

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Тольяттинский государственный университет»  
Институт химии и инженерной экологии  
Кафедра «Химия, химические процессы и технологии»  
240801.65 «Машины и аппараты химических производств»

## ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ

на тему Реконструкция тонкопленочного испарителя

Студент(ка)

С.В. Шаров

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

В.П. Щукин

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Консультанты

А.Е. Краснослободцева

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

К.Ш. Нуров

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Нормоконтроль

В.В. Петрова

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

**Допустить к защите**

Заведующий кафедрой

\_\_\_\_\_ (ученая степень, звание, И.О. Фамилия) \_\_\_\_\_ (личная подпись)

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_ г.

Тольятти 2016

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Тольяттинский государственный университет»  
Институт химии и инженерной экологии  
Кафедра «Химия, химические процессы и технологии»

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

**ЗАДАНИЕ  
на выполнение дипломного проекта**

Студент Шаров Сергей Витальевич

- 1. Тема «Реконструкция тонкоплёночного испарителя».**
- 2. Срок сдачи законченного дипломного проекта 16 июня 2016 г.**
- 3. Исходные данные к проекту (работе)** Производство капролактама, стадия дистилляции.
- 4. Содержание дипломного проекта (перечень подлежащих разработке вопросов)** Аналитическая часть - обзор и описание действующей технологической схемы производства капролактама. Технологическая часть – описание технологической схемы получения капролактама. Пояснительная часть - материальный и тепловой баланс стадии дистилляции путём выпаривания тяжелокипящих и легколетучих примесей в лактам воде. Экономическое обоснование предлагаемого проекта - Расчет капитальных вложений (инвестиций) по проектному варианту. Расчет эффективности и проектных решений. Безопасность и экологичность проекта- описание рабочего места, оборудования и выполняемых технологических операций. Опасные и вредные производственные факторы Мероприятия по разработке безопасных условий труда.

## **5. Ориентировочный перечень графического и иллюстративного материала**

- 5.1 Часть схемы производства капролактама.
- 5.2 Тонкопленочный испаритель с четырех лопастным ротором.
- 5.3 Тонкопленочный испаритель с барабанным ротором.
- 5.4 Царга целиндрическая
- 5.5 Царга коническая.
- 5.6 Крышка.
- 5.7 барабанный ротор.
- 5.8 Сводная таблица технико-экономической эффективности проекта.

## **6. Консультанты по разделам**

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

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

Руководитель дипломного проекта \_\_\_\_\_  
(подпись) \_\_\_\_\_ (И.О. Фамилия)

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

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
 федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
 высшего образования  
 «Тольяттинский государственный университет»  
 Институт химии и инженерной экологии  
 Кафедра «Химия, химические процессы и технологии»

**УТВЕРЖДАЮ**

Заведующий кафедрой

Г.И. Остапенко

(подпись)

(И.О. Фамилия)

«       » 20 г.

**КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН**

**выполнения дипломного проекта**

Студента Шарова Сергея Витальевича

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

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

Руководитель дипломного проекта

(подпись)

В. П. Щукин

(И.О. Фамилия)

Задание принял к исполнению

(подпись)

С. В. Шаров

(И.О. Фамилия)

## АННОТАЦИЯ

Целью данного дипломного проекта является достижение анализ возможности модернизация тонкопленочного испарителя, а основными задачами – снижение себестоимости продукции, уменьшение потребления электроэнергии, облегчение монтажа, наладки и обслуживания агрегата, а также снижение затрат на его ремонт.

Объем проекта составляет 114 листов пояснительной записки, и 8 листов графического материала. В проекте описана конструкция, принцип действия и особенности реконструируемого тонкопленочного испарителя. Приведен необходимый конструкционный расчет, описана технология получения капролактама и освещены вопросы экологии, охраны труда, приведен расчет экономической эффективности.

Чертежи дают представление о проектируемом аппарате, его внутреннем устройстве и взаимосвязи отдельных его частей.

Для решения поставленных задач было произведено следующее изменение: четырехлопастной ротор испарителя заменен на ротор с гофрированным барабаном. В результате данной операции стало возможным получение более высокого съема дистиллята с единицы теплообменной поверхности и меньшего отбора неиспарившейся части продукта при обеспечении требуемых качественных показателей капролактама.

## СОДЕРЖАНИЕ

|   |    |
|---|----|
| ВВЕДЕНИЕ.....   | 4  |
| 1 АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ И ПЕРСПЕКТИВ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ ИСПАРИТЕЛЕЙ.....                          | 8  |
| 2 АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА КАПРОЛОКТАМА.....  | 12 |
| 2.1 Гидрирование бензола.....   | 12 |
| 2.2 Окисление углеводородов.....  | 15 |
| 2.3 Производство гидроксиламинсульфата.....   | 19 |
| 2.4 Оксимирирование циклогексанона.....   | 20 |
| 2.5 Изомеризация циклогексаноноксима в капролактам.....   | 22 |
| 2.6 Переработка лактамного масла.....   | 24 |
| 2.7 Очистка капролактама.....   | 25 |
| 2.7.1 Очистка ионообменными смолами.....  | 27 |
| 2.7.2 Стадия дистилляции капролактама.....  | 29 |
| 2.8 Свойства, характеристика и области применения капролактама.....                                     | 30 |
| 3 ОПИСАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ И ОБОРУДОВАНИЯ СТАДИИ ДИСТИЛЛЯЦИИ.....                                 | 32 |
| 3.1 Описание и перечень систем блокировок, сигнализации и предохранительных устройств.....              | 47 |
| 4 ОПИСАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ТОНКОПЛЕНОЧНОГО ИСПАРИТЕЛЯ.....  | 53 |
| 4.1 Устройство и принцип действия роторно-пленочного испарителя с гофрированным барабанным ротором..... | 53 |
| 4.2 Выбор материала аппарата.....   | 54 |
| 4.3 Теплоизоляция аппарата.....   | 55 |
| 5 ПРОЧНОСТНЫЕ РАСЧЕТЫ.....  | 56 |
| 5.1 Расчет обечайки.....  | 56 |
| 5.2 Расчет рубашки.....   | 58 |
| 5.3 Расчет крышки.....  | 59 |
| 5.4 Расчет конического днища.....   | 59 |

|   |     |
|---|-----|
| 6 ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ РОТОРНОГО ТОНКОПЛЕНОЧНОГО ИСПАРИТЕЛЯ И ПОДБОР МОЩНОСТИ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ..... | 62  |
| 7 РАСЧЕТ ДВУХСТУПЕНЧАТОГО РЕДУКТОРА.....  | 64  |
| 7.1 Кинематический расчет.....  | 64  |
| 7.2 Расчет зубчатых колес.....  | 66  |
| 7.3 Расчет валов редуктора.....   | 74  |
| 8 РЕМОНТ ИСПАРИТЕЛЯ.....  | 75  |
| 9 БЕЗОПАСНОСТЬ И ЭКОЛОГИЧНОСТЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА.....  | 77  |
| 9.1 Идентификация профессиональных рисков.....  | 79  |
| 9.2 Методы и средства снижения профессиональных рисков.....   | 81  |
| 9.3 Обеспечение пожарной безопасности технического объекта.....                                       | 82  |
| 9.3.1 Идентификация классов и опасных факторов пожара.....  | 84  |
| 9.3.2 Разработка технических средств и организационных мероприятий.....                               | 86  |
| 9.3.3 Организационные мероприятия по предотвращению пожара.....                                       | 88  |
| 10 ЗАКЛЮЧЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ЧАСТИ.....  | 89  |
| 11 ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБСЛЕДОВАНИЕ ПРЕДЛОГАЕМОЙ ЗАМЕНЫ.....  | 91  |
| 11.1 Расчет годовой производственной мощности.....  | 92  |
| 11.2 Расчет капитальных вложений по проектируемому варианту.....                                      | 94  |
| 11.3 Организация труда рабочих.....   | 95  |
| 11.4 Организация управления производством.....  | 103 |
| 11.5 Расчет себестоимости продукции.....  | 104 |
| 11.6 Расчет экономической эффективности проектных решений.....  | 108 |
| Заключение.....   | 111 |
| Список используемых источников.....   | 112 |

## ВВЕДЕНИЕ

Капролактам (лактам  $\epsilon$ -аминокапроновой кислоты) — белое, кристаллическое вещество с температурой плавления 69,2 °С — был синтезирован О. Валлахом в 1899 г. из пимелиновой кислоты. На протяжении последующих десятилетий это соединение представляло интерес исключительно для лабораторных исследований и не имело никакого практического значения. Отношение к капролактаму изменилось после того, как в 1938 г. немецкий химик П. Шлак провел его полимеризацию и установил, что из расплава полимера (поликапропамида) можно получать застывающие при охлаждении гибкие нити, которые вытягиваются до толщины, составляющей доли миллиметра. Тем самым было найдено новое Исходное вещество для получения полиамидных волокон, впервые синтезированных У. Карозерсом в 1935 г.

Получение полиамидного волокна из капролактама дало толчок к поиску промышленных способов его производства. Основные узлы первой технологической схемы синтеза капролактама разработаны, в Германии, где в 1943 г. было организовано промышленное производство мощностью 3,5 тыс. т в год. Первые партии полиамида из капролактама применяли для получения искусственной щетины. Позднее на основе капролактама стали производить парашютный шелк, корд для авиационных шин и буксировочные тросы для планеров.

Капроновое волокно нашло также применение при производстве разного рода крученых изделий (канаты, веревки, тросы), для изготовления рыболовных сетей. В последнем случае существенную роль играет способность волокна не поддаваться гниению в морской воде. Кроме того, даже при равной прочности с сетями из иных материалов, капроновые сети имеют значительно меньшую толщину, менее заметны в воде, что положительным образом скаживается на улове рыбы. Клиновые приводные ремни, изготовленные из

капроновой ткани, позволяют интенсифицировать режим работы автомобильных и других двигателей внутреннего сгорания.

В промышленности пластических масс полиамиды служат главным образом для изготовления изделий, работающих под нагрузкой, а также в условиях трения. Сочетание высокой механической прочности и легкости с хорошими антифрикционными и электроизоляционными свойствами, а также с коррозионной и химической стойкостью, способность поглощать и гасить вибрацию — все это сделало полиамидные пластические массы важнейшим материалом для машино- и приборостроения. Из них изготавливаются некоторые ответственные детали автомобилей и самолетов. Несмотря на широкий ассортимент современных пластических масс, полиамиды остаются лучшим материалом для изготовления бесшумных шестерен, вкладышей подшипников, лопастей гребных судовых винтов, вентиляторов, рабочих колес центробежных и вихревых насосов.

Тот факт, что изготовленные из полиамидов детали в состоянии работать без смазки, обеспечил повышенный спрос на них со стороны пищевой и текстильной промышленности при конструировании таких машин и аппаратов, где применение смазки нежелательно или полностью исключено. Из полиамидов изготавливаются также пленки, применяемые в качестве упаковочного, и электроизоляционного материала. Капроновые пленки удается наносить и на различные металлические поверхности, создавая тем самым износостойчивое и антифрикционное покрытие.[1]

В данном дипломном проекте предлагается реконструкция роторного тонкопленочного испарителя типа РТА 900/16-А, применяемого на стадии дистillation производства капролактама.

К недостаткам данного испарителя можно отнести, в первую очередь, сложность его монтажа, последующей наладки, а также дальнейшего ремонта, во-вторую очередь — большой расход электроэнергии, потребляемой двигателем.

Исходя из этого, целью данного проекта стала реконструкция роторного тонкопленочного испарителя типа РТА 900/16-А и создание нового аппарата – тонкопленочного испарителя новой конструкции, который устраняет все недостатки своего предшественника, а также позволяет снизить параметры греющего пара.

В дипломном проекте предлагается новый испаритель с гофрированным ротором.

Принцип работы испарителя состоит в следующем. Попав на вращающееся распределительное кольцо, жидкость сбрасывается на внутреннюю поверхность гофр барабана, образуя на ней ряд вертикальных потоков. Дойдя до отверстия в гофре, струя жидкости выбрасывается на обогреваемую поверхность корпуса аппарата, образуя равномерное орошение всей поверхности корпуса на высоте, соответствующей высоте барабана.

Неиспарившаяся часть жидкости со стенок корпуса попадает в кольцевой сборник, снабженный перегородками, откуда по желобам поступает на распределительное кольцо нижележащей секции, где процесс повторяется. Во впадинах гофр предусмотрены отверстия для прохода паров в пространство внутрь барабана. Благодаря отверстиям пары, образовавшиеся в процессе испарения внутри данной секции, поднимаются вверх не только в зазоре, но и по всему сечению аппарата.

Зазор между корпусом и барабаном может составлять несколько сантиметров. Это практически снимает жесткие требования, предъявляемые к качеству обработки внутренней поверхности корпуса аппарата, что особенно важно при создании аппаратов большой единичной мощности.

Есть основания полагать, что на стенках аппарата не будет отложений пленки, поскольку в испарителе с гофрированным ротором теплообменная поверхность как бы интенсивно «моется» струями жидкости, сбрасываемой с ротора, что препятствует образованию на ней отложений.

При выполнении данного проекта достигнут экономический эффект, то есть увеличилась производственная мощность, уменьшили электроэнергию и как следствие, снизилась себестоимость готовой продукции – капролактама.

## **1 Анализ состояния и перспектив проектирования тонкопленочных испарителей**

В настоящее время в химической, нефтеперерабатывающей, нефтехимической, пищевой, а также фармацевтической промышленности широкое применение имеют тонкопленочные испарители.

Различают две основные конструкции тонкопленочных испарителей: роторные тонкопленочные испарители и испарители с падающей пленкой. Сравнивая роторно-пленочные испарители с испарителями с падающей пленкой, следует отметить довольно близкие значения времени пребывания продукта и гидравлического сопротивления для аппаратов обоих типов.

Существует представление о том, что значительным недостатком роторно-пленочного испарителя (по сравнению с испарителем с падающей пленкой) является малоэффективное использование объема аппарата, то есть низкие отношения  $F/V$ . Это в какой то степени справедливо, если аппарат работает при атмосферном давлении. При переходе к вакууму, особенно в область абсолютных давлений, меньших 2,7 кПа (20 мм рт.ст.), поперечное сечение аппарата вполне соответствует допустимому, в этом случае, гидравлическому сопротивлению.[1]

В литературе указаны многочисленные примеры успешного применения роторно-тонкопленочных испарителей. Они находят применение в качестве дистилляционных аппаратов в производстве жирных спиртов и кислот, гербицидов, капролактама додекалактама, изоцианатов, этиленгликоля молочной кислоты, высших аминов, этиленаминов и других веществ. Как правило, перечисленные продукты обладают ограниченной термической стойкостью. Также известно об успешном применении роторно-пленочных испарителей в производствах лактама, эпоксидных смол, глицеридов.

Особо следует отметить перспективы применения роторно-пленочных аппаратов как теплообменников в процессах получения различных полимеров, обладающих высокой вязкостью. Например, для получения полиметилксилоксанона в промышленном масштабе.

В пищевой промышленности эти аппараты применяют для сгущения молока, концентрирования соков, получения экстрактов кофе, чая, мясного экстракта, обезвоживания и сушки. С помощью роторно-пленочных испарителей производят витамины, аскорбиновую кислоту, ряд гормонов, антибиотиков и других препаратов; их используют также для утилизации отходов атомной промышленности.

Так как в данном дипломном проекте предлагается реконструкция роторно-пленочного испарителя, то полезно будет познакомиться с основными типами таких аппаратов, работающих в настоящее время в химической промышленности.

Различают пять основных типов роторно-пленочных испарителей, отличающихся друг от друга конструкцией ротора и способом подвода жидкости на теплообменную поверхность.

1. Аппараты с лопастным ротором, образующим зазор с теплообменной поверхностью.

К таким аппаратам относится испаритель «Лува», представляющий собой обогреваемый снаружи с помощью рубашки, вертикальный цилиндрический корпус с ротором. Ротор – пустотелый, с четырьмя лопастями. Зазор между лопастью и стенкой аппарата составляет  $0,4 - 1,5$  мм. Исходный продукт поступает в верхнюю часть аппарата и лопастями распределяется на теплообменную поверхность, образуя на ней жидкостную пленку. Окружная скорость вращения лопастей достигает  $12$  м/с. внутренний диаметр изготавливаемых аппаратов от  $0,15$  до  $0,85$  м, поверхность нагрева от  $0,5$  до  $16$   $\text{м}^2$ .[2]

Для работы под вакуумом вал ротора уплотняется с помощью торцевого уплотнения двойного действия.

Нижняя опора представляет собой подшипники скольжения из графита с добавлением антифрикционных материалов. Смазка подшипника производится перерабатываемым продуктом.

2. Аппарат с размазывающим ротором.

Один из первых теплообменных аппаратов с размазывающим ротором испаритель «Самбай», производство которого было освоено немецкой фирмой «Самесрейтер».

Отличие этого аппарата от аппарата «Лува» состоит в применении ротора с шарнирно закрепленными на валу лопастями.

При вращении лопасти, прижимаясь к поверхности корпуса под действием центробежной силы, размазывают по ней жидкостную пленку. Аппарат «Самбай» применяют главным образом для выпарки высоковязких и пастообразных материалов. Окружная скорость вращения ротора не превышает 5 м/сек. Эти аппараты изготавливают с внутренним диаметром от 0,05 до 0,94 м, поверхность теплообмена составляет от 0,08 до 12,0 кв.м. [2]

### 3. Конические аппараты с регулирующим зазором между стенкой и ротором.

В последние годы значительное распространение получили аппараты с коническим корпусом системы «Сако», производимые фирмами «Салисрейтер» (Германия) и «Контфильм» (США).

Благодаря тому, что образующая лопасти параллельна стенки аппарата, зазор между ротором и корпусом не меняется по всей длине. Его можно регулировать, передвигая ротор в осевом направлении. При этом появляется возможность варьировать время пребывания продукта в аппарате.

Поверхность нагрева испарителей «Сако» до 24 кв. м., при среднем внутреннем диаметре до 1,4 м, время пребывания продукта может достигать 7 сек. [2]

Эти три типа испарителей наиболее широко распространены. Следующие два редки и в промышленности мало применимы:

### 4. Аппараты с вращающейся теплообменной поверхностью.

5. Аппараты с дистанционной доставкой жидкости на теплообменную поверхность под действием центробежных сил.

Рассмотренные выше типы трех испарителей («Лува», «Самбай», «Сако») обеспечивают высокую производительность по продукту, давно применяются и хорошо известны специалистам. Однако у них имеются серьезные недостатки, такие как:

- сложность в монтаже и настройке, так как ротор испарителя «Лува» необходимо тщательно отцентровать и отбалансировать.
- большое потребление электроэнергии двигателем, который вращает ротор.

Исходя из этого, можно сделать вывод, что тонкопленочный испаритель должен потреблять меньше электроэнергии и давать более высокий съем дистиллята.

## **2 Анализ современного производства капролактама**

### **2.1 Гидрирование бензола[2]**

Первым промежуточным продуктом окислительной схемы производства капролактама является циклогексан, который получается преимущественно гидрированием бензола. Циклогексан содержится в большинстве нефей в количестве от 0,3 до 1 % однако препятствием для использования «нефтяного» циклогесана в промышленности органического синтеза является сложность его выделения. В литературе описаны различные методы выделения циклогексана: экстрактивная дистилляция с фенолом, комбинированный метод, включающий дистилляцию, экстрактивную дистилляцию и дробную кристаллизацию, комплексообразование с тиокарбамидом и др. Все они не пригодны для создания промышленного производства циклогексана. Таким образом, основным методом получения циклогексана является метод, основанный на гидрировании бензола.

#### **Механизм и кинетика гидрирования бензола**

Бензол в присутствии катализаторов легко гидрируется до циклогексана. Реакция обратима и сопровождается выделением значительного количества тепла. (207 кДж/моль) [3]. С понижением температуры и повышением давления реакция сдвигается в сторону образования циклогексана.

Сведения о механизме и кинетике процесса гидрирования бензола в литературе весьма разнообразны. Это относится не только к порядку реакции по бензолу, водороду и циклогексану, но и к температурным коэффициентам, энергии активации и др. характеристикам. Некоторые авторы считают, что процесс протекает по нулевому порядку по бензолу и первому по водороду.

В то же время для температур выше 100°C порядок реакции, определенный разными авторами, оказывается различным.

Также расхождения объясняются главным образом тем, что исследования велись в неодинаковых условиях, с применением зачастую несовершенных

экспериментальных методик, например в статических или проточных установках, не обеспечивающих изотермичность процесса.

Механизм и кинетика гидрирования бензола на катализаторах подробно исследовались Г.Д. Любарским с сотрудниками с применением проточно-циркуляционного метода, дающего надежные результаты при широком варьировании температуры, давления, объемной скорости, парциальных давлений компонентов, размеров зерна катализатора и других параметров процесса.

В температурном интервале до 100°С скорость реакции остается практически постоянной вплоть до степени конверсии 80%, что свидетельствует о нулевом порядке по бензолу в этой области. При степени конверсии выше 80% скорость реакции падает с уменьшением парциального давления бензола, и порядок по бензолу становится больше нуля. При высоких температурах область отклонений от нулевого порядка по бензолу значительно расширяется, и при 185° С порядок реакции по бензолу составляет 0,5. [3]

По водороду порядок реакции при температурах до 100°С равен 0,5. С ростом температуры он поднимается до 1,2, что связано с изменением адсорбционных характеристик катализатора. Продукт реакции циклогексан, тормозит процесс лишь в небольшой степени.

При выводе кинетических уравнений реакция гидрирования бензола рассматривается как процесс последовательного присоединения адсорбированных атомов водорода к адсорбированной молекуле бензола с образованием промежуточных поверхностных полугидрированных соединений  $C_6H_{6+n}$ , где  $n$  меняется от 1 до 5. Принимается, что бензол и водород адсорбируются на разных центрах, и что адсорбция водорода невелика. Если принять, что скорости присоединения всех атомов водорода к бензолу близка между собой, скорость процесса определяется группой реакций их шести медленных стадий (реакции 3-8):

1.  $H_2 + 2Y \leftrightarrow 2H^*Y$
2.  $C_6H_6 + Z \leftrightarrow C_6H_6^*Z$

3.  $C_6H_6^*Z + 2H^*Y \longleftrightarrow C_6H_7^*Z + Y$
4. ....7.  $C_6P_6 + n Z + H^*Y \longleftrightarrow C_6H_7 + n^*Z + Y$
8.  $C_6H_{11}^*Z + HY \longleftrightarrow C_6H_{12}^*Z + Y$
9.  $C_6H_{12}^*Z \longleftrightarrow C_6H_{12} + Z$

Здесь Y-центры адсорбции водорода; Z-центры адсорбции бензола, значение изменяется от 1 для стадии 4, до 4 для стадии 7. [4]

### **Технология процесса гидрирования бензола**

Проблема получения циклогексана высокой степени чистоты технически решается гидрированием бензола в жидкой или паровой фазе. В последнее время в зарубежной практике отдают предпочтение жидкофазному процессу. Его преимущества заключаются в возможности создания агрегатов большой единичной мощности, проведении процесса с максимальным превращением бензола и исключением изомеризации циклогексана в метилцикlopентан.

Однако энергетически жидкофазное гидрирование не имеет заметных преимуществ перед парофазным, особенно, если последнее осуществлять в трубчатых реакторах с одновременным получением энергетического пара. Кроме того, при реализации жидкофазного процесса возникают затруднения, связанные с использованием супендиированного катализатора.

Вследствие этого, ряд крупнейших западных фирм (DSM, BASF, Du Pont) применяют метод парофазного гидрирования бензола.

В отечественной промышленности распространен исключительно парофазный метод, причем внедрено несколько схем, различающихся условиями процесса и аппаратурным оформлением. В качестве сырья используют нефтехимический или коксохимический бензол.

Нефтехимический бензол выделяют из нефтяных фракций при  $62-105^{\circ}C$  на установках платформинга. Продукты платформинга разделяют экстрактивной дистилляцией и ректификацией, получающийся при этом бензол, содержит около 0,2 % примесей, в том числе до 0,06% -толуола и метилциклогексана и 0,0001 % общей серы. [2]

Примеси углеводородов в бензоле не влияют на процесс гидрирования, но, попадая в циклогексан, они могут, в конечном счете, ухудшить качество капролактама. Водород, используемый для гидрирования бензола, содержит некоторое количество инертных компонентов (азот, метан и др.), причем концентрация водорода в газе зависит от качества исходного природного газа и метода очистки водорода, и составляет обычно 90 и 97 % (объемных). В водороде регламентируется содержание окиси и двуокиси углерода – не более 0,002 % (объемных) каждой, аммиака – до 0,002% (объемных) и общей серы до 2 мг/м<sup>3</sup>.[2]

В промышленности установки гидрирования бензола обеспечиваются водородом, как правило, за счет использования водородосодержащего газа с агрегатов синтеза аммиака.

Таким образом, при помощи реакции гидрирования бензола получают следующий полупродукт производства капролактамациклогексан.

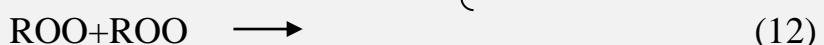
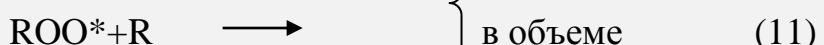
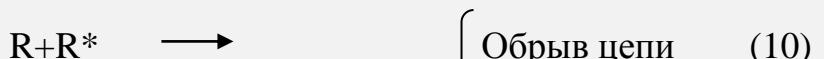
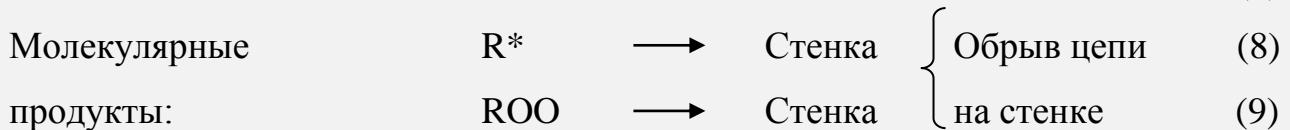
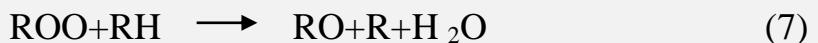
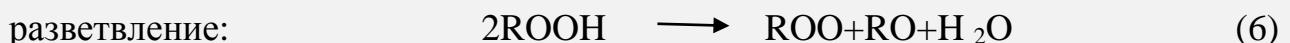
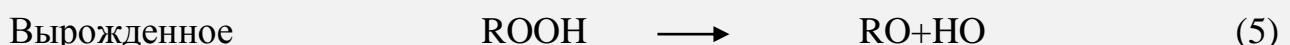
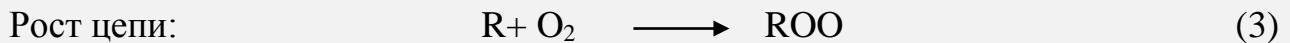
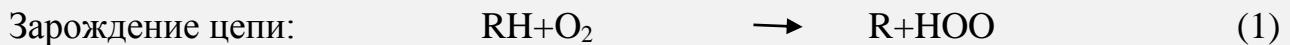
## **2.2 Окисление углеводородов**

### **Механизм и кинетика окисления углеводородов в жидкой фазе**

Окисление углеводородов в жидкой фазе протекает по цепному механизму с вырожденным разветвлением. Цепной механизм окислительных процессов оказывается наиболее энергетически выгодным, т. к. каждый из образующихся радикалов приводит к превращению многих молекул исходного вещества в кислосодержащие соединения.

Схема процессов окисления состоит из 4 основных стадий: зарождение цепи, приводящее к образованию перекисных радикалов ROO' и промежуточной гидроперекиси ROOH, разветвление цепи в результате распада ROOH свободное радикало-вырожденное разветвление; обрыв цепи, в частности рекомбинация радикалов с образованием молекулярных продуктов.

В общем виде схему реакции жидкофазного окисления углеводорода, в том числе и циклогексана, можно представить следующим образом: [2]



В начальный момент свободные радикалы образуются при взаимодействии жидкого углеводорода с растворенным в нем кислородом. Этот процесс может протекать по би – и тримолекулярному механизму (уравнения 1 и 2 соответственно).

Реакция 2, тепловой эффект которой - 576 кДж/моль, энергетически более выгодна, чем реакция 1, если энергия связи R-H < 380 кДж/моль. [2]

Тримолекулярная реакция образования свободных радикалов имеет место, в частности, при окислении циклогексанола-продуктов, образующихся при окислении циклогексана.

Основным первичным молекулярным продуктом жидкофазного окисления углеводородов, является гидроперекись, которая образуется по реакциям 3 и 4. Скорость присоединения свободного радикала к кислороду велика и, в основном определяется диффузией кислорода в жидкость. В случаях, когда основным типом становится рекомбинация радикалов  $\text{ROO}'$ , что наблюдается при достаточно больших давлениях кислорода, скорость окисления уже достигает предельного значения. При низких парциальных давлениях кислорода (ниже 6 кПа) скорость окисления может снижаться из-за процессов обрыва с учетом радикала R.

В развивающейся реакции, помимо радикалов R' и  $\text{ROO}'$ , присутствуют алкильные радикалы с измененным углеводородным скелетом, а также радикалы  $\text{RO}'$  и  $\text{HO}'$ , при взаимодействии которых с углеводородом RH образуются различные углеводороды с меньшей молекулярной массой, а также спирты и вода.

Гидроперекись, получающаяся при окислении, как промежуточный продукт, благодаря распаду на радикалы инициирует цепную реакцию. В окисляющихся углеводородах гидроперекись распадается на радикалы по мономолекульному механизму (реакции 6 и 7). На более глубоких стадиях окисления свободные радикалы образуются также при взаимодействии гидроперекиси со спиртами, кетонами и кислотами.

Образование молекулярных продуктов из радикалов происходит либо при взаимодействии со стенкой реакционного сосуда (реакция 8 и 9), либо в результате обрыва цепи в объеме (реакции 10-12). Наибольшее значение имеет реакция 12, протекающая с образованием спирта, кетона и кислорода.

### **Основные факторы, влияющие на процесс жидкко-образного окисления циклогексана**

Температура и продолжительность реакции (время пребывания циклогексана в реакторе) относится к основным факторам, определяющим технико-экономические показатели процесса. Влияние этих параметров

взаимосвязано. Оптимальными условиями прохождения процесса остаются такие, при которых количество образовавшихся гидроперекиси циклогексила, циклогексанона и циклогексанола максимальное, а их превращение в карбоновые кислоты минимальное.

В результате жидкофазного окисления циклогексана получается смесь весьма сложного состава, которая содержит значительные количества непрореагировавшего циклогексана для возврата его на стадию окисления и получение чистых циклогексанона и циклогексанола. Циклогексанон направляется далее на оксимирование гидроксиламинсульфатом, а циклогексанол на стадию дегидрирования. В современных промышленных схемах продукты дегидрирования в определенной точке схемы смешиваются с продуктами окисления, и поэтому рассматриваемая технологическая схема объединяет разделение продуктов окисления циклогексана и дегидрирования циклогексанола.

Выделение непрореагировавшего циклогексана, выделение и очистка циклогексанона и циклогексанола осуществляется методом ректификации.

Подробнее остановимся на получении чистого циклогексанона, так как именно он принимает дальнейшее участие в производстве конечного продукта - капролактама.

Получение циклогексанона осуществляется в две ступени: на первой выделяется циклогексанон-сырец с содержанием кетона 70-90%, на второй циклогексанона-ректификат, содержащий не менее 99,9% кетона. [4]

Кубовый продукт первой колонны содержит примерно 1% циклогексанона, остальное - циклогексанол и масло X. Он передается в колонну, где получают циклогексанол-ректификат, направляемый на стадию дегидрирования.

Относительная летучесть циклогексанона и циклогексанола возрастает с увеличением вакуума. Температура верха колонны для отгонки

циклогексанона-сырца составляет  $68\text{--}75^{\circ}\text{C}$  в зависимости от установленного вакуума, а колонны для отгонки циклогексанона-ректификата  $62\text{--}65^{\circ}\text{C}$ .[2]

Качество циклогексанона-ректификата контролируется газохроматографическим анализом. Кроме того, определяется перманганатное число, которое указывает на содержание примесей (окисляемых), в первую очередь эфиров. Помимо эфиров среди примесей, способных загрязнять циклогексанон, особо выделим циклогексанон и н-гентон.

### **2.3 Производство гидроксиламинсульфата**

Гидроксиламинсульфат является оксикирующим агентом циклогексанона. Рассмотрим его производство.

#### **Получение гидроксиламинсульфата по способу Рашига**

Синтез гидроксиламинсульфата по Рашигу проводится в две стадии: 1. получение дисульфоната гидроксиламина (дисолли) из нитрита натрия и бисульфита натрия; 2. гидролиз дисоли. Обе реакции экзотермические.

Первая стадия-образование дисульфаната гидроксиламина:



Вторая стадия-гидролиз дисульфоната гидроксиламина с образованием гидроксиламинсульфата:



Эта реакция является автокатализической.

Существует несколько других схем получения гидроксиламинсульфата, как применимых, так и экспериментальных и даже аналитических.

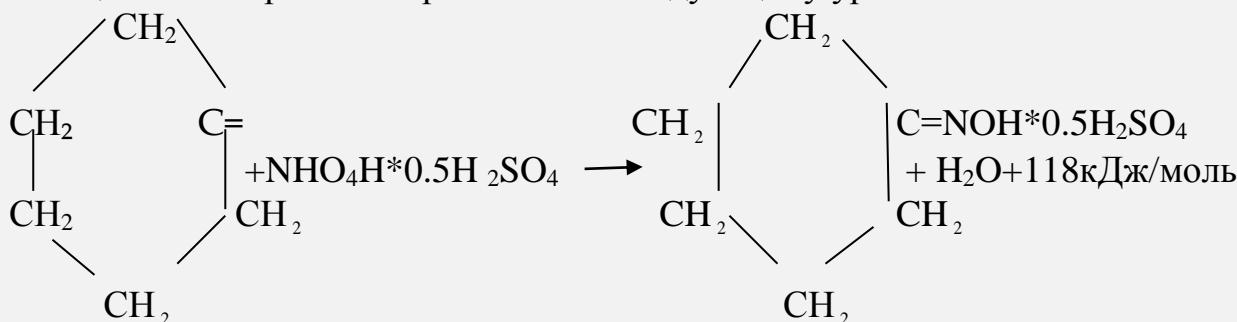
Полученный гидроксиламинсульфат идет на стадию оксимириования.

### **2.4 Оксимирирование циклогексанона**

Процесс оксимирирования является общим для фенольной, анилиновой и окислительной схем производства капролактама. В каждой из них основным полупродуктом являются циклогексанон и гидроксиламинсульфат, взаимодействующие между собой.

Циклогексаноноксим получают по реакции между гидроксиламинсульфатом и циклогексаноном. В чистом виде циклогексаноноксим представляет собой белое кристаллическое вещество с температурой плавления 88,6 градусов С при нагревании с минеральными кислотами в водном растворе гидролизуется с образованием циклогексанона и гидроксиламина.

Реакция оксимирирования протекает по следующему уравнению:



[2]

Взаимодействие циклогексанона и гидроксиламинсульфата протекает по механизму электрофильного замещения. Электрофильный характер атома углерода карбонильной группы молекулы циклогексана усиливается протонированием кислородного атома кислотой. При этом углеродный атом приобретает положительный электрический заряд. Атом азота в молекуле гидроксиламина присоединяется к нему не поделенной электронной парой.. В то же время кислородный атом карбонильной группы присоединяет к себе водород, и наконец происходит отщепление молекулы воды.

При проведении процесса оксимирирования в первую очередь крайне важно добиться достаточно полного превращения циклогексанона в циклогексаноноксим. Повышенное содержание циклогексанона в

циклогексанонксиме, помимо ухудшения технико-экономических показателей процесса, создает порой непреодолимые трудности на стадии очистки капролактама и препятствует получению конечного продукта высокого качества.

Учитывая изложенное выше, процесс оксимирования обычно проводят по противоточной схеме, по крайней мере, в две технологические ступени.

На первой из них создают избыток циклогексанона, на второй - избыток гидроксиламинасульфата.

В реакторе, где циклогексанон находится в избытке, температура поддерживается около 40°C. [2] При дальнейшем снижении температуры возникает опасность кристаллизации образовавшегося циклогексанонксима и забивка реактора и коммуникаций.

Сдвиг реакции в сторону образования циклогексанонксима существенно зависит от pH среды. Проверенные в лабораторных условиях измерения дали, следующие результаты. Таблицу.1

Таблица 1 - зависимость РН

На основании же производственного опыта установлено, что остаточное содержание циклогексанона в циклогексаноноксиме менее 0,1% достигается

| <b>РН среды</b>          | <b>2</b> | <b>3</b> | <b>4</b> | <b>5</b> | <b>6,4</b> |
|--------------------------|----------|----------|----------|----------|------------|
| Степень оксимирования, % | 65,0     | 88,0     | 94,5     | 97,8     | 99,5       |

уже при pH 4-5.

При pH>4,5 гидроксиламин интенсивно разлагается на газообразные продукты. Помимо потери гидроксиламина, выделяющийся газ перемешивает реакционную массу в сепараторах, что приводит к нарушению границы раздела фаз .

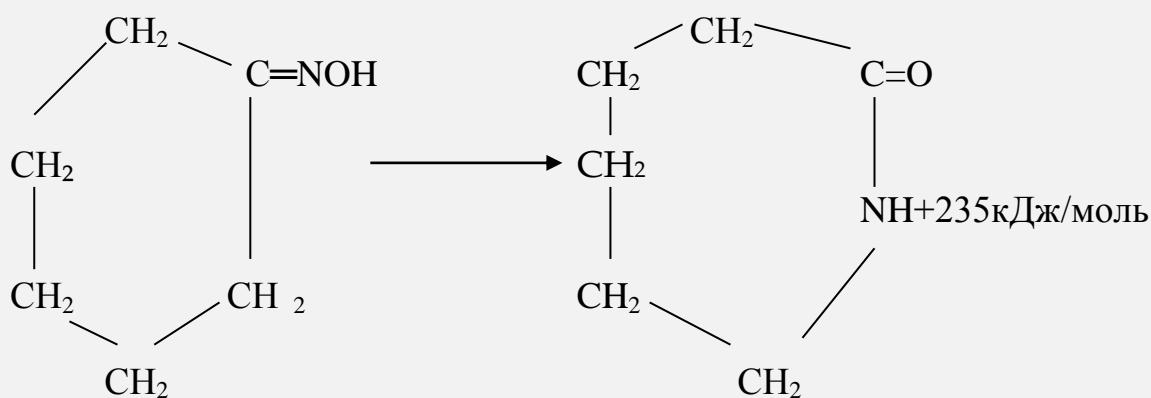
Помимо pH среды на скорость протекания реакции оказывает влияние и скорость перемешивания реакционной массы, т. к сама реакция оксимирования происходит на границе фаз.

На ступени, работающей с избытком гидроксиламинасульфата, поддерживается температура 75-80 °C.[2]

Реакторы оксимирования представляют собой вертикальные аппараты цилиндрической формы с турбинными мешалками, скорость вращения которых около 500 оборотов в минуту. Все трубопроводы, по которым идет циклогексаноноксим, обогреваются горячей водой.

## 2.5 Изомеризация циклогексаноноксима в капролактам

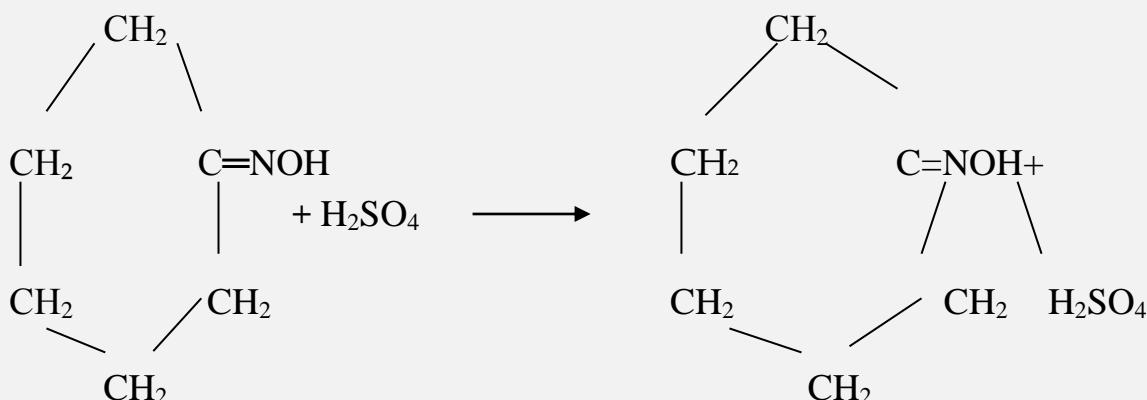
В основе процесса переработки циклогексаноноксима в капролактам лежит открытая в 1886 г. Бекманом реакция превращения оксимов в амиды кислот, известная под названием бекмановская перегруппировка. Бекмановская перегруппировка в течение последних 30 лет является основным промышленным методом получения капролактама:



[2]

Реакция протекает под действием изомеризующего агента-олеума. Для предотвращения взрыва в ходе реакции, протекающей в этих условиях с большой скоростью, она проводится при интенсивном охлаждении.

Первой стадией процесса является образование протонированной формы циклогексаноноксима:



Важна роль фактора кислотности или концентрации серного ангидрида в олеуме. Нежелательной реакцией, свойственной оксимам в присутствии кислот, является их гидролиз. Как было установлено, по мере повышения кислотности скорость гидролиза в начале возрастает, а затем при дальнейшем повышении падает.

Важным фактором нормальной работы является хорошее смешение циклогексаноноксима и олеума при надежно работающей системе отвода тепла. При неудовлетворительном перемешивании в реакторе изомеризации могут возникать зоны местных перегревов, где будет происходить повышенное осмоление органических продуктов, в первую очередь циклогексаноноксима. В подобных случаях не исключена возможность выбросов реакционной смеси из реактора вследствие быстрого разогрева.

Помимо неудовлетворительного перемешивания, причиной выбросов может быть также понижение температуры в реакторе ниже  $80^{\circ}\text{C}$ , когда реакция практически прекращается. Во избежании аварийных ситуаций реакторы изомеризации обычно снабжены системой блокировок.

После реактора изомеризации перегруппированный продукт поступает в реактор нейтрализации, где он нейтрализуется и поступает на стадию переработки лактамного масла. Температура в реакторе нейтрализации

поддерживается в пределах  $40\text{--}55^{\circ}\text{C}$ , а сама нейтрализация перегруппированного продукта производится газообразным аммиаком. [2]

## **2.6. Переработка лактамного масла**

Капролактам из лактамного слоя сепаратора после стадии нейтрализации перегруппированного продукта экстрагируют органическими растворителями. Одновременно стадию экстракции можно рассматривать и как первую ступень очистки капролактама от посторонних примесей.

В экстракционных процессах, широко применяемых в современной технологии, наиболее важным фактором, определяющим его аппаратурное и технологическое оформление, является так называемый коэффициент распределения, т.е. отношение растворимости одного и того же вещества в двух растворителях. Ни в коей мере нельзя рассматривать этот коэффициент в качестве постоянной величины даже для каждого конкретного процесса экстракции, его величина меняется в зависимости от рабочих концентраций.

Экстракционное выделение капролактама может быть одно- и двухстадийным. Известны схемы, в которых после экстракции капролактама бензолом следовало удаление последнего ректификацией с последующей дистилляцией или ректификацией самого капролактама. Эти схемы отличаются компактностью, хорошими энергетическими показаниями. В то же время они обладают тем недостатком, что примеси, все же проникшие в бензольный экстракт остаются в нем, что затрудняет получение капролактама высокого качества. Далеко не все примеси могут быть удалены дистилляционными методами.

В связи с этим в большинстве современных промышленных схем применяется двухступенчатая экстракция: первая ступень-экстракция органическим растворителем; вторая-реэкстракция капролактама водой. Выбор экстрагента для первой стадии не имеет универсального однозначного решения.

В промышленности используются такие органические продукты, как бензол, толуол, трихлорэтилен. При выборе экстрагента следует учитывать следующие факторы.

Трихлорэтилен имеет, по сравнению с бензолом и толуолом, большую плотность, в связи с чем, объем экстракционной аппаратуры в случае его применения меньше. Большая плотность трихлорэтилена обеспечивает так же лучшую разделяемость водного и органического слоев, особенно при реэкстракции водой. Кроме того, пожаробезопасность трихлорэтилена меньше. В то же время при его регенерации, которая осуществляется при повышенных температурах, некоторая часть трихлорэтилена разлагается с выделением небольшого количества соляной кислоты. Это вызывает коррозию аппаратуры. Наконец, трихлорэтилен, по сравнению с бензолом и толуолом имеет большую стоимость. [2]

## **2.7 Очистка капролактама**

Чистота мономера является непременным условием получения из него высококачественных полимерных материалов. В полной мере это относится и к капролактаму. Стадия очистки капролактама не только венчает сложный многостадийный процесс его получения, но и закладывает основы для переработки капролактама в полиамидные изделия с высокими качественными показателями. Свойства поликапроамида, в значительной степени, зависят от примесей, даже в ничтожных количествах содержащихся в капролактаме. В первую очередь их присутствие оказывается на процессе полимеризации.

При исследовании влияния примесей обычно различают два эффекта: неконтролируемый обрыв на молекулах примесей, т. е. концентрационный эффект и имеет кинетический, связанный с воздействием примесей на скорость реакции полимеризации. Экспериментально установлено, что такие вещества как амины, спирты, основания Шифора, а также сульфат аммония, заметно влияют на кинетику полимеризации, в особенности на начальной стадии процесса.

На термостойкость полимера существенное влияние оказывают ионы железа, в то же время воздействие на этот показатель со стороны органических примесей можно считать незначительным.

Примеси в капролактаме присутствуют в чрезвычайно низких концентрациях, и, кроме того в продукте, получаемом по различным технологиям, могут быть различными. В связи с этим контроль качества капролактама, как на его производстве, так и в промышленности синтетических волокон ведут по специально разработанной методике.

Важным критерием качества капролактама является так же его стабильность, т. е. постоянство показателей во времени. Стабильность капролактама однозначно связана с присутствующими в нем примесями. При хранении или транспортировке капролактама они могут вступать в разные химические реакции, что в итоге и приводит к изменению показателей. [2]

### **Общая характеристика примесей, присутствующих в капролактаме**

Некоторые из промежуточных продуктов синтеза капролактама могут попадать в конечный продукт. Хроматографическими, спектральными и другими методами в капролактаме определено большое количество разных продуктов

Например, в капролактаме, получаемом по окислительной схеме, помимо полупродуктов его синтеза (циклогексанона, циклогексанола, циклогексанонксима) спектральным методом был обнаружен октагидрофеназин. При этом показано, что в капролактаме, с высокими показателями, особенно с высоким перманганатным числом, обычно этой примеси не содержится. И наоборот, в капролактаме с низким перманганатным числом содержание октагидрофеназина составляет  $(3\text{-}4)\cdot 10^{-4}\%$ .

В капролактаме, окислительного происхождения идентифицирована также примесь О-сульфан-2-окси-1,1-дифенил-2-сульфоновой кислоты.

Было также показано, что при попадании эфиров в циклогексанон в производимом из него капролактаме содержится повышенное количество оснований.

Амины могут образовываться также из алифатических кетонов, присутствующих, правда, в незначительных количествах в спиртовой фракции. В частности примесь гентанона-2, попавшая в оксидат, весьма трудно отделить от циклогексанона, и на стадии оксимирования она может давать соответствующий оксим, а на стадии перегруппировки - амид. Последний при дистилляции капролактама гидролизуется до метиламида, либо до Н-амиламина. [2]

Капролактам относится к числу термически нестабильных продуктов. При повышенных температурах капролактам взаимодействует с кислородом, образуя гидроперекисное соединение, которое под влиянием ионов железа или кобальта превращается в адинамид, наконец, при взаимодействии со щелочью, адинамид превращается в аднат натрия с выделением аммиака.

Возможность протекания таких реакций диктует жесткие условия для хранения и перевозки капролактама. Как правило, капролактам хранится и транспортируется в расплавленном виде под «азотной подушкой» с содержанием в ней кислорода не более  $50 \text{ млн}^{-1}$ .

Распространение основных технологических методов капролактама продолжим очисткой ионообменными смолами.

### **2.7.1 Очистка ионообменными смолами**

На стадии реэкстракции капролактама водой получают 30% водный раствор капролактама, с которым обычно и проводят ионообменную очистку.

В качестве показателей, свидетельствующих об эффективности очистки, измеряется электропроводность раствора, оптическая плотность, кислотность или щелочность, перманганатная устойчивость и содержание летучих оснований.

Затем из водного раствора капролактама, пропущенного через колонны с ионообменными смолами, удаляется вода выпариванием.

Химизм процесса ионообменной очистки не вполне ясен. Можно твердо высказаться лишь в пользу того, что при ее применении из капролактама удаляются соединения кислого и основного характера, в первую очередь сульфат аммония, который в небольших концентрациях ( $\approx 0,02\%$ )[2], все же присутствует в водном растворе капролактама. Что касается таких примесей, как циклогексанон, циклогексанол, циклогексанонксим и других органических соединений, то они проходят через эту стадию непревращенными.

Обычная промышленная схема ионообменной очистки реализована в трех агрегатах по две колонны в каждом (один находится в работе, другой на регенерации).

Установку ионообменной очистки эксплуатируют при  $40^\circ \text{ С}$ . Повышение температуры выше  $50^\circ \text{ С}$  вредно сказывается на ионообменных смолах. В каждую колонку раствор поступает сверху вниз. Высота рабочего слоя в колонке 2 метра. На выходе из последней колонны раствор поступает на фильтр для отделения механических примесей. Цикл работы каждого агрегата составляет примерно трое суток. О необходимости перевода на регенерацию судят по оптической плотности (ее повышении) и увеличению электропроводности раствора.

Для вытеснения примесей, осевших на смолах, последние переводят в солевую форму обработкой азотной кислотой и едким натром. В колонны, заполненные анионитом, подают азотную кислоту, а в колонны, заполненные катионитом - едкий натр. Избыток  $\text{HNO}_3$  и  $\text{NaOH}$  удаляют водой и проводят активацию смол: анионита-едким натром, катионита-азотной кислотой. Затем в колонны подают деминерализованную воду. Об окончании промывки можно судить по равенству показателей электропроводности на входе воды в колонну и на выходе. Кислые и щелочные сточные воды после регенерации смешиваются и направляются на биологическую очистку. [4]

## **2.7.2 Стадия дистилляции капролактама.**

Это последняя ступень получения готовой продукции - товарного капролактама. На ней производится очистка капролактама от воды, легколетучих и труднокипящих примесей.

Как в отечественных, так и в зарубежных производствах значительное применение получила шести ступенчатая схема очистки капролактама с применением роторных тонкопленочных испарителей.

Упаренный раствор капролактама поступает на вторую ступень – обезвоживание, которая осуществляется в испарителе 1 при абсолютном давлении 4 КПа. Дистиллят, содержащий воду и частично капролактам, возвращается на стадию нейтрализации. Кубовый продукт собирается в сборнике 2, а затем насосом подается в следующую ступень – обессмоливание, которая осуществляется на двух последовательно включенных испарителях 6 и 7. Кубовый продукт, содержащий значительное количество смол, смешивается с кубовым продуктом 5 ступени в сборнике 16. Дистиллят из конденсатора 8 стекает в напорную емкость 9 и далее, через барометрический сборник 10 поступает в промежуточный сборник 11. Из него небольшая часть капролактама насосом закачивается в барометрический сборник 12, откуда он поступает на смазку нижнего подшипника роторно-пленочных испарителей всех ступеней.

Другим насосом обессмоленный продукт из сборника 11 направляется на третью ступень – отгонку легколетучих примесей. Эта операция осуществляется в тонкопленочных испарителях 13 и 14. Пары, образовавшиеся в испарителе 14, пройдя через испаритель 13, конденсируются в конденсаторе 16. Образовавшийся конденсат через барометрическую емкость 17 и барометрический сборник 18 насосом подается в барометрический сборник 15. Дистиллят отбирают при флегмовом числе (отношение флегма - дистиллят) равном 12-15.

Кубовый продукт насосом подается на четвертую ступень – основную дистилляцию. Ее проводят в испарителе 19. Дистиллят четвертой ступени после

конденсатора 21 и барометрического сборника 22 собирается в сборнике очищенного продукта 23. Степень отгона на этой стадии составляет 70%. Кубовый продукт после испарителя 19 через барометрический сборник 20 посредством насоса поступает на пятую ступень – ректификацию. Она обычно выполнена аналогично третьей ступени и проводится в испарителе 24 и испарителе 25. Часть дистиллята их конденсатора 28 через сборники 29 и 30 подается в сборник 27.

Кубовый продукт из сборника 26 насосом подается на испаритель шестой ступени 31, где смолы отгоняются (отжимаются от капролактама). Сюда же подают кубовый продукт со второй ступени. Дистиллят шестой ступени возвращается на одну из предыдущих стадий, а кубовый остаток попадает в сборник 36, снабженный мешалкой. В него же подается горячая вода. Образовавшаяся смесь выводится с установки на сжигание.

Каждая ступень оснащена собственной пароэжекторной установкой. За исключением первой, на всех ступенях поддерживается абсолютное давление 260-800Па. Конденсация паров осуществляется водой, подогретой до 70° С. [5]

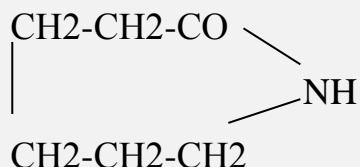
Шестиступенчатая система очистки капролактама сложна и энергоемка. Обычно ее размещают в специальном производственном корпусе.

Колонны – испарители с падающей пленкой, обладают низким гидравлическим сопротивлением. [5]

## **2.8. Свойства, характеристика, и области применения капролактама**

Капролактам (лактам ε-аминокапроновой кислоты)

Формула:



|                         |                  |
|-------------------------|------------------|
| Молекулярная масса      | -113,06 г/моль   |
| Температура плавления   | -341,15 К        |
| Температура кипения     | -535,65 К        |
| Критическая температура | -794,59 К        |
| Критическое давление    | -4765 КПа        |
| Теплота образования     | -1582,96 кДж/кг. |

Капролактам получается путем Бекмановской перегруппировки циклогексанонксима. Это бесцветное кристаллическое вещество, хорошо растворимое в спирте, токсичное. Предельно-допустимая концентрация паров капролактама в воздухе –10 мг/м<sup>3</sup>.

Согласно ГОСТ 7850-86 капролактам высокого сорта должен соответствовать следующим нормам и требованиям:

- ✓ перманганатный индекс - не более 4;
- ✓ цветность водного раствора капролактама с массовой долей 50% ед. Хазена - не более 3;
- ✓ содержание летучих оснований, моль/кг, - не более 0,4;
- ✓ температура кристаллизации, ° С, - не ниже 68,8;
- ✓ массовая доля железа, %, - не более 0,00002;
- ✓ массовая доля циклогексанонксима, %, - не более 0,002
- ✓ оптическая плотность капролактама с массовой долей 50%, - не более 0,04;
- ✓ кислотность, моль/кг, - не более 0,05;
- ✓ щелочность, моль/кг, - не более 0,1
- ✓ pH 20%-ного водного раствора - 6,6-7,6

Капролактам применяется в производстве капрона, защитных покрытий, искусственной щетины, заменителей кожи, пластмасс. [5]

### **3. ОПИСАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ И ОБОРУДОВАНИЯ СТАДИИ ДИСТИЛЯЦИИ**

Установка очистки капролактама состоит из трех технологических ниток производительностью 20 тыс. тонн в год товарного капролактама каждая. Каждая из технологических ниток состоит из последовательно работающих главных систем:

- ✓ система 0 - выпарка водного раствора из капролактама;
- ✓ система 1 - обезвоживание капролактама;
- ✓ система 2 - отгонка тяжелокипящих примесей;
- ✓ система 3 - отгонка легколетучих примесей;
- ✓ система 4 - основная дистилляция;
- ✓ система 5 – дополнительная отгонка тяжелокипящих примесей.

К главным системам прикреплены следующие дополнительные вспомогательные и питательные системы:

- ✓ система 6 – обратная для охлаждения;
- ✓ система 7 – сбор конденсата от пароэжекторов;
- ✓ система 8 – приготовление едкого натра;
- ✓ система 9 – горячая вода для конденсаторов и ловушки;
- ✓ система 10 – вода для торцевых уплотнений;
- ✓ система 12 – горячая вода для обогрева;
- ✓ система 13 – пар и конденсат;
- ✓ система 14 – «азотное дыхание»;
- ✓ система 16, 17 – промывка аппаратов;
- ✓ система 18 – очистка конденсата;
- система 20 – кубовая дистилляция. [5]

#### **Система 0 – выпарка водного раствора капролактама**

Стадия выпарки представлена тремя технологическими линиями. Выпаривание воды из водного раствора капролактама осуществляется в трехкорпусной выпарной установке.

В качестве греющего агента на 1 ступени используется вторичный пар вскипания от сборника поз 13/70 и пар 0,5 МПа, на 2 и 3 ступенях – соковый пар предыдущей ступени.

22-32%-ый раствор капролактама со стадии экстракции из сборника поз Е-0140 проходит ионообменные фильтры и поступает в сборник поз. 0/61, откуда насосом поз. 0/94 поступает через вмонтированный в испаритель предварительный подогреватель, нагревается до температуры кипения и поступает в испаритель поз. 0/12.1. Перед поступлением в испаритель раствор проходит через теплообменники поз. 0/42.1,2, где подогревается паром до температуры 70-95° С. Расход водного раствора поддерживается автоматически регулятором FIRGA-1301. [5]

На 1 стадии выпарки при давлении 600 мм рт.ст. раствор лактама упаривается до концентрации 35%. Температура верха колонны 0/16.1 поддерживается равной 80-95° С за счет подачи пара. Давление пара регулируется прибором 0/16.1 поддерживается равной 80-95° С за счет подачи пара.

Смесь пара из жидкости, которая образуется в испарителе, поступает в сепаратор поз. 0/171.1. Жидкая фаза насосом поз. 0/82.1 подается в последующий испаритель поз. 0/12.2. Паровая фаза поступает в ректификационную колонну поз. 0/16.1, куда в виде флегмы подается конденсат сокового пара насосом поз. 0/92 из сборника поз. 0/70. Расход конденсата сокового пара регулируется прибором FIC-1302.

Соковый пар колонны поз. 0/16.1 направляется в испаритель поз. 0/12.2 и используется для обогрева испарителя.

В испарителе поз. 0/12.2 жидкость протекает через аппарат последовательно два раза. Второй поток жидкости обеспечивается насосом поз. 0/82.2. Образовавшийся пар отделяется от раствора капролактама в сепараторе поз. 0/171.2 и поступает в колонну поз. 0/16.2, где он

очищается от капролактама и поступает на обогрев испарителя поз. 0/12.3.

Вверх колонны поз. 0/16.3 подается флегма насосом поз.0/92, расход которой регулируется прибором FIC – 1304. Конденсат сокового пара из испарителя поз.0/12.2 поступает в конденсатор поз .0/28. [5]

Раствор капролактама насосом поз. 0/82.3 подается в испаритель поз. 0/12.3, также работающий по двухприточному принципу. Второй поток жидкости обеспечивается насосом поз. 0/82.4. Сырой капролактам, упаренный до 90%, стекает из испарителя по барометрическому трубопроводу в емкость поз. 0/73, откуда затем переливается в сборник поз. 0/64. Конденсат сокового пара из испарителя поз. 0/12.3 поступает в конденсатор поз. 0/28. Образовавшийся пар в испарителе поз. 0/12.3 отделяется от раствора в сепараторе поз. 0/170 и поступает в колонну поз. 0/17.

В верхнюю часть колонны соковый пар подается от насоса поз. 0/92, расход который регулируется прибором FIC-1305. Из верхней части колонны соковый пар поступает в конденсатор поз. 0/28. Температура вверху колонны поз. 0/17 поддерживается в пределах 45-65° С.

Вакуум в системе 0,006-0,008 МПа (48-63 торр.) создается пароэжекторной установкой поз. 0/122 и регулируется при помощи прибора PIRCA-1522 изменением количества подаваемой охлаждающей воды в конденсатор поз. 0/28. Из конденсатора поз. 0/28 конденсат сокового пара поступает по барометрическому сборнику в емкость поз. 0/70, в которую поступает также конденсат от пароэжекторной установки поз. 0/122.

Из емкости поз. 0/70 конденсат при помощи насоса поз. 0/92 подается в качестве флегмы в колонны поз. 0/16.1, 0/16.2, 0/17, уровень в емкости регулируется прибором LICA-1403 откачкой конденсата насосом поз. 0/92 на стадию экстракции в сборнике поз. Е-0460.

Сборники поз. 0/61, 0/64, 0/77 работают под «азотным дыханием».

Расход азота, подаваемого в сборники, контролируется ротаметрами соответственно FI-0330, FI-1364.

Сырой капролактам из сборника поз.0/64 подается на дальнейшую переработку в 1-ую систему обезвоживания. [5]

### **Система 1-обезвоживание капролактама**

Установка дистилляции капролактама предназначена для получения очищенного капролактама-сырца. Установка состоит из трех одинаковых технологических линий.

90%-ный капролактам-сырец из сборника поз. 0/64 насосом поз. 1/80 подается в тонкопленочный испаритель поз. 1/02 Расход капролактама регулируется автоматическим регулятором FIRC – 1310. На всас насоса подается 25%-ный раствор едкого натра, из расчета получения раствора капролактама с содержанием до 0,6% (вес) щелочи.

Внутри корпуса тонкопленочного испарителя имеется ротор. Разделяемая смесь подается в верхнюю часть испарителя и при помощи вращающегося ротора распределяется тонкой пленкой по обогреваемой стенке аппарата. При этом легкокипящая часть смеси испаряется, а высокая часть смеси стекает в нижнюю часть испарителя. Обезвоживание в испарителе поз. 1/02 производится при температуре не более 90° С и остаточном давлении не более 60 торр. Обогрев испарителя производится паром 1,2 МПа (12 кгс/см<sup>2</sup>). Давление греющего пара, подаваемого в рубашку испарителя поз. 1/02 регулируется автоматическим регулятором PIRC-1530. Конденсат пара из испарителя отводится в сборник поз. 13/70. Соковые пары, выходящие из верхней части испарителя поз. 1/02 конденсируются в конденсаторе поз. 1/20 за счет подачи в трубное пространство конденсатора обратной воды. Конденсат сокового пара проходит через сепаратор поз. 1/172, отделяется здесь от не сконденсировавшихся паров и собирается в барометрический сборник поз. 1/72, из которого направляется в сборник поз. 3/70.3 и далее на стадию

нейтрализации. Несконденсировавшиеся в конденсаторе поз. 1/20 пары направляются в ловушку поз. 1/26, где конденсируются за счет подачи обратной воды.

Обезвоженный капролактам из нижней части тонкопленочного испарителя поз. 1/02 через смотровой фонарь поступает в барометрический сборник поз. 1/66. Уровень в сборнике поз. 1/66 контролируется прибором LIRCA -1406, выдающей обезвоженного капролактама насосом поз. 2/80 на стадию предварительной дистилляции.

Вакуум в системе обезвоживания создается трехступенчатой пароэжекторной установкой поз. 1/120 и регулируется подачей пара при помощи регулятора PIRC-1533. На линии отбора вакуума от ПЭУ в систему установлены шибера для отключения ПЭУ от системы непосредственно с ЦПУ или в корпусе по месту. Конденсат от пароэжекторной установки собирается в сборник поз. 7/67, из которого насосом поз. 7/93.1 выдается на стадию нейтрализации для разбавления. [5]

## **Система 2 – отгонка тяжелокипящих примесей**

Данная система служит для отделения капролактама от смол и других тяжелокипящих примесей.

Обезвоженный капролактам из сборника поз. 1/66 насосом поз. 2/80.1 с температурой 105-110° С подается в тонкопленочный испаритель поз. 2/01. Расход капролактама в испарителе поддерживается регулятором FIRC-1315. В рубашку испарителя поз. 2/01 подается греющий пар с давлением 1,2 МПа (12 кгс/см<sup>2</sup>), который регулируется клапаном FIRC-1542.

Паровой конденсат после испарителя в сборнике конденсата поз. 13/70 и поз. 13/67 при температуре 120-130° С и остаточном давлении не более 7 мм. рт.ст. в испарителях поз. 2/02 и поз. 2/01 капролактам отгоняется от смол и тяжелокипящих примесей. Пары капролактама, выходящие из испарителей поз. 2/02 и 2/01 конденсируются в конденсаторе поз. 2/21 за счет подачи воды. Далее конденсат через сепаратор поз. 2/172 с температурой 85-95° С стекает в

барометрический сборник поз. 2/66 или сборник  
(обезвоживание).

поз. 1/66 системы 1

В конденсаторе поз. 2/21 в качестве хладогена используется вода для конденсаторов с температурой 70-75° С от системы 9.

Кубовый остаток от испарителя поз. 2/01 стекает в тонкопленочный испаритель поз. 2/02, подвод пара и отвод парового конденсата у которого осуществляется аналогично испарителю 2/01.

Несконденсировавшиеся пары капролактама в конденсаторе поз. 2/21 улавливаются после сепаратора поз. 2/172.1 в ловушках поз. 2/26.1, откуда направляются в сборник поз. 2/66.

Из сборника поз. 2/66 жидкий капролактам поступает к насосу поз. 3/80.1 на дальнейшую переработку.

Вакуум в системе создается четырехступенчатой пароэжекторной установкой поз. 2/121.1. Конденсат от пароэжекторов поступает в сборник поз. 7/72, далее в сборник поз. 7/67.

Смолы и тяжелокипящие примеси из куба испарителя поз. 2/02 поступают в сборник поз. 2/64, в который также поступают кубовые остатки из испарителя поз. 5/02 и продукты перегонки системы 20 из сепаратора позиции 20/75. Из сборника поз. 2/64 кубовые остатки насосом поз. 2/80.12 подаются в тонкопленочные испарители поз. 2/06 и поз. 2/07, работающие последовательно. В среднюю часть испарителя подается пар с давлением 1,2 МПа (12 кгс/см<sup>2</sup>), который поддерживается автоматическим регулятором PIRC-1552 и PIRC-1555.

Нижняя часть испарителей подогревается паром давления 0,4-0,5МПа(4-5кгс/см<sup>2</sup>).

В этих испарителях при температуре 150-160° С из кубовых остатков отгоняется капролактам, который конденсируется в конденсаторе поз. 2/24 и стекает в сборник поз. 2/66. Неконденсирующиеся пары капролактама улавливаются в ловушках поз. 2/26.2.1 и поз. 2/26.2.2. Из ловушек капролактам поступает в сборник поз. 2/66.

Вакуум в системе создается четырехступенчатой пароэжекторной установкой поз. 2/121.2. Конденсат от пароэжекторов поступает в сборник поз. 7/73 и далее в сборник поз. 7/67.

Кубовый продукт из испарителя поз. 2/07 с температурой 160° С поступает в барометрический сборник поз. 2/75 или в кубовый аппарат поз. 20/67 для дальнейшей переработки. [5]

### **Система 3 – отгонка легколетучих примесей**

Капролактам из сборника поз. 2/66 насосом поз. 3/80.1 с температурой 85-95° С подается последовательно в тонкопленочный испаритель поз. 3/08 и тонкопленочный испаритель поз. 3/04. Расход капролактама регулируется автоматически регулятором FIC –1326.

Для обогрева этих аппаратов используется пар с давлением 1,2МПа (12 кгс/см<sup>2</sup>), который подается автоматически регулятором PIRC-1571 и PIRC-1574, соответственно в испарители поз. 3/08 и поз. 3/04. Для обогрева нижней части аппарата поз. 3/04 подается пар с давлением 0,4-0,6 МПа (4-6 кгс/см<sup>2</sup>). При температуре 130-140<sup>2</sup> С и остаточном давлении 7 мм. рт. ст. в испарителях поз. 3/08 и поз. 3/04 отгоняются легколетучие компоненты, которые конденсируются в конденсаторе поз. 3/23, несконденсировавшиеся пары улавливаются в ловушках поз. 3/26.1 и поз. 3/26.2 аналогично ранее описанному для таких же аппаратов системы 2.

Капролактам после ловушек и конденсаторов собирается в барометрический сборник поз. 3/70.1, откуда насосом поз. 3/80.2 подается к регулятору уровня LICA-1475 для дальнейшей переработки.

Предусмотрена подача лактам-сырца из сборника поз. 1/66 помимо второй ступени (предварительная дистилляция) через регулятор FRC-1327.

Основной поток продукта, который выходит из кубовой части испарителя с температурой 140° С подается в барометрическую емкость поз. 3/70.2, уровень которой контролируется сигнализатором уровня LIRCA-1414 и далее подается на основную дистилляцию (система 4).

Вакуум в системе создается четырехступенчатой пароэжекторной установкой поз. 3/121. Конденсат от пароэжекторов поступает в барометрическую емкость поз. 7/72 и оттуда направляется в резервуар поз. 7/67. [5]

### **Система 4-основная дистилляция**

Кубовый продукт от предварительной ректификации подается насосом поз. 4/80.1 из емкости поз.3/70.2 в тонкопленочный испаритель поз.4/01 с температурой 105-110° С. Количество питающего продукта контролируется регулятором расхода FI-1331.

В испаритель подается пар с давлением 1,2 МПа (12 кгс/см<sup>2</sup>), давление которого регулируется прибором PIRC-1587, нижняя часть аппарата подогревается паром с давлением 0,4-0,6 МПа (4-6 кгс/см<sup>2</sup>). При остаточном давлении не более 7 мм. рт.ст. и температуре 120-130° С в испарителе остаются пары капролактама, которые проходят через колонну 4/169, где отгоняются от жидкости и конденсируются в конденсаторе поз. 4/22. Очищенный капролактам из конденсатора поз. 4/22 через сепаратор поз. 4/172 поступает в барометрический сборник поз. 4/70.2, откуда насосом поз. 4/80.2, в зависимости от уровня в сборнике выдается на склад готовой продукции, несконденсировавшийся капролактам улавливается в ловушках поз. 4/26.1 и поз. 4/26.2, из которых выдается в барометрический сборник поз. 2/66. Уровень в сборнике поз. 4/70.2 регулируется автоматически прибором LIRCA-1419. Сигнализация предельных параметров уравнений регистрируется на ЦПУ. Из сборника поз. 4/70.2 насосом поз. 4/80.2 капролактам может быть возвращен на любую стадию процесса.

Вакуум в системе создается четырехступенчатой пароэжекторной установкой поз. 4/121. Конденсат от пароэжекторов поступает в емкость поз. 7/72 и далее в емкость поз. 7/67 на биоочистку.

Кубовая жидкость из испарителя поз. 4/01 и температурой 120-130° С поступает в барометрический сборник поз. 4/70.1, откуда подается на вторичную ректификацию (система 5). [5]

### **Система 5- дополнительная отгонка тяжелокипящих примесей**

Кубовый продукт основной дистилляции из емкости поз. 4/70 насосом поз. 5/80.1 подается в верхнюю часть тонкопленочного испарителя поз. 5/08.

Расход капролактама регулируется автоматическим регулятором расхода FIR-1338. Температура на входе продукта в испаритель составляет около 125° С.

В испарителе поз. 5/08, который работает вместе с нижерасположенным испарителем поз. 5/02 дистиллируется около 25 % от общего количества очищенного капролактама.

Греющий пар с давлением 1,2МПа (12кгс/см<sup>2</sup>) подается в среднюю часть тонкопленочных роторных испарителей. Давление пара поддерживается регулятором PIRC-1607 и PIRC-1609.

Выпаренный капролактам конденсируется в конденсаторе 5/23 и через сепаратор поз. 5/172 стекает в сборник поз. 5/26.1 и поз. 5/26.2.

Вакуум в системе создается четырехступенчатой пароэжекторной установкой поз. 5/121. Конденсат пароэжекторов поступает в сборник поз. 7/72, далее в сборник поз. 7/67 и далее на биоочистку. Кубовый остаток из испарителей поз. 5/08 и поз. 5/02 поступает в сборник поз. 2/69. [5]

### **Вспомогательные системы**

#### **Система 6 - снабжение охлаждающей оборотной водой**

С целью повышения давления оборотной воды, поступающей в объекты 03 корпуса 909 используются три группы насосов, по четыре насоса в каждой группе (2 рабочих и 2 резервных).

После первой группы (насосы поз.6/95.1,2) оборотная вода с давлением 0,4-0,6 МПа (4,8-6,6 кгс/см<sup>2</sup>) поступает в конденсаторы поз. 0/28 и 0/20 соответственно систем 0 и 1 и конденсаторы ПЭУ поз. 0/121.

После второй группы (насосы поз.6/96.1,2) оборотная вода с давлением 0,38-0,55 МПа (3,8-5,5 кгс/см<sup>2</sup>) поступает к теплообменнику поз. 9/49 системы 9.

Работа насосов контролируется по величине давления на нагнетании последних по приборам PIA-1621, PIA-2621, PIA-2622. Падение давления вызывает сигнализацию на ЦПУ.

Остальные потребители запитываются оборотной водой из заводской сети без предварительного повышения давления оборотной воды. [5]

### **Система 7 - сбор конденсата пароэжекторных установок**

Конденсат пароэжекторных установок собирается в сборник поз. 7/72, поз. 7/73, откуда по переливу поступает в общий сборник поз. 7/67. Уровень регулируется прибором LICA-0404 и клапаном, установленным на линии КСП, подаваемого на подушку в сборник поз. 7/67. Насос поз. 7/93.1,2 откачивает конденсат пароэжекторных установок, количество которого фиксируется прибором FS-0309, на нейтрализацию в реактор Р-0550.

Сточные воды, стекающие с рабочих площадок, собираются в дренажную заглубленную емкость поз. 7/69, она принимает так же проливы едкого натра из резервуара поз. 8/67.

Уровень в дренажной емкости контролируется по местному манометру (вторичному прибору уровнемера LIAE –0405). Максимальный и минимальный уровни сигнализируются на ЦПУ. При максимальном уровне заполнения включается насос, откачивающий сточные воды на биоочистку, количество которой (воды) фиксируется прибором FS-0310. При минимальном уровне происходит отключение насоса. [5]

### **Система 8 - прием едкого натра и выдача его потребителям**

Прием едкого натра в цех осуществляется периодически в емкость для едкого натра поз. 8/67. Количество щелочи, поступающей в цех фиксируется прибором FS-0311/ Контроль за уровнем сигнализации предельных значений при максимальном уровне в сборнике обеспечивает прибор LIA –0406.

Из сборника едкий натр самотеком поступает к потребителям в количестве не более 0,027 м<sup>3</sup>/г., которое регистрируется и контролируется на ЦПУ приборами FIRC-1346, FIRC-2346, FIRC-3346. [5]

### **Система 9 - циркуляция воды по конденсатам и ловушкам**

Система конденсаторов предназначена для конденсации паров капролактама водой температуры 70-75° С. Она выполнена в виде трех технологических линий.

Емкость поз. 9/62 одна на три технологические линии.

Заполняется она чистым конденсатом, поступающим от системы 18. Температура в емкости контролируется местным термометром ТI-0014. Для разогрева емкости предусмотрена подача острого пара с давлением 0,4-0,6- МПа (4-6 кгс/см<sup>2</sup>).

Уровень в емкости контролируется по месту, на ЦПУ сигнализируется уровень в емкости поз. 9/62 прибором LIA-0408. Из сборника вода подается насосом поз. 9/83.1,2 и конденсатором поз. 2/24, поз. 2/21, поз. 3/23, поз.4/22, поз. 5/23. I, II и III технологических линий дистилляции капролактама, к конденсатору поз. 20/24 системы перегонки кубовых остатков. Обратная горячая вода в сборник поз. 9/62.

Перед подачей в конденсаторы, вода охлаждается в теплообменнике поз. 9/49, температура воды, после которого поддерживается в пределах 70-75° С регулирующим клапаном TIRC –1176, TIRC –2176 изменением количества оборотной воды, подаваемой в теплообменник поз. 9/49. К ловушкам вода из емкости поз. 9/62 подается насосом поз. 9/85.

Обратная горячая вода после ловушек стекает в емкость поз. 9/62. [5]

## **Система 10 - вода для торцевых уплотнений**

Для охлаждения торцевых уплотнений роторных испарителей существует циркуляционная система, состоящая из емкости поз. 10/71, насоса поз. 10/92 и теплообменника 10/40. при помощи обратной воды, вода для торцевых уплотнений охлаждается в теплообменнике поз. 10/40 и направляется к торцевым уплотнителям испарителей.

Температура воды поддерживается постоянной при помощи регулятора TIC-0020. Вода от торцевых уплотнений, испаряясь, возвращается в сборник поз. 10/71. [5]

## **Система 12 - циркуляция обогревающей воды**

Для обогрева трубопроводов и аппаратов с капролактомом создана система циркуляции воды. В емкость поз. 12/66 поступает чистый конденсат от системы 18. Температура в емкости контролируется термометром TI-0017.

Для разогрева емкости предусмотрена подача острого пара с давлением 0,4-0,5 МПа (4-5 кгс /см<sup>2</sup>). Уровень в емкости контролируется по месту, на ЦПУ сигнализируются максимальный и минимальный уровни заполнения емкости поз. 12/66 прибором LIA- 0412. Воздушка емкости выведена на крышку корпуса и охлаждается обратной водой.

Из емкости поз. 12/66 насосом поз. 12/86.1,2 горячая вода поступает к потребителям.

Обратная горячая вода вновь собирается в емкости поз. 12/66. перед подачей потребителям вода охлаждается в теплообменнике поз. 12/40, температура после которого поддерживается в пределах 85-95°C регулирующим контуром TIC-0058 изменением количества обратной воды, подаваемой в теплообменник.

Предусмотрены варианты переключения теплообменника в режим подогрева воды, при этом закрывается арматура на входе и выходе обратной воды и открывается на входе пара и выходе конденсата из теплообменника.

Это необходимо сделать при понижении температуры циркулирующей обогревающей воды ниже +85° С. Обратную операции должны произвести при повышении температуры горячей воды в циркуляционном обогревательном контуре выше +95°С. [5]

### **Система 13 - пар и конденсат**

Насыщенный пар с давлением до 1,55 МПа из теплопункта (корпус 922) поступает в цех с температурой 214-220° С (контролируется по месту термометром ТI-0020, на ЦПУ по вторичному прибору ТI-0060), после чего разводится потребителям. Давление пара в коллекторе регулируется автоматическим регулирующим контуром PIRCI-0523 изменением количества пара, подаваемого из сети завода.

Количество пара, поступающего в цех, фиксируется прибором FS-0316. Пар 1,55Мпа используется для обогрева ротационных тонкопленочных аппаратов и в качестве транспортирующего агента при работе пароэжекторных установок. Паровой конденсат собирается в сборник поз. 13/70. Уровень в сборнике регулируется автоматически выдачей парового конденсата в сборнике поз. 13/67 регулятором LICA –0410.

Сигнализация предельных значений и показания уровня выведены на ЦПУ.

Предусмотрена выдача парового конденсата из сборника поз. 13/70 в сборник поз. 13/67. через воздушный калорифер для подогрева воздуха в помещении в зимнее время.

Пар с давлением 0,5Мпа подводится к потребителям без изменения входных параметров. Количество его фиксируется прибором FS-0307, давление регистрируется на ЦПУ прибором PIRA-0522 (при падении давления срабатывает сигнализация на ЦПУ). Температура 175-184°С контролируется по местному термометру. Конденсат от потребителей собирается в сборник конденсата поз. 13/67, где давление сбрасывается до атмосферного.

Пар вторичного вскипания конденсируется в теплообменнике поз. 9/46 оборотной водой.

Показания величины уровня, сигнализация предельных значений выведены на ЦПУ (LIA-0411). Часть конденсата из сборника поз. 13/67 забирается в систему 18 (подготовка конденсата). Остальная часть конденсата при помощи насосов 18/99.1,2 выдается в сеть завода (теплопункт, корпус 922). Количество выдаваемого конденсата фиксируется прибором FS-0317, FS-0318, FS-0319. [5]

#### **Система 14 - «азотное дыхание»**

Чтобы предотвратить контактирование капролактама с кислородом воздуха в сборнике поз. 0/61.1, поз. 2/75, поз. 20/75, поз. 3/70.3, поз. 4/64, поз. 0/64, поз. 1/66, поз. 2/66, поз. 2/69, поз. 3/70, поз. 4/70.1,2 подается азот с температурой +90° С. Азот подается из сети завода с давлением 0,2-0,6 МПа (2-6 кгс/см<sup>2</sup>) через буферный резервуар поз. 14/69 в обогреваемый паром теплообменник, в котором азот нагревается до температуры +85-90° С. температура азота регулируется автоматическим регулятором TIC-0061 изменением количества пара , подаваемого в теплообменник поз. 14/40. Давление в системе «азотного дыхания» поддерживается в диапазоне 0,01-0,02 МПа автоматическим регулятором PIC-0577 изменением количества азота, подаваемого из сети. После регулирующего клапана через фильтр азот разводится к потребителям. Для предотвращения повышения давления в системе «азотного дыхания» предусмотрен гидрозатвор. [5]

#### **Система 15 - прием в цех сжатого воздуха, воздуха КИПиА, азота для продувки**

Для продувки трубопроводов и аппаратов в пусковой период , перед ремонтными работами в цех подводится сжатый воздух с давлением 0,35-0,45 МПа (3,5-4,5 кгс/см<sup>2</sup>).

Для обеспечения работы КИПиА в цех принимается воздух КИПиА с давлением 0,6-0,8 МПа (6-8 кгс/см<sup>2</sup>). Падение давления воздуха КИПиА сигнализируется на ЦПУ.

Для продувки трубопроводов и аппаратов в цех подведен азот с давлением 0,2-0,7 Мпа (2-7 кгс/см<sup>2</sup>). [5]

### **Система 16 и 17 - промывка аппаратов**

Системы 0, 1 и 2 периодически промываются по плану без остановки производства. Системы 3, 4, 5 и 20 промываются при необходимости и при этом останавливается производство. Для промывки выпарной установки, на которой работают испарители с плавающей пленкой, применяется конденсат от сборника поз. 16/67, который после окончания промывки снова возвращается в сборник. Насосом поз. 16/100.1,2 промывные воды подаются на биоочистку, количество выдаваемых сточных вод фиксируется прибором FS-0322. Для промывки части установки, на которой работают роторные испарители, конденсат подается из сборника поз. 15/69. После промывки конденсат направляется в сборник поз. 2/160 или в емкость поз. 3/70.3. [5]

### **Система 18 - очистка конденсата**

Конденсат из сборника конденсата поз. 16/17 проходит теплообменник поз. 18/44, где охлаждается до температуры 35-40° С, затем откачивается насосом поз. 18/98.1,2 и направляется к фильтрам поз. 18/13.1,2 для очистки от механических примесей. Температура конденсата регулируется автоматически контуром TIC-0041 изменением количества оборотной воды, подаваемой в теплообменник.

По величине перепада давления до и после фильтра определяется чистота фильтра. [5]

### **Система 20 - перегонка кубовых остатков**

Кубовые остатки 2-ой системы подвергаются перегонке в кубовом аппарате поз. 20/67, который представляет собой цилиндрическую емкость со встроенными змеевиками, это производится с целью повысить выход капролактама. При температуре 100-160° С, которая обеспечивается подачей пара 0,1-0,3 МПа (1-3 кгс/см<sup>2</sup>) (давление пара регулируется прибором PIC-0566) и давлении более 4 мм.рт.ст. из кубовых остатков отгоняется капролактам, конденсируется в конденсаторе поз. 20/24 и стекает через сепаратор поз. 20/172 в барометрический сборник поз. 20/75 и далее в сборник поз. 3/70.3. В этот сборник подается также вода, содержащая капролактам после обезвоживания (система 1).

Сборник поз. 3/70.3 в зависимости от уровня (регулируется автоматически прибором LICA 0414) выдается к объекту от на стадии нейтрализации.

Вакуум в системе создается четырехступенчатой пароэжекторной установкой поз. 20/121, конденсат пароэжекторов собирается в сборнике поз. 7/73 и поз.7/67 после выдается на биоочистку. Периодически остаток из кубового аппарата смывается в емкость с мешалкой поз. 2/160, разбавляется конденсатом, поступающим от системы 17, и с помощью насоса поз. 2/80.3 выдается на установку сжигания отходов. Количество выдаваемых отходов фиксируется прибором FS-0302. предусмотрена выдача кубового остатка в емкости X-0020 и X-0030 корпуса 910, предназначенные для хранения некондиционного капролактама, а также в Р-01/0550 и в емкость стадии экстракции Е-02/0080.

### **3.1. Описание и перечень систем, блокировок сигнализации и предохранительных устройств**

Назначение аварийно-производственной сигнализации - предупредить персонал о возможных нарушениях технологического режима на рабочем месте, что дает возможность своевременно принять меры по налаживанию режима. [5]

**Таблица 2 -перечень систем сигнализации стадии дистилляции**

| <b>Наименование сигнала</b>   | <b>Величина срабатывания сигнала</b> |              |
|---|--------------------------------------|--------------|
|   | <b>Мин.</b>                          | <b>Макс.</b> |
| 2   | 3                                    | 4            |
| Уровень в сборнике поз. 0/61 LIRA-0401  | 20 %                                 | 80 %         |
| Понижение расхода водного раствора лактама в испарителе поз.0/12                | 6 м <sup>3</sup> /ч                  | -            |
| Уровень в сборнике поз. 0/64  | 20 %                                 | 80 %         |
| Повышение давления в конденсаторе поз. 0/28                                     | -                                    | 0,01 МПа     |
| Уровень флегмы в барометрическом сборнике поз. 0/70                             | 20 %                                 | 80 %         |
| Изменение давления воды, поступающей к сальнику уплотнителя испарителя поз.1/02 | 0,18 МПа                             | -            |
| Уровень в сборнике поз. 1/66  | 20 %                                 | 80 %         |
| Изменения уровня в барометрическом сборнике поз. 2/69                           | 20 %                                 | 80 %         |
| Изменения уровня в барометрическом сборнике поз. 2/66                           | 20 %                                 | 80 %         |
| Изменения уровня в барометрическом сборнике поз. 3/70.1                         | 20 %                                 | 80 %         |
| 1   | 2                                    | 3            |

| 1  | 2        | 3    |
|--|----------|------|
| Изменения уровня в барометрическом сборнике поз. 3/70.2    | 20 %     | 80 % |
| Изменения уровня в сборнике поз. 4/64                      | 20 %     | 80 % |
| Изменения уровня в барометрическом сборнике поз. 4/70.1    | 20 %     | 80 % |
| Изменения уровня в барометрическом сборнике поз. 4/70.2    | 20 %     | 80 % |
| Изменения уровня в сборнике поз. 5/70.1                    | 20 %     | 80 % |
| Изменения уровня в сборнике поз. 5/70.2                    | 20 %     | 80 % |
| Понижение давления оборотной воды в цех                    | 0,45 МПа | -    |
| Понижение давления оборотной воды, поступающей к 3 ступени | 0,45 МПа | -    |
| Понижение давления в линии нагнетания насоса поз. 6/96.1,2 | 0,48 МПа | -    |
| Понижение давления в линии нагнетания насоса поз. 6/95.1,2 | 0,48 МПа | -    |
| Изменение уровня емкости поз. 7/67                         | 20 %     | 80 % |
| Изменение уровня в дренажной емкости поз. 7/69             | 20 %     | 80 % |
| 1  | 2        | 3    |
| 1  | 2        | 3    |

|  |          |      |
|--|----------|------|
| Изменение уровня едкого натра в емкости поз. 8/67                                    | 20 %     | 80 % |
| Изменение уровня конденсата в емкости поз. 9/62                                      | 20 %     | 80 % |
| Изменения уровня в сборнике поз. 10/72   | 20 %     | 80 % |
| Изменения уровня обогревающей воды в сборнике поз. 12/66                             | 20 %     | 80 % |
| Понижение давления пара, поступающего к ротационным тонкопленочным испарителям и ПЭУ | 1,4 МПа  | -    |
| Изменение уровня конденсата пара 15,5 кгс/см <sup>2</sup>                            | 20 %     | 80 % |
| Понижение давление пара 0,5 МПа на входе в цех                                       | 0,3 МПа  | -    |
| Изменение уровня конденсата пара 0,5 МПа в сборник поз. 13/67                        | 20 %     | 80 % |
| Понижение давления чистого азота на входе в цех                                      | 0,35 МПа | -    |
| Понижение давления воздуха КИПиА на входе в цех                                      | 0,4 МПа  | -    |
| 1  | 2        | 3    |

| 1  | 2                | 3    |
|--|------------------|------|
| Понижение уровня в емкости поз. 16/67                        | 20 %             | 80 % |
| Изменение уровня в емкости поз. 17/69                        | 20 %             | 80 % |
| Изменение уровня конденсата в емкости поз. 18/65             | 20 %             | 80 % |
| Изменение уровня в кубовом аппарате поз. 20/67               | 20 %             | 80 % |
| Изменение уровня в резервуаре поз. 3/70.3                    | 20 %             | 80 % |
| Изменение уровня конденсата в емкости с мешалкой поз. 12/160 | 20 %             | 80 % |
| Электропроводы всего технологического оборудования           | работает - стоит |      |

**Таблица 3 - перечень блокировок стадии дистилляции капролактама[5]**

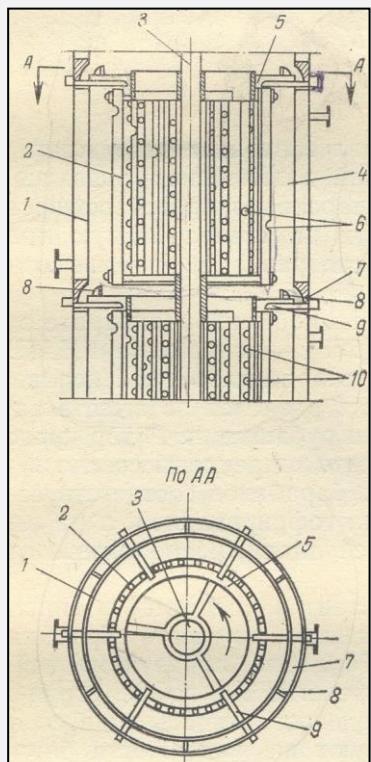
| №  | Наименование блокировки   | Величина срабатывания блокировки |
|----|---|----------------------------------|
| 1. | Остановка насоса поз. 7/97 при понижении уровня в дренажной емкости поз. 7/69<br>LIAE-0405  | 20%                              |
| 2. | Включение насоса поз. 7/97 при повышении уровня в дренажной емкости поз. 7/69.<br>LIAE-0405 | 80%                              |

**Таблица 4 - Перечень предохранительных устройств стадии дистилляции[5]**

| №  | Место установки предохранительного клапана             | Рабочее давление                       | Давление срабатывания                    |
|----|--|--|--|
| 1. | На линии подачи пара в испаритель поз. 0/12.1          | 0,11 Мпа<br>(1,1 кгс/см <sup>2</sup> ) | 0,167 МПа<br>(1,67 кгс/см <sup>2</sup> ) |
| 2. | На линии выхода основного пара из аппарата поз. 0/17.1 | 0,06 Мпа<br>(0,6 кгс/см <sup>2</sup> ) | 0,123 МПа<br>(1,23 кгс/см <sup>2</sup> ) |
| 3. | На линии выхода сокового пара из аппарата поз. 0/16.2  | 0,05 Мпа<br>(0,6 кгс/см <sup>2</sup> ) | 0,108 МПа<br>(1,08 кгс/см <sup>2</sup> ) |

## 4 ОПИСАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ТОНКОПЛЕНОЧНОГО ИСПАРИТЕЛЯ

### 4.1 Устройство роторно-пленочного испарителя с гофрированным барабанным ротором



**Рис.1 Испаритель с гофрированным барабанным ротором**

- 1 – корпус;
- 2 – барабан;
- 3 – вал;
- 4 – зазор между барабаном и корпусом;
- 5 – распределительное кольцо;
- 6 – отверстие в барабане для выброса жидкости;
- 7 – кольцевой сборник;
- 8 – перегородка;
- 9 – желоб;
- 10 – отверстие для прохода паров внутрь барабана;

#### Принцип действия

Исходная жидкость поступает через патрубок в стакан и поднимается по его стенкам под действием силы, образуя слой, равный по ширине уступу. Перетекая через уступ, жидкость растекается по кольцу, а затем сбрасывается с его внешней кромки на внутреннюю поверхность в виде отдельных струй. Неиспарившаяся жидкость попав на вращающееся распределительное кольцо, жидкость сбрасывается на внутреннюю поверхность гофра барабана, образуя на ней ряд вертикальных потоков. Дойдя до отверстия в гофре, струя жидкости выбрасывается на обогреваемую поверхность корпуса аппарата, образуя равномерное орошение всей поверхности корпуса на высоте, соответствующей высоте барабана.

Неиспарившаяся часть жидкости со стенок корпуса попадает в кольцевой сборник, снабженный перегородками, откуда по желобам поступает на распределительное кольцо нижележащей секции, где процесс повторяется. Во впадинах гофр предусмотрены отверстия для прохода паров в пространство внутрь барабана. Благодаря отверстиям пары, образовавшиеся в процессе испарения внутри данной секции, поднимаются вверх не только в зазоре, но и по всему сечению аппарата.

Зазор между корпусом и барабаном может составлять несколько сантиметров. Это практически снимает жесткие требования, предъявляемые к качеству обработки внутренней поверхности корпуса аппарата, что особенно важно при создании аппаратов большой единичной мощности.

Есть основания полагать, что на стенках аппарата не будет отложений пленки, поскольку в испарителе с гофрированным ротором теплообменная поверхность как бы интенсивно «моется» струями жидкости, сбрасываемой с ротора, что препятствует образованию на ней отложений.

Равномерный по высоте сброс жидкости на теплообменную поверхность способствует эффективной работе испарителя в широком интервале нагрузок, а также теплофизических свойств перерабатываемого продукта.

## **4.2 Выбор материала аппарата**

Специфические условия работы химической аппаратуры предъявляет высокие требования к материалам, из которых они изготавливаются. Поэтому к выбору материала аппарата следует подходить ответственно.

В данном случае имеем: среда в аппарате жидкая и газообразная (токсическая, коррозийная). Это раствор капролактама, а также газообразные легколетучие примеси (циклогексанон, циклогексаноноксим, сульфат аммония и многие другие). Рабочее давление в аппарате  $-4$  мм.рт.ст. вакуум, температура внутри аппарата  $130\text{-}140^\circ\text{C}$ . Поэтому наилучшим образом для деталей, соприкасающихся с данной средой подходит сталь

высоколегированная коррозийностойкая, жаростойкая и жаропрочная марки X18H10T. Она легирована хромом, никелем, титаном. Эта сталь предназначена для работы в диапазоне температур от  $-253^{\circ}\text{C}$  до  $+350^{\circ}\text{C}$  и при давлении до 10 МПа. Для данного тонкопленочного испарителя она подходит наилучшим образом.

Однако сталь марки X18H10T дорога, поэтому обечайку аппарата ради экономии следует выполнять двухслойную: основной слой - сталь марки ВМСт 3сп, а плакирующий - X18H10T. Также из стали марки ВМСт 3сп (сталь углеродистая обыкновенного качества) выполняются детали, не соприкасающиеся с внутренней средой (например рубашка аппарата, работающая в диапазоне температур  $194\text{-}201^{\circ}\text{C}$  и давлении  $12\text{kgs/cm}^2$ ).

Сталь марки X18H10T и сталь марки ВМСт 3сп выпускаются как в виде листов, так и в виде труб, сортового проката. [9]

#### **4.3 Теплоизоляция аппарата**

Так как аппарат работает при высоких температурах, то необходимо обеспечить его теплоизоляцию от окружающей среды. В качестве теплоизоляции применяют маты из минеральной ваты толщиной 90 мм. Их накладывают на аппарат, закрепляют проволокой и сверху закрывают алюминиевой рубашкой толщиной 1 мм.

## 5. ПРОЧНОСТНЫЕ РАСЧЕТЫ

### 5.1. Расчет обечайки [10]

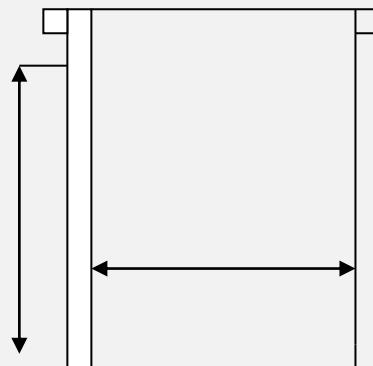


Рисунок 5.1 Обечайка работает под наружным давлением

Номинальная (без прибавок) расчетная толщина стенки  $3'$  в м., исходя из устойчивости их в пределах упругости (при запасе на устойчивость  $\text{Иф} = 2,6$ ), определяется по формуле:

$$S' = 1.18D \left( \frac{P_h}{E^t} * \frac{\ell'}{L} \right)^{0.4}, \quad (5.1)$$

где: D-диаметр обечайки в м; в пределах допустимой погрешности  $D=D_B$ ;

$\ell'$ - расширенная длина обечайки в м.;

$P_h$  - расчетное наружное давление в МПа;

$E^t$  - модуль упругости обечайки материала при расчетной температуре в МПа.

Исходные данные:

$D=0.9\text{м}$ ;  $\ell'=6,088\text{м}$ ;  $P_h = 1,2 \text{ МПа}$ .

Справочные данные:  $E^{140}=1,98*10^5 \text{ МПа}$ .

$$S' = 1.18 * 0.9 * \left( \frac{1.2}{1.98*10^5} * \frac{6.088}{0.9} \right)^{0.4} = 0.01\text{м.}$$

Толщина стенки S с учетом прибавок определяется по формуле:

$$S=S'+C, \quad (5.2)$$

где C- величина суммарных прибавок в мм.

$C = C_k + C_0$ , где  $C_k$  – прибавка на коррозию или другой вид химического воздействия рабочей среды на материал в мм;

$C_0$  – прибавка на округление размера в мм.

Справочные данные:  $C_k = 0,1$  мм.

$$S = 10 + 0,1 + C_0 = 10 \text{ мм.}$$

Расчет верен при соблюдении следующих двух условий:

$$1,5 \sqrt{\frac{2(S - C\kappa)}{D\beta}} \leq \frac{\ell'}{D\beta} \leq \sqrt{\frac{D\beta}{2(S - C\kappa)}};$$

$$\frac{\ell'}{D\beta} \geq 0,3 \frac{Et}{\sigma} \sqrt{\left[ \frac{2(S - C\kappa)}{D\beta} \right]^3}, \text{ где}$$

$\sigma_t^t$  – предел текучести материала обечайки при расчетной температуре в МПа.

Справочные данные:  $\sigma_{140} = 225$  МПа.

Первое условие:

$$1,5 \sqrt{\frac{2(10 - 1)}{900}} \leq \frac{6088}{700} \leq \sqrt{\frac{900}{2(10 - 1)}},$$

$0,233 < 6,18 < 6,43$ . Первое условие выполнено.

Второе условие:

$$\frac{6088}{900} \geq 0,3 \frac{1.98 * 10^5}{225} * \sqrt{\left[ \frac{2 * (10 - 1)}{900} \right]^3},$$

$6,18 > 0,995$ . Второе условие выполнено.

Следовательно, примененная формула толщины стенки обечайки справедлива и найденная толщина  $S = 10$  мм верна.

Так как материал стенки обечайки – двухслойная сталь, то толщина пластирующего слоя (сталь марки X18H10T) равна 2/3 от общей толщины, то есть примерно 4 мм.

Толщина основного слоя – сталь марки ВМСт 3сп-6 мм.

## 5.2 Расчет рубашки[11]

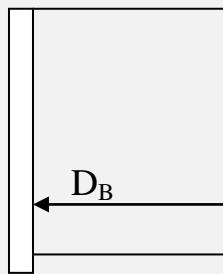


Рисунок 5.2 рубашка работает под внутренним избыточным давлением

Для расчета толщины стенки цилиндрической рубашки можно воспользоваться формулой для рубашки, имеющей круглые вмятины на цилиндрической обечайке:

$$S = 0.15 \frac{P}{\varphi \times \sigma} \times D_B + t^* \sqrt{\frac{P_p}{5\varphi_p \times \sigma_p}} \quad (5.3)$$

Где:  $D_B$  - внутренний диаметр цилиндрической обечайки аппарата, м;

$P$  - расчетное давление внутри аппарата, МПа;

$P_p$  - расчетное давление в рубашке, МПа;

$t$  - наименьшее расстояние между соседними вмятинами, м;

$\sigma$  - допускаемое напряжение на растяжение для материала корпуса аппарата, МПа;

$\sigma_p$  - допускаемое напряжение на растяжение для материала рубашки, МПа;

$\varphi$  - коэффициент прочности продольного сварного шва на цилиндрической обечайке;

$\varphi_p$  - коэффициент прочности таврового сварного шва соединения вмятины с корпусом аппарата.

Исходные данные:  $D_B = 0,9$  м,  $P = 0,000133$  МПа,  $P_p = 1,2$  МПа

Справочные данные:  $t = 0.14$  м,  $\sigma = 68$  МПа,  $\sigma_p = 68$  МПа,  $\varphi = 1$ ,  $\varphi_p = 0.8$

$$S' = 0.15 * \frac{0.000133}{1 * 68} * 0.9 + 0.14 * \sqrt{\frac{1.2}{5 * 0.8 * 68}} = 0.008 \text{ м.}$$

Толщина стенки рубашки  $S = S' = 8$  мм.

Рубашка выполнена из стали марки ВМСт 3 сп.

### 5.3 Расчет крышки[11]

Расчет сферических фланцевых крышек, работающих под вакуумом, не производят из-за их высокой надежности, а толщину стенки сферической части принимают равной толщине стенки сопрягаемой с ней части аппарата. То есть, толщина стенки сферической части крышки  $S = 10$  мм. Внутренний (плакирующий) слой - сталь марки X18H10T, его толщина 4 мм; основной слой - сталь марки ВМСт 3 сп - 6 мм.

### 5.4 Расчет конического днища[11]

Коническое днище работает под наружным давлением.

Принимаем толщину стенки днища равной толщине сопрягаемой с ним обечайки (в данном случае - толщине стенки рубашки). То есть  $S = 8$  мм.

Затем определяем расчетную силу  $P$  в МПа, сжимающую днище:

$$P = \frac{\pi}{4} * D_h^2 * P_h \quad (5.4)$$

где:  $D_h$  - большой наружный диаметр днища, м;

$P_h$  - наружное давление, МПа

Исходные данные:  $D_h = 0.94$  м,  $P_h = 0.1$  МПа.

$$P = \frac{3.14}{4} * 0.94^2 * 0.1 = 0.069 \text{ МПа}$$

Допускаемая осевая сжимающая сила в МПа, определяется по формуле:

$$P_g = \pi \kappa_c * E^t * (S - C_k)^2 * \cos^2 \alpha \quad (5.5)$$

где:  $\kappa_c$  - коэффициент;

$E^t$  - модуль упругости материала при расчетной температуре, МПа;

$S$  - толщина стенки днища, м;

$C_k$  - прибавка на коррозию, м;

$\cos \alpha$  - угол у основания конического днища.

При базовом  $D_h$  расчетный диаметр  $D'$  находится по формуле:

$$D' = \frac{0.9D_h + 0.1D_{h1}}{\cos \alpha} \quad (5.6)$$

где:  $D_h$   $D_{h1}$  - большой и меньший наружный диаметры конического днища, м;

$\cos \alpha$  - угол у основания конического днища.

Исходные данные:  $D_h = 0,94$  м,  $D_{h1} = 0,498$  м,  $\alpha = 20^0$

$$D' = \frac{0.9 * 0.94 + 0.1 * 0.498}{\cos 20^0} = 0,953 \text{ м}$$

Коэффициент  $K_c$  определяется в зависимости от отношения:  $\frac{D}{2 * (S - C_k)}$

$$\frac{D}{2 * (S - C_k)} = \frac{0,9}{2 * (0,011 - 0,001)} = 41$$

При  $25 < 41 < 250$

$$K_c = 875 * \frac{\sigma^t}{E^t} * K_3 \leq 0,155 \quad (5.7)$$

где:  $\sigma^t$  - предел текучести материала конического днища, при расчетной температуре, МПа;

$E^t$  - модуль упругости материала, МПа;

$K_3$  – коэффициент.

Коэффициент  $K_c = f \left[ \frac{D}{2 * (S - C_k)} \right]$  определяется по графику (ГОСТ 249-78).

По графику находим  $K = 0,04$ .

$$K_c = 875 * \frac{68}{1.98 * 10^5} * 0,04 = 0,113 < 0,115$$

$$P_g = 3,14 * 0,113 * 1,98 * 10^5 * (0,011 - 0,001)^2 * \cos^2 20^0 = 7,37 \text{ MPa} \quad (5.8)$$

Допускаемое наружное давление  $P_{\text{од}}$  определяется следующим образом:

$$\frac{l'}{D_s} \geq 0,3 * \frac{E^t}{\sigma^t} * \sqrt{\left[ \frac{2 * (S - C_k)}{D_s} \right]^3} \quad (5.9)$$

Проверим условие:  $D_s = D'$

Исходные данные:  $\ell' = 0,675$  м;  $D_B = 0,953$  м;  $E^{140} = 1,98 * 10^5$  МПа;

$$\sigma_t^{140} = 68 \text{ МПа}; S = 0,011 \text{ м}; C_k = 0,001 \text{ м.}$$

$$\frac{0,675}{0,953} \geq 0,3 * \frac{1,98 * 10^5}{68} * \sqrt{\left[ \frac{2 * (0,011 - 0,001)}{0,675} \right]^3}$$

$0,708 < 0,141$  Условие верно, следовательно

Допустимое наружное давление определяется по формуле:

$$P_{\text{од}} = 0,649 * E^t * \frac{D'}{l'} * \left( \frac{S - C_k}{D'} \right)^2 * \sqrt{\frac{S - C_k}{D_s}} \geq P_n, \quad (5.10)$$

$$P_{\text{од}} = 0,649 * 1,98 * 10^5 * \frac{0,953}{0,675} * \left( \frac{0,011 - 0,001}{0,953} \right)^2 * \sqrt{\frac{0,011 - 0,001}{0,953}} = 0,31 \text{ МПа} \geq P_n,$$

Условие устойчивости днища определяется по формуле:

$$\frac{P}{P_o} + \frac{P_n}{P_{\text{од}}} \leq 1 \quad (5.11)$$

Исходные данные:  $P = 0,069$  МПа;  $P_g = 7,36$  МПа;  $P_n = 0,1$  МПа;

$P_{\text{од}} = 0,31$  МПа.

$$\frac{0,069}{7,37} + \frac{0,1}{0,31} \leq 10,34 < 1.$$

Следовательно, предварительно принятая толщина стенки конусного днища вполне подходит. Толщина стенки днища  $S = 8$  мм, материал двухслойная сталь Х18Н10Т/ВМ Ст3сп.

## 6 ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ РАСЧЕНТ РОТОРНОГО ТОНКОПЛЕНОЧНОГО ИСПАРИТЕЛЯ И ПОДБОР МОЩНОСТИ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ [14]

Исходные данные:

|  |                           |
|--|---------------------------|
| 1. Производительность аппарата, кг/с                 | $G_H = 0.65$              |
| 2. Начальная концентрация, кг/кг                     | $X_H = 0.9$               |
| 3. Конечная концентрация, кг/кг                      | $X_K = 0.98$              |
| 4. Температура кипения при начальной концентрации, С | $t_{\text{кип.} H} = 85$  |
| 5. Температура кипения при конечной концентрации, С  | $t_{\text{кип.} K} = 130$ |
| 6. Допустимое время пребывания в зоне нагрева, с     | $\tau = 9$                |
| 7. Плотность жидкости, кг /м                         | $\rho = 1002$             |
| 8. Удельная теплоемкость, кДж / ( кг * К)            | $C_p = 25 * 10^3$         |
| 9. Теплопроводность, Вт / (м * К)                    | $\lambda = 0.61$          |
| 10. Вязкость, м / с                                  | $\nu = 2.63 * 10^{-6}$    |
| 11. Теплота испарения, Дж/кг                         | $r = 4.95 * 10^6$         |

Предварительный выбор аппарата проведем на основе следующих расчетов.

Производительность аппарата по конечному раствору[14]

$$G_K = G_H * \frac{X_H}{X_K} = 0,65 * \frac{0,9}{0,98} = 0,6 \text{ кг/с} \quad (6.1)$$

Производительность по испаряемому растворителю

$$G_i = G_H - G_K = 0,65 - 0,6 = 0,05 \text{ кг/с} \quad (6.2)$$

Средний массовый расход жидкости через аппарат

$$G_{cp} = \frac{1}{2} * (G_H + G_K) = \frac{1}{2} * (0,65 + 0,6) = 0,625 \text{ кг/с} \quad (6.3)$$

Средний объемный расход жидкости

$$V_{\text{Ж}} = \frac{G_{cp}}{\rho_{\text{ж}}} = \frac{0,625}{1002} = 6,24 * 10^{-4} \text{ м}^3 / \text{с} \quad (6.4)$$

Тепловой поток, необходимый для нагревания раствора

$$Q = G_i * r + G_{cp} * C_p * (t_{kip.k} - t_{kip.n}) = \\ 0,05 * 4,95 * 10^6 + 0,625 * 2,25 * 10^3 * (130 - 85) = 3,1 * 10^5 \text{ Вт.} \quad (6.5)$$

Предварительно примем:

Толщину стенки аппарата, мм  $\delta_{cm} = 12$

Коэффициент теплоотдачи со стороны греющего пара,  $\text{Вт}/(\text{м}^2 * \text{К})$   
 $\alpha_1 = 10^4$

Коэффициент теплоотдачи со стороны перемешиваемой пленки,  $\text{Вт}/(\text{м}^2 * \text{К})$   
 $\alpha_2 = 1,5 * 10^3$

Термические сопротивления загрязнений со стороны греющего пара и продукта,  $\text{м}^2 * \text{К} / \text{Вт}$   $r_1 = r_2 = 10^4$

Коэффициент теплопроводности стали,  $\text{Вт} / (\text{м} * \text{К})$   $\lambda_{cm} = 20$

Ориентировочное значение коэффициента теплоотдачи составит:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{10^4} + \frac{1,1 * 10^{-4}}{10^4} + \frac{1,2 * 10^{-2}}{20} + \frac{2 * 10^{-4}}{1,5 * 10^3}} = 596 \text{ Вт}/(\text{м}^2 * \text{К}) \quad (6.6)$$

Разности температур теплоносителей в верхней и нижней частях аппарата:

$$\Delta t_e = t_p - t_{kip.n} = 200 - 85 = 115^\circ\text{C} \quad (6.7)$$

$$\Delta t_n = t_p - t_{kip.k} = 200 - 130 = 70^\circ\text{C} \quad (6.8)$$

Средняя разность температур:

$$\Delta t_{cp} = \frac{1}{2} (\Delta t_e + \Delta t_n) = \frac{1}{2} (115 + 70) = 92,5^\circ\text{C} \quad (6.9)$$

Необходимая минимальная площадь теплообмена: [14]

$$F_{min} = \frac{Q}{K * \Delta t_{cp}} = \frac{3,1 * 10^5}{596 * 92,5} = 5,6 \text{ м}^2 \quad (6.10)$$

Максимально допустимую площадь поверхности теплообмена аппарата найдем из условия:

$$F_{max1} = 2,3 * \frac{\tau^{1,35} * g^{0,45}}{\nu_{\infty}^{0,18}} * \left( \frac{G}{\rho_{\infty}} \right)^{0,63} = 2,3 * \frac{9^{1,35} * 9,8^{0,45}}{(2,63 * 10^{-6})^{0,18}} * \left( \frac{0,65}{1002} \right)^{0,63} = 12,3 \text{ м}^2 \quad (6.11)$$

$$F_{max2} = 0.55 * \left[ \frac{\left( \frac{G}{\rho_{\infty}} \right)^2 * \tau^3 * g}{\nu} \right]^{0.4} = 0.55 * \left[ \frac{\left( \frac{0.65}{1002} \right)^2 * 9^3 * 9.8}{2.63 * 10^{-6}} \right]^{0.4} = 9,2 \text{ м}^2 \quad (6.12)$$

Выбираем из таблицы наименьший из аппаратов с площадью поверