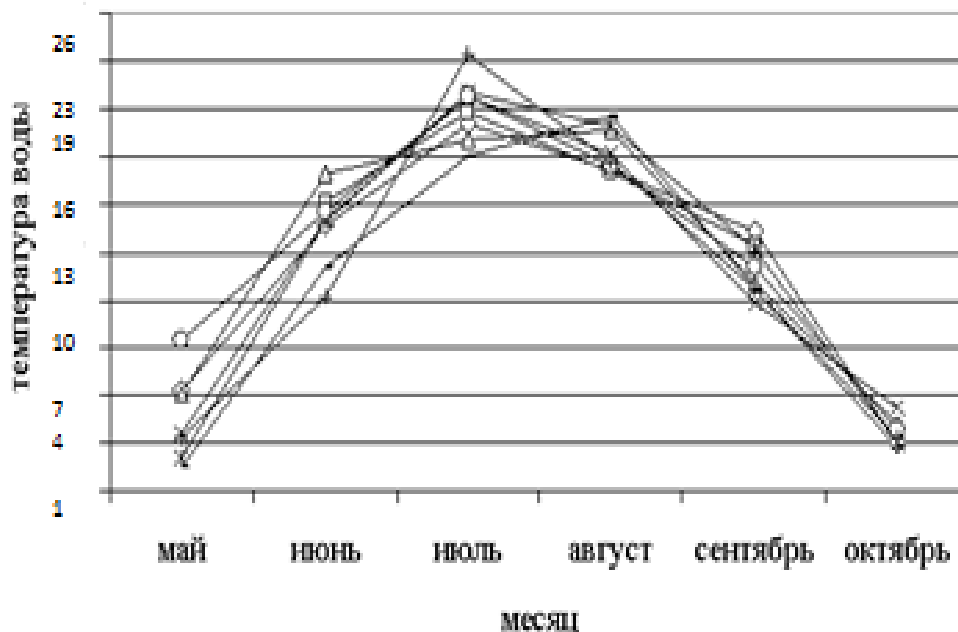
Ночной холод может быть использован при организации интенсивного проветривания нагреваемых в ночное время помещений. Эффективность использования ночного холода повышается в помещениях с массивными ограждениями за счёт их теплоемкости.

Артезианская вода имеет достаточно высокую стоимость. Применение её в качестве охлаждающей среды может привести к существенным затратам. К тому же высокая жесткость артезианской воды при длительном применении приводит к образованию отложений на теплообменных поверхностях и к снижению интенсивности теплообмена.

Применение в качестве охладителя холодного зимнего наружного воздуха может оказаться эффективным в непрерывных технологических процессах, где требуется холодопроизводительность с относительно высокой температурой. ( $t \sim 00\text{C}$ ). Целесообразность применения зимнего холода наступает в таких установках при наружных температурах больше или равно  $-3 \dots -50\text{C}$ .

Естественный холод можно использовать непосредственно для охлаждения или совместно с тепловыми машинами, их энергетическая эффективность в значительной степени зависит от температуры охлаждаемых материалов, так и от температуры окружающей среды. Если холодильник стоит в прохладном помещении, то ему для работы нужно меньше энергии, чем при работе в жарком помещении. Как вариант можно вынести нагреваемый теплообменник в более холодное место или охладить его, подавая естественный холод другим способом. Это может быть, например, охлажденная в подземном теплообменнике жидкость или вода из артезианской скважины. По такому принципу построены и работают тепловые насосы, использующие энергию окружающей среды.

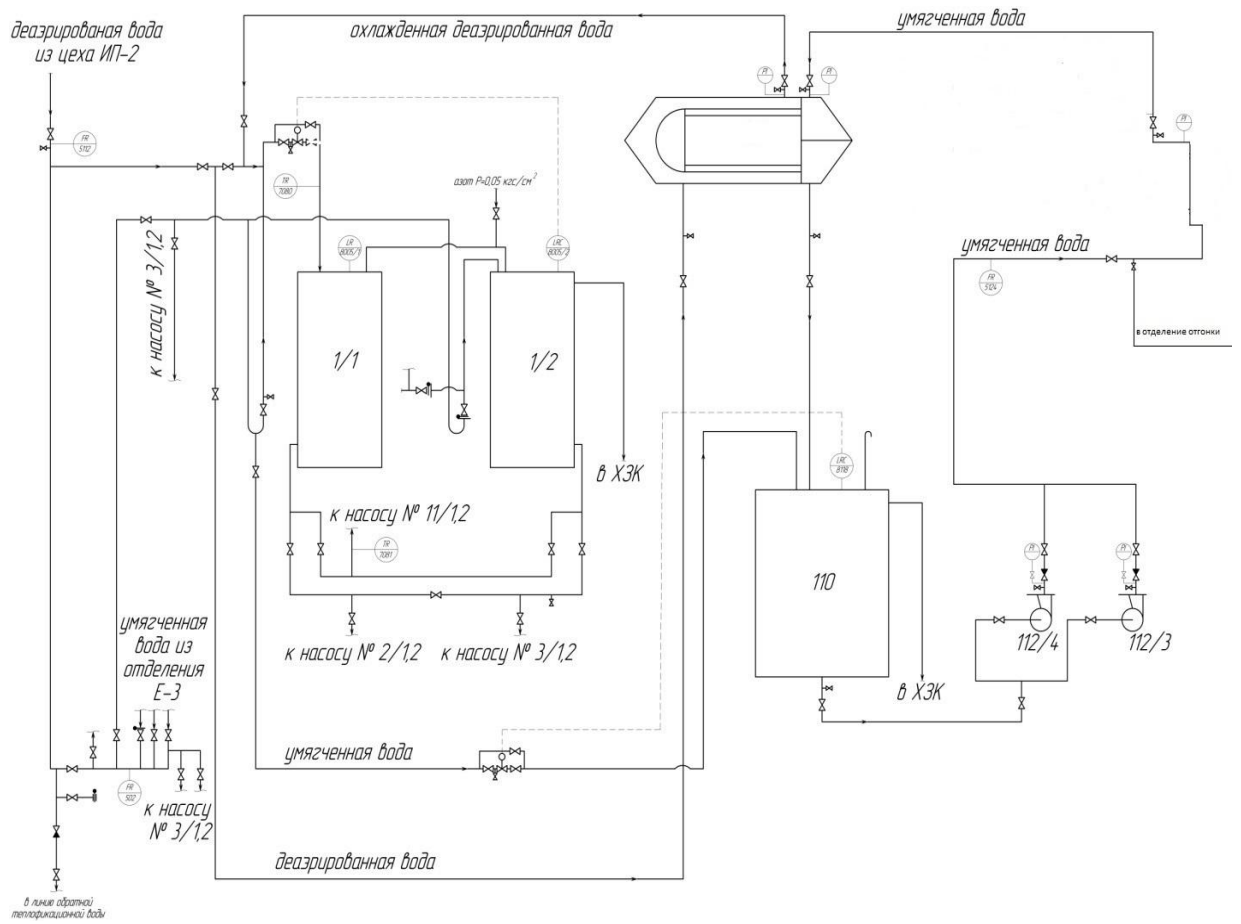
Применение естественного холода в условиях ООО «Тольяттикаучук».



**Рисунок 2-Средне месячная температура речной воды в куйбышевском бассейне реки Волги по месяцам:**

Произведенные замеры температуры умягченной воды на установки полимеризации бутадиена и альфа метилстирола показали среднегодовую температуру 5,9°С.

На основании выше сказанного для достижения цели по энерго- и ресурсосбережению необходимо спроектировать и рассчитать теплообменный аппарат для охлаждения деаэрированной воды умягченной водой.



**Рисунок 3-предлагаемая схема узла деаэрированной воды и умягченной воды.**

## 2.2 Тепловой и конструкционный расчет проектируемого аппарата.

Производительность проектируемого теплообменника:

а) по нагреваемой среде:

- состав: умягченная вода;
- начальная температура:  $t_{НАЧ2} = 5,9^{\circ}\text{C}$ ;
- конечная температура:  $t_{КОН2} = 18,4^{\circ}\text{C}$ ;
- давление:  $4\text{кгс см}^2 = 387136\text{ атм.}$

б) по охлаждаемой среде:

- состав: деаэрированная вода;
- начальная температура:  $t_{НАЧ1} = 61^{\circ}\text{C}$ ;
- конечная температура:  $t_{КОН1} = 32,2^{\circ}\text{C}$ ;
- давление:  $6\text{ кгс см}^2 = 290352\text{ атм.}$

в) дополнительные данные:

- расход по деаэрированной воде:  $G_1 = 13\text{ т ч} = 3,611\text{ кг с.}$
- расход по умягченной воде:  $G_2 = 30\text{ т ч} = 8,333\text{ кг с.}$

Примем индекс «2» для холодного теплоносителя (трубное пространство), индекс «1» - для горячего теплоносителя (межтрубное пространство).

Определим тепловую нагрузку теплообменника:

$$Q = G_1 c_1 t_{1Н} - t_{1К} , \quad (1)$$

где  $G_1$  – массовый расход горячего потока, кг/сек;

$c_1$  – средняя массовая теплоёмкость горячего потока, Дж кг \* К.

$$Q = 3,611 * 4190 * 61 - 32,2 = 435760\text{ Вт.}$$

Определим среднюю температуру горячего потока:

$$t_1 = \frac{t_{1К} + t_{1Н}}{2}, \quad (2)$$
$$t_1 = \frac{32,2 + 61}{2} = 46,6^{\circ}\text{C} \approx 47^{\circ}\text{C}.$$

Физико-химические характеристики горячего потока при  $t_1 = 47^{\circ}\text{C}$  внесем в таблицу 4.

**Таблица 4-Физические свойства воды при  $t_1 = 47^{\circ}\text{C}$ .**

Теплоемкость	Плотность	Коэффициент кинематической вязкости	Коэффициент теплопроводности	Число Прандтля
1	2	3	4	5
$C_1$ , кДж кг * К	$\rho_1$ , кг м <sup>3</sup>	$\nu_1$ , м <sup>2</sup> с	$\lambda_1$ , Вт м * К	$Pr$
1	2	3	4	5
4,18	988	$0,556 * 10^{-6}$	$64,8 * 10^{-2}$	3,54

Определим конечную температуру холодного потока из уравнения теплового баланса:

$$t_{2к} = t_{2н} + \frac{Q}{G_2 * c_2}, \quad (3)$$

где  $t_{2н}$  – начальная температура холодного теплоносителя,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$Q$  – тепловая нагрузка теплообменника, Вт;

$G_2$  – массовый расход холодного потока, кг/сек;

$c_2$  – средняя массовая теплоёмкость холодного потока, Дж кг \* К.

$$t_{2к} = 5,9 + \frac{435760}{8,333 * 4190} = 18,4^{\circ}\text{C}.$$

Определим среднюю температуру холодного потока:

$$t_2 = \frac{t_{2к} + t_{1к}}{2}, \quad (4)$$

$$t_2 = \frac{18,4 + 5,9}{2} = 12^{\circ}\text{C}.$$

Физико-химические характеристики горячего потока при  $t_1 = 12^{\circ}\text{C}$  внесем в таблицу 5

Определим среднелогарифмическую разность температур:



$$\Delta t_{CP} = \frac{\Delta t_{\Gamma} - \Delta t_{X}}{\ln \frac{\Delta t_{\Gamma}}{\Delta t_{X}}}, \quad (5)$$

$$\Delta t_{CP} = \frac{61 - 32,2 - 18,4 - 5,9}{\ln \frac{28,8}{12,5}} = \frac{16,3}{0,835} = 19,5^{\circ}\text{C}.$$

**Таблица 5-Физико-химические свойства воды при  $t_2 = 12^{\circ}\text{C}$ .**

Теплоемкость	Плотность	Коэффициент кинематический вязкости	Коэффициент теплопроводности	Число Прандтля
1	2	3	4	5
$C_2,$ кДж / кг * К	$\rho_2,$ кг / м <sup>3</sup>	$\nu_2,$ м <sup>2</sup> / с	$\lambda_2,$ Вт / м * К	$Pr$
1	2	3	4	5
4,19	1000	$1,310 * 10^{-6}$	$57,5 * 10^{-2}$	9,52

Решение о том, какой теплоноситель направить в трубное пространство, обусловлено его температурой, давлением, коррозионной активностью, способностью загрязнять поверхности теплообмена, расходом и др. В рассматриваемом примере в трубное пространство с меньшим проходным сечением целесообразно направить с большим расходом, то есть холодный поток. Это позволит выровнять скорости движения теплоносителей и соответствующие коэффициенты теплоотдачи, увеличивая, таким образом, коэффициент теплоотдачи.

Примем ориентировочное значение  $Re_{1op} = 15000$ , что соответствует развитому турбулентному режиму течения в трубах. Очевидно, такой режим возможен в теплообменнике, у которого число труб, приходящееся на один ход, равно:

а) для труб диаметром  $d_n = 25 \times 2\text{мм}$  определим число труб, приходящихся на один ход:

$$\frac{n}{z} = \frac{4 * G_2}{\pi * d * Re_{1op} * \mu_2'}, \quad (6)$$

где  $G_2$  – массовый расход холодного потока, кг/сек;

$d$  – внутренний диаметр труб, м;

$Re$  – Критерий Рейнольдса для горячего потока;

$\mu_2$  – динамическая вязкость холодного потока, Па \* с.

$$\frac{n}{z} = \frac{4 * 8,33}{3,14 * 0,021 * 15000 * 0,001310} = \frac{33,32}{1,296} = 25,7.$$

Примем минимальное ориентировочное значение коэффициента теплопередачи, соответствующее турбулентному значению:  $K_{OP} = 800 \text{ Вт м}^2 * \text{К}$ . При этом ориентировочное значение площади поверхности теплообмена составит:

$$F_{OP} = \frac{Q}{K_{OP} * \Delta t_{CP.ЛОГ.}}, \quad (7)$$
$$F_{OP} = \frac{435760}{19,5 * 600} = 37,2 \approx 37 \text{ м}^2.$$

Как видно из, теплообменники с близкой поверхностью имеют диаметр кожуха 600 мм. Запишем ориентировочные параметры кожухотрубчатого теплообменника в зависимости от  $F_{OP} = 37 \text{ м}^2$ :

а) тип аппарата: ХП (холодильник с плавающей головкой);

б) внутренний диаметр кожуха:  $D_H = 630 \text{ мм}$ ;

в) условное давление в кожухе:  $P_y = 2,5 \text{ МПа}$ ;

г) наружный диаметр труб:  $d_H = 25 \times 2 \text{ мм}$ ;

д) число ходов:  $z = 2$ ;

е) площадь поверхности теплообмена, при длине труб  $L_{TR} = 6000 \text{ мм}$  :  $96 \text{ м}^2$ ;

ж) площадь проходного сечения одного хода по трубам (не менее), при толщине стенки труб ( $\delta_{СТ} = 2 \text{ мм}$ ):  $0,034 \text{ м}^2$ ;

з) площадь проходного сечения по межтрубному пространству:

- в вырезе перегородок:  $0,042 \text{ м}^2$ ;

- между перегородками:  $0,074 \text{ м}^2$ .

В многоходовых теплообменниках средняя движущая сила несколько меньше, чем в одноходовых, вследствие возникновения смешанного взаимного направления движения теплоносителей. Поправку для среднелогарифмической разности температур определим из уравнения (7):

$$\Delta t_{\text{CP}} = \Delta t_{\text{CP.ЛОГ.}} * \varepsilon_{\Delta t}, \quad (8)$$

$$\varepsilon_{\Delta t} = \frac{\eta \delta}{\ln \frac{2-P*1+R-\eta}{2-P*1+R+\eta}}, \quad (9)$$

$$\eta = \sqrt{R^2 + 1}, \quad (10)$$

где

$$\delta = \frac{R-1}{\ln \frac{1-P}{1-R*P}} \quad R \neq 1 = \frac{1-P}{P} \quad R \rightarrow 1, \quad (11)$$

$$P = \frac{t_{2\text{K}} - t_{2\text{H}}}{t_{1\text{H}} - t_{2\text{H}}}; R = \frac{t_{1\text{H}} - t_{1\text{K}}}{t_{2\text{K}} - t_{2\text{H}}} \quad (12)$$

$$P = \frac{18,4 - 5,9}{61 - 5,9} = 0,227; R = \frac{61 - 32,2}{18,4 - 5,9} = 3,408;$$

$$\eta = \sqrt{3,408^2 + 1} = 3,552.$$

$$\delta = \frac{3,408 - 1}{\ln \frac{1 - 0,227}{1 - 0,227 * 3,408}} = 1,961.$$

$$\varepsilon_{\Delta t} = \frac{3,552 * 1,961}{\ln \frac{2 - 0,227 * 1 + 3,408 - 3,552}{2 - 0,227 * 1 + 3,408 + 3,552}} = 0,8.$$

$$\Delta t_{\text{CP}} = 19,5 * 0,8 = 15,6 \text{ град.}$$

С учетом поправки ориентировочная поверхность составит:

$$F_{\text{OP}} = \frac{435760}{15,6 * 600} = 46,5 \text{ м}^2.$$

Проведем уточненный расчет выбранного теплообменника:

- D= 600 мм;

-  $d_{\text{H}} = 25 \times 2$  мм;

-  $z = 2$ ;  $n \ z = 204/2 = 102$ .

Уточненный расчет поверхности теплопередачи горячего потока:

$$Re_1 = \frac{4G_1}{\pi d \frac{n}{z} \mu_1}, \quad (13)$$

$$Pr_1 = \frac{c_1 \mu_1}{\lambda_1} \quad (14)$$

$$Re_1 = \frac{4 * 3,611}{3,14 * 0,021 * 102 * 0,000549} = 3914;$$

$$Pr_1 = \frac{4180 * 0,000549}{0,648} = 3,541.$$

В соответствии с формулой (12) коэффициент теплоотдачи к жидкости, движущейся по трубам турбулентно, равен:

$$\alpha = 0,023 * Re^{0,8} * Pr^{0,4} * Pr_{ст}^{-0,25}, \quad (15)$$

где  $Re$  - критерий Рейнольдса;

$Pr_{ст}$  - критерий Прандтля, рассчитанный при температуре стенки.

Этой поправкой здесь можно пренебречь, так как разность температур  $t_1$  и  $t_{1 ст}$  невелика (менее  $\Delta t_{ср} = 15,6^\circ\text{C}$ ).

$$\alpha_1 = \frac{0,648}{0,021} * 0,023 * 3611^{0,8} * 3,541^{0,4} = 826 \text{ Вт м}^2 * \text{К}.$$

Площадь сечения потока в межтрубном пространстве между перегородками  $S_{мтр} = 0,043 \text{ м}^2$ , тогда:

$$Re_2 = \frac{8,33 * 0,025}{0,043 * 0,001310} = 3697; Pr_2 = 4190 * \frac{0,001310}{0,575} = 9,546.$$

В соответствии с формулой (16) коэффициент теплоотдачи к жидкости, движущейся в межтрубном пространстве, составит:

$$\alpha_2 = \frac{0,575}{0,025} * 0,024 * 3697^{0,6} * 9,546^{0,36} = 1720 \text{ Вт м}^2 * \text{К}.$$

Оба теплоносителя – вода, поэтому примем термические сопротивления загрязнений одинаковыми, равными

$$r_{31} = r_{32} = 1/2900 \text{ м}^2 * \text{К Вт}.$$

Повышенная коррозионная активность этих жидкостей диктует выбор нержавеющей стали в качестве материала труб. Теплопроводность

нержавеющей стали примем равной  $\lambda = 17,5 \text{ Вт м * К}$  .Сумма термических сопротивлений стенки и загрязнений равна:

$$\delta \lambda = \frac{\delta_{\text{СТ}}}{\lambda_{\text{СТ}}} + r_{\text{з1}} + r_{\text{з2}}, \quad (16)$$

где  $\delta_{\text{СТ}}$  - толщина стенки труб, м;

$\lambda_{\text{СТ}}$  - теплопроводность нержавеющей стали,  $\text{Вт м * К}$  ;

$r_{\text{з1}}, r_{\text{з2}}$  - термическое сопротивление загрязнений,  $\text{м}^2 * \text{К Вт}$ .

$$\delta \lambda = \frac{0,002}{17,5} + \frac{1}{2900} + \frac{1}{2900} = 0,000804 \text{ м}^2 * \text{К Вт}.$$

Определим коэффициент теплопередачи:

$$\delta \lambda = \frac{\delta_{\text{СТ}}}{\lambda_{\text{СТ}}} + r_{\text{з1}} + r_{\text{з2}} k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \delta \lambda + \frac{1}{\alpha_2}}, \quad (17)$$

где  $\alpha_1$  - коэффициент теплоотдачи теплоносителя в трубном пространстве,  $\text{Вт м}^2 * \text{° С}$  ;

$\delta_{\text{СТ}}$  - толщина стенки трубки, м;

$\lambda_{\text{СТ}}$  - коэффициент теплопроводности,  $\text{м}^2 * \text{К Вт}$ .

$$k = \frac{1}{\frac{1}{826} + \frac{1}{1720} + 0,000804} = 388 \text{ Вт м}^2 * \text{К}.$$

Требуемая площадь теплообмена составит:

$$F = \frac{435760}{11,8} * 388 = 95,2 \text{ м}^2.$$

Из этого следует, что из выбранного ряда подходит теплообменник с трубами длиной 6,0 м и номинальной поверхностью  $F_{1\text{к}} = 96 \text{ м}^2$ . При этом запас:

$$\Delta = \frac{95 - 95,2 * 100}{95,2} = 0,84 \text{ \%}.$$

Масса теплообменника  $M_{1\text{к}} = 3130 \text{ кг}$ .

## 2.3 Расчет гидравлического сопротивления кожухотрубчатого теплообменника

В трубном пространстве перепад давления по формуле (1) из , в которой длина пути жидкости равна  $L_Z$ . Скорость жидкости в трубах равна:

$$\omega_2 = \frac{G_2}{S_2 * \rho_2}, \quad (18)$$

где  $G_2$  - массовый расход холодного потока, кг/с;

$S_2$  - наименьшее сечение потока в трубном пространстве,  $m^2$ ;

$\rho_2$  - плотность холодного потока,  $кг\ м^3$ .

$$\omega_2 = \frac{G_2}{S_2 * \rho_2} = 0,245\ м\ с.$$

Определим коэффициент трения по формуле:

$$\lambda = 0,25 * \lg \frac{e}{3,7} + \frac{6,81^{0,9}}{Re_2}^{-2}, \quad (19)$$

где  $e$  - относительная шероховатость труб, мкм;

$Re_2$  - число Рейнольдса в трубном пространстве.

$$\lambda = 0,25 * \lg \frac{e}{3,7} + \frac{6,81^{0,9}}{Re_2}^{-2} = 0,05.$$

Местное сопротивление на входе в распределительную камеру и на выходе из неё следует рассчитывать по скорости жидкости в штуцерах. По найденным величинам определим скорость движения воды в штуцерах:

$$\omega_{2.ш.} = \frac{G_2 * 4}{\pi * d_{штуц} * \rho_2}, \quad (20)$$

где  $G_2$  - массовый расход холодного потока, кг/с;

$d_{штуц}$  - диаметр условного прохода штуцера, мм.  $d_{штуц} = 200$  мм;

$\rho_2$  - плотность холодного потока,  $кг\ м^3$ .

$$\omega_{2.ш.} = \frac{G_2 * 4}{\pi * d_{штуц} * \rho_2} = 0,265\ м\ с.$$

Определим гидравлическое сопротивление трубного пространства:

$$\Delta\rho_2 = \lambda * \frac{L_Z}{d} * \frac{\omega_2^2 * \rho_2}{2} + 2,5 * Z - 1 + 2Z * \frac{\rho_2 * \omega_2^2}{2} + 3 * \frac{\rho_2 * \omega_{2.ш.}^2}{2}, \quad (21)$$

где  $Z$  – число ходов по трубам.

$$\Delta\rho_{TP} = \lambda * \frac{L_Z}{d} * \frac{\omega_2^2 * \rho_2}{2} + 2,5 * Z - 1 + 2Z * \frac{\rho_2 * \omega_2^2}{2} + 3 * \frac{\rho_2 * \omega_{2.ш.}^2}{2} = 1391 \text{ Па.}$$

Определим число рядов труб, омываемых потоком в межтрубном пространстве:

$$m \approx \frac{\bar{n}}{3}, \quad (22)$$

где  $n$  - число трубок.

$$m = \frac{204}{3} = 8,24.$$

Округляя в большую сторону, получим число рядов труб:  $m = 8$ .

Определим число сегментных перегородок по :  $x = 16$ .

Определим скорость потока в межтрубном пространстве:

$$\omega_{1.ш.} = \frac{G_1 * 4}{\pi * S_1^2 * \rho_1}, \quad (23)$$

где  $G_1$  - массовый расход горячего потока, кг/с;

$d_{штуц}$  - диаметр условного прохода штуцера, мм.  $d_{штуц} = 200$  мм;

$\rho_1$  - плотность горячего потока, кг м<sup>3</sup>.

$$\omega_{1.ш.} = \frac{G_1 * 4}{\pi * S_1^2 * \rho_1} = 0,116 \text{ м с.}$$

Определим скорость в наиболее узком сечении межтрубного пространства площадью  $S_1 = 0,043$  м<sup>2</sup>.

$$\omega_1 = \frac{G_1}{S_1 * \rho_1}, \quad (24)$$

$$\omega_1 = \frac{G_1}{S_1 * \rho_1} = 0,084 \text{ м с.}$$

В межтрубном пространстве следующие местные сопротивления: вход и выход жидкости через штуцера, 16 поворотов через сегментные

перегородки (по их числу  $x = 16$ ) и 17 сопротивлений трубного пучка при его поперечном обтекании  $x + 1$

Определим сопротивление межтрубного пространства:

$$\Delta\rho_1 = \frac{3 m x + 1}{Re_1^{0,2}} * \frac{\rho_1 * \omega_1^2}{2} + 1,5 * x * \frac{\rho_1 * \omega_1^2}{2} * 3 \frac{\rho_1 * \omega_{1.ш.}^2}{2}; \quad (25)$$

$$\Delta\rho_1 = \frac{3 m x + 1}{Re_1^{0,2}} * \frac{\rho_1 * \omega_1^2}{2} + 1,5 * x * \frac{\rho_1 * \omega_1^2}{2} * 3 \frac{\rho_1 * \omega_{1.ш.}^2}{2} = 375 \text{ Па.}$$

## 2.4 Прочностной расчет теплообменника

Таблица-6. Основные расчетные величины

Расчётное давление, кгс см <sup>2</sup>	в межтрубном пространстве, $P_M$	25
	в трубном пространстве, $P_T$	25
Диаметр внутренний, см	обечайки корпуса, $D$	61
	обечайки распределительной камеры, $D$	61
	Днища крышки, $D$	69,6
	Обечайки крышки корпуса, $D$	69,6
	патрубка штуцера $d_y 200$	$d=17,9$ $d=19,9$
	патрубка штуцера $d_y 150$	$d=13,1$ $d=14,7$
	патрубка штуцера $d_y 100$	$d=8,4$ $d=9,6$



**Продолжение таблицы 6**

Допускаемое напряжение для сталей при $t =$ $100^{\circ}\text{C}$ , кгс см <sup>2</sup>	ВСтЗспЗ, ВСтЗсп5 ГОСТ 380-71, $\sigma_{\text{доп}}$	1340
	Сталь 20 ГОСТ 1050-74, $\sigma_{\text{доп}}$	1420
	Сталь 16ГС ГОСТ 5520-79, $\sigma_{\text{доп}}$	1600
Коэффициент прочности сварного шва		$\varphi = 1,0$
Прибавка для компенсации коррозии, см		$c = 0,3$
Прибавка на глубину канавки, см		$c_1 = 0,5$
Для холодильника и конденсатора, кгс см <sup>2</sup>		$P_T = 10$

### 2.5 Расчет толщины стенок, обечаек и патрубков

Определим толщину стенки обечайки корпуса и распределительной камеры теплообменника. Материал – ВСтЗспЗ:

$$S_R = \frac{P_M * D}{2 * \sigma_{\text{доп}} * \varphi - P_M} + c, \quad (26)$$

где  $P_M$  - расчётное давление в межтрубном пространстве, кгс см<sup>2</sup>;

$D_{\text{о.к.}}$  - внутренний диаметр обечайки корпуса, см;

$\sigma_{\text{доп}}$  - допускаемое напряжение ВСтЗспЗ, кгс см<sup>2</sup>;

$\varphi$  - коэффициент прочности сварного шва;

$c$  - прибавка для компенсации коррозии, см.

$$S_R = \frac{2,5 * 610}{2 * 134 * 1,0 - 2,5} + 0,3 = 0,874 \text{ см.}$$

Принята:  $S=1,0$  см.

Определим толщину стенки обечайки распределительной камеры холодильника и конденсатора. Материал – ВСтЗспЗ:

$$S_R = \frac{P_T * D}{2 * \sigma_{\text{доп}} * \varphi - P_T} + c, \quad (27)$$

где  $P_T$  - расчётное давление в межтрубном пространстве, кгс см<sup>2</sup>;

$D$  - внутренний диаметр обечайки распределительной камеры, см;

$\sigma_{\text{доп}}$  - допускаемое напряжение Сталь 16ГС, кгс см<sup>2</sup>;

$\varphi$  - коэффициент прочности сварного шва;

$c$  - прибавка для компенсации коррозии, см.

$$S_R = \frac{10 * 61}{2 * 1340 * 1,0 - 10} + 0,3 = 0,528 \text{ см.}$$

Принята:  $S=1,0$  см.

Определим толщину стенки патрубка штуцера  $d_y200$  в корпусе и камере теплообменника. Материал - Сталь 20.

$$S_{1R} = \frac{P_M * d + 2 * c}{2 * \sigma_{\text{доп}} * \varphi - P_M} + c, \quad (28)$$

где  $P_P$  - расчётное давление, кгс см<sup>2</sup>;

$d$  - внутренний диаметр патрубка штуцера, см;

$c$  - прибавка на компенсацию коррозии, см;

$\sigma_{\text{доп}}$  - допускаемое напряжение стали Сталь10Г2, кгс см<sup>2</sup>;

$\varphi$  - коэффициент прочности сварного шва.

$$S_{1R} = \frac{25 * 17,9 + 2 * 0,3}{2 * 1420 * 1,0 - 25} + 0,3 = 0,464 \text{ см.}$$

Принята толщина стенки патрубка штуцера:  $S_1 = 2,0$  см.

Определим толщину стенки патрубка штуцера  $d_y150$  в камере 2-х ходового теплообменника. Материал – Сталь 20:

$$S_{1R} = \frac{P_T * d + 2 * c}{2 * \sigma_{\text{доп}} * \varphi - P_T} + c, \quad (29)$$

где  $P_M$  - расчётное давление в межтрубном пространстве, кгс см<sup>2</sup>;

$D_{\text{о.к.к.}}$  - внутренний диаметр обечайки крышки корпуса, см;

$\sigma_{\text{доп}}$  - допускаемое напряжение стали ВСт.3сп5, кгс см<sup>2</sup>;

$\varphi$  - коэффициент прочности сварного шва;

$c$  - прибавка на коррозию с учётом минусового допуска листа, см.

$$S_R = \frac{25 * 13,1 + 2 * 0,3}{2 * 1420 * 1,0 - 25} + 0,3 = 0,422 \text{ см.}$$

Принята:  $S_1 = 1,4$  см.

Определим толщину стенки патрубка штуцера  $d_y100$  в корпусе конденсатора. Материал – Сталь 20

$$S_{1R} = \frac{P_M * d + 2 * c}{2 * \sigma_{\text{ДОП}} * \varphi - P_M} + c, \quad (30)$$

где  $P_M$  - расчётное давление в межтрубном пространстве, кгс см<sup>2</sup>;

$D_{\text{О.К.К.}}$  - внутренний диаметр обечайки крышки корпуса, см;

$\sigma_{\text{ДОП}}$  - допускаемое напряжение стали Сталь16ГС (09Г2С), кгс см<sup>2</sup>;

$\varphi$  - коэффициент прочности сварного шва;

$c$  - прибавка на коррозию с учётом минусового допуска листа, см.

$$S_{1R} = \frac{25 * 8,4 + 2 * 0,3}{2 * 1420 * 1,0 - 25} + 0,3 = 0,38 \text{ см.}$$

Принята:  $S_1 = 1,2$  см.

Толщина стенки патрубка штуцера  $d_y200$  2-х ходового холодильника и конденсатора. Материал – Сталь -20:

$$S_{1R} = \frac{P_T * d + 2 * c}{2 * \sigma_{\text{ДОП}} * \varphi - P_T} + c, \quad (31)$$

где  $P_M$  - расчётное давление в межтрубном пространстве, кгс см<sup>2</sup>;

$d$  - внутренний диаметр патрубка штуцера, см;

$c$  - прибавка для компенсации коррозии, см.

$\sigma_{\text{ДОП}}$  - допускаемое напряжение стали Сталь20, кгс см<sup>2</sup>;

$\varphi$  - коэффициент прочности сварного шва;

$c$  - прибавка на глубину канавки, см.

$$S_{1R} = \frac{10 * 19,9 + 2 * 0,3}{2 * 1420 * 1,0 - 10} + 0,3 = 0,372 \text{ см.}$$

Принята:  $S_1 = 1,0$  см.

Определим толщину стенки патрубка штуцера  $d_y150$  4-х ходового холодильника и конденсатора. Материал – Сталь 20:

$$S_{1R} = \frac{P_T * d + 2 * c}{2 * \sigma_{\text{ДОП}} * \varphi - P_T} + c, \quad (32)$$

где  $P_M$  - расчётное давление в трубном пространстве, кгс см<sup>2</sup>;

$d$  - внутренний диаметр патрубка штуцера, см;

$c$  - прибавка для компенсации коррозии, см.

$\sigma_{\text{доп}}$  - допускаемое напряжение стали Сталь20, кгс см<sup>2</sup>;

$\varphi$  - коэффициент прочности сварного шва;

$c$  - прибавка на глубину канавки, см.

$$S_{1R} = \frac{10 * 14,7 + 2 * 0,3}{2 * 1420 * 1,0 - 10} + 0,3 = 0,354 \text{ см.}$$

Принята:  $S_1 = 0,6$  см.

Определим толщину стенки патрубка штуцера  $d_y100$  6-ти ходового конденсатора. Материал – Сталь 20:

$$S_{1R} = \frac{P_T * d + 2 * c}{2 * \sigma_{\text{доп}} * \varphi - P_T} + c, \quad (33)$$

где  $P_M$  - расчётное давление в трубном пространстве, кгс см<sup>2</sup>;

$d$  - внутренний диаметр патрубка штуцера, см;

$c$  - прибавка для компенсации коррозии, мм.

$\sigma_{\text{доп}}$  - допускаемое напряжение стали Сталь20, кгс см<sup>2</sup>;

$\varphi$  - коэффициент прочности сварного шва;

$c$  - прибавка на глубину канавки, см.

$$S_{1R} = \frac{10 * 9,6 + 2 * 0,3}{2 * 1420 * 1,0 - 10} + 0,3 = 0,336 \text{ см.}$$

Принята:  $S_1 = 0,6$  см.

Толщина стенки обечайки крышки корпуса. Материал – ВСтЗсп5:

$$S_R = \frac{P_M * D}{2 * \sigma_{\text{доп}} * \varphi - P_M} + c, \quad (34)$$

где  $P_T$  - расчётное давление в межтрубном пространстве, кгс см<sup>2</sup>;

$D$  - внутренний диаметр обечайки распределительной камеры, см;

$\sigma_{\text{доп}}$  - допускаемое напряжение Сталь 16ГС, кгс см<sup>2</sup>;

$\varphi$  - коэффициент прочности сварного шва;

$c$  - прибавка для компенсации коррозии, см.

$$S_R = \frac{25 * 69,6}{2 * 1340 * 1,0 - 25} + 0,3 = 0,955 \text{ см.}$$

Принята:  $S = 1,2 \text{ см}$

По результатам расчета выбираем кожухотрубчатый теплообменный аппарат типа (ТПГ), горизонтальный (Г), с плавающей головкой, с кожухом диаметром 630 мм, на условное давление в трубах 1Мпа, условное давление в кожухе 2,5 Мпа, с количеством трубок 204 шт., двухходовой, с материалом корпуса ВСт 3 сп 5 и материалом трубок 12Х18Н10Т.

**Таблица 7-Технические параметры проектируемого теплообменника**

Наименование	Значение
1	2
поверхность теплообмена	96 м <sup>2</sup>
длина	6000 мм
диаметр	630 мм
количество трубок	204 шт.
расчетное давление:	
а) трубное пространство	10 кгс/см <sup>2</sup>
б) межтрубное пространство	25 кгс/см <sup>2</sup>
расчетная температура:	
а) трубное пространство	60 <sup>0</sup> С
б) межтрубное пространство	300 <sup>0</sup> С
материал:	
а) корпуса	ВСт 3 сп 5
б) трубок	12Х18Н10Т

## 2.6 Расчет энергоэффективности при изменении технологии.

Рассчитываем холодопроизводительность по формуле:

$$Q = V \frac{(T_1 - T_2)}{1000} = \text{Гкалл/час} \quad (36)$$

где V-расход охлаждаемой жидкости;

$T_1$  - начальная температура жидкости

$T_2$  - конечная температура жидкости.

$$Q = 13 \frac{(61 - 32,2)}{1000} = 0,3744 \text{ Гкалл/час}$$

Рассчитываем годовую холодопроизводительность:

$$Q = 0,3744 * 8760 = 3279,44 \text{ Гкалл/год}$$

Энергоэффективность при изменении технологии составит 3279,44 Гкалл/год.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной выпускной бакалаврской работе была спроектирована технология применения естественного холода в процессе полимеризации бутадиена и альфаметилстирола.

Поставленные задачи были выполнены в полном объеме, результаты отражены в пояснительной записке.

Произведен технологический расчет аппарата. По результатам расчета было определено: тип аппарата - холодильник с плавающей головкой, внутренним диаметром кожуха  $B$ , условное давление в кожухе  $P_y = 2,5$  МПа, наружный диаметр трубок  $d_H = 25 \times 2$  мм, число ходов  $z = 2$ , поверхность теплообмена  $S = 96$  м<sup>2</sup>.

Был произведен расчет энергоэффективности при изменении технологии, он составил 3279,44 Гкал/год.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Айзенштейн М.Д., «Центробежные насосы для нефтяной промышленности».
2. Альперт Р. З. «Основы проектирования химических установок».
3. Бажан П.И., Каневец Г.Е., Селиверстов В.М. «Справочник по теплообменным аппаратам».
4. Банных О. П., «Основные конструкции и тепловой расчет
5. Башкатов Т. В., Жигалин Я. Л. «Технология синтетических каучуков».
6. Беляев В.М., «Расчет и конструирование основного оборудования отрасли: учеб. Пособие».
7. Берман С.С., «Расчет теплообменных аппаратов».
8. Борисов Г.С., «Основные процессы и аппараты химической технологии».
9. Варгафтик Н.Б. «Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей».
10. Вержичинская С.В., «Химия и технология нефти и газов».
11. Вихман Г.Л., «Основы конструирования аппаратов и машин нефтеперерабатывающих заводов: учебник для студентов».
12. Вольфовича С. И., «Общая химическая технология».
13. Гауптман З., Грефе Ю., Ремане Х., «Органическая химия».
14. Гельперин Н. И., «Основные процессы и аппараты химических
15. ГОСТ 11138-78-Каучуки синтетические бутадиен-метилстирольный СКМС-30АРКМ-15 и бутадиен-стирольный СКС-30АРКМ-15. Технические условия.
16. ГОСТ 14249 – 89. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность.



17. ГОСТ 15118 – 69. «Аппараты теплообменные кожухотрубчатые с неподвижными трубными решетками и кожухотрубчатые с температурным компенсатором на кожухе».

18. ГОСТ 25859 –83.,(СТ СЭВ 3648 –82), Сосуды и аппараты стальные. Нормы и методы расчета на прочность при малоцикловых нагрузках.

19. ГОСТ 26-425-79, 26-426-79, 26-427-79, ГОСТ 28759.1-90, 28759.1-90. Фланцы сосудов и аппаратов. Типы и параметры (для аппаратов).

20. ГОСТ 6533 –78. Днища эллиптические отбортованные стальные для сосудов, аппаратов и котлов.

21. ГОСТ Р 52857.7— 2007. Сосуды и аппараты. Методы расчета на

22. Грандберг И. И., «Органическая химия».

23. Дворецкий С. И., Кормилицин Г.С., «Основы проектирования химических производств».

24. Домашнев А. Д., «Конструирование и расчет химических аппаратов».

25. Дытнерский Ю.И. «Основные процессы и аппараты химической технологии».

26. И. Э. Фурмер «Общая химическая технология».

27. Иоффе И. Л., «Проектирование процессов и аппаратов химических производств».

28. Касаткин А. Г., «Основные процессы и аппараты химической технологии».

29. Кирпичников П. А., Береснев В. В., Попова Л.М.«Альбом технологических схем основных производств промышленности синтетического каучука».

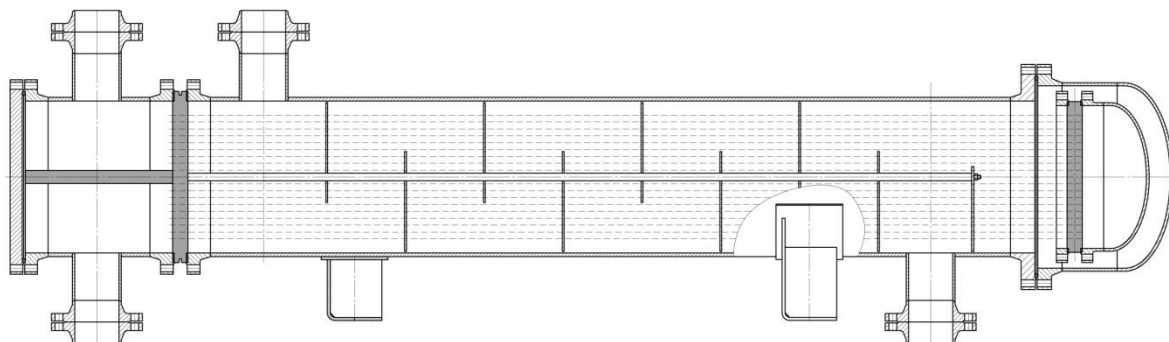
30. Кирпичников П.А., Аверко-Антонович Л.А., Аверко-Антонович Ю.О. «Химия и технология синтетического каучука».

31. Корпоративный сайт ООО «Тольятти каучук»  
<http://www.sibur.ru/tk/>.

32. Косинцев В. И., Михайлеченко А. И., «Основы проектирования химических производств».
33. Кошкин Н. Н., Саун И. А., Бабушек И. М., Бухарин Н. Н., Герасимов Е.Д., Ильин А. Я., Пекарев В. И., Стукаленко А. К., Тимофеевский Л. С., «Учебник для вузов по специальности «Холодильные машины и установки»».
34. Крутов В. И., «Техническая термодинамика».
35. Кутепов А. М., «Общая химическая технология».
36. Лашутина Н. Г., Макашова О. В., Медведев Р. М., «Техническая термодинамика с основами теплопередачи и гидравлики».
37. Лашинский А. А., Толщинский А. Р., «Основы конструирования и расчета химической аппаратуры. Справочник.»
38. Мааке В., Эккерт Г. Ю., Кошпен Ж. Л., «Учебник по холодильной технике».
39. Миронов В.П., «Расчет сосудов и аппаратов. Часть 1».
40. Миронов В.П., «Расчет сосудов и аппаратов. Часть 2».
41. Нащокин В. В., «Техническая термодинамика и теплопередача».
42. Николаев Г.И., «Тепловые процессы: учеб. Пособие».
43. Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков А.А. «Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии».
44. Пановский А. М., Рамм В. М., Каган С. З., «Процессы и аппараты химической технологии»
45. Поникаров И.И., «Расчеты МиАХП и нефтегазопереработки».
46. Постоянный технологический регламент получения латекса СКМС-30-АРК в цехе Е-1-9, ТР-Е-1-9-01-08.
47. Правила устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением. ПБ 03-576-03.
48. Производственная инструкция ПИ-Е-1-69-09 По обслуживанию узла приема и охлаждения деаэрированной воды на установке Е-1 «ООО «Тольяттикаучук».

49. Рабинович В. А., Хавин З.Я., «Краткий химический справочник».
50. РД 26 –15 –88.(ОСТ 26 –01 –396 –78). Нормы и методы расчета на прочность и герметичность фланцевых соединений.
51. РД 26 –14 –88. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Элементы теплообменных аппаратов.
52. Рейхсфельд В.О., Шеин В.С., Ермаков В.И. «Реакционная аппаратура и машины заводов основного органического синтеза и синтетического каучука».
53. Рудин М. Г., «Карманный справочник нефтепереработчика».
54. Рябов В.Д. ,«Химия нефти и газов».
55. Скобо А. И., «Процессы и аппараты нефтегазопереработки и нефтехимии».
56. Соколов Р. С., «Химическая технология».
57. Справочник химика, I том.
58. Тимонин А. С., «Машины и аппараты химических производств».
59. Тимонин А.С., «Основы конструирования и расчета химико-технологического и природоохранного оборудования. Справочник.»
60. ТУ 26 –02 –1090 –88. Каталог теплообменных аппаратов.
61. Тугов И. И., Кострыкина Г. И. «Химия и физика полимеров».
- 62.Туторский И.А., Потапов Е.Э., Шварц А.Г. «Химическая модификация эластомеров».
63. Фармазов С.А.,«Оборудование нефтеперерабатывающих заводов и его эксплуатация».
- 64.Флореа О., Смигельский О., «Рсчеты по процессам и аппаратам химических технологии».
65. Чертов А.Г. «Единицы физических величин».

## ПРИЛОЖЕНИЕ



**Рисунок 4-Эскиз теплообменного аппарата.**

Основными элементами кожухотрубчатых аппаратов являются кожух, трубы, трубные решетки, распределительные камеры и плавающая головка.

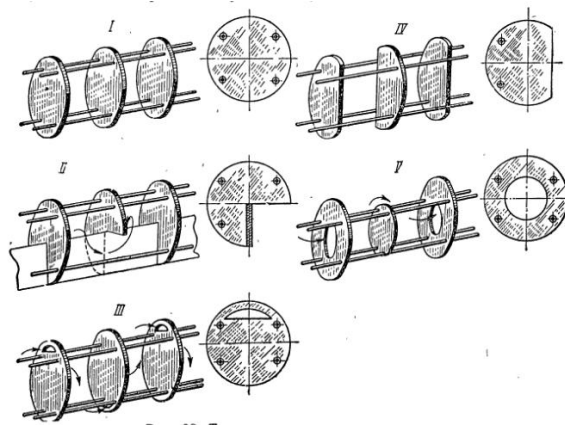
Кожухи обычно состоят из отдельных цилиндрических обечаек, сваренных между собой встык, образующих корпус и ограничивающих снаружи межтрубное пространство в аппарате.

С торцов кожух закрыт приваренными к нему двумя плоскими трубными решетками (в аппаратах типов Н и К) или одной решеткой и эллиптическим днищем.

Распределительные камеры представляют собой крышки, ограничивающие корпус аппарата по трубному пространству с обоих торцов (в аппаратах типов Н и К) или с одного торца (в аппаратах типов У и П; второй распределительной камерой в последних является плавающая головка), в которых соответствующими перегородками среда, находящаяся в трубном пространстве, направляется только в определенные трубы одного из ходов. При необходимости чистки внутренней поверхности труб распределительные камеры выполняются отъемными на фланцах, в противном случае — сварными

Количество ходов по трубкам при диаметре корпуса менее 500 мм равно двум, более 500 мм - четырем или больше. В межтрубном пространстве обычно принимают один поток.

В качестве промежуточных опор для трубного пучка используются поперечные перегородки (рисунок 5).



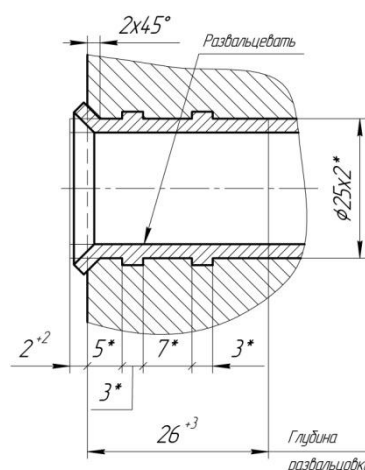
**Рисунок 5-Типы поперечных перегородок**

I – для прямолинейного тока; II – для спирального тока жидкости; III – для переменного тока (сверху вниз); IV - для переменного тока (вправо-влево); V – для переменного тока (от периферии к центру)

В перегородках часто устраивают вырезы различной формы для изменения тока теплоносителя в межтрубном пространстве, направление которого указано стрелками.

Обычно трубы соединяют с трубной решеткой на развальцовке рисунок 6. Развальцовочное соединение должно обеспечить необходимые, прочность и плотность.

При развальцовке конец трубы обычно выступает на 2—5 мм из гнезда. Это повышает прочность и плотность соединения.



**Рисунок 6- Развальцовочное соединение.**

Для обеспечения качественной развальцовки и возможности смены труб при ремонте решетки изготавливают из материала большей твердости, чем трубы. При этом форма гнезда в решетке при развальцовке не изменяется.

Диаметр отверстия определяется допусками на размеры труб и отклонениями при изготовлении отверстий. В качественном развальцовочном соединении зазор между трубой и отверстием должен быть минимальным. Например, для труб диаметром 25 мм отверстия обычно выполняют диаметром  $25,4^{+0,1}$  мм.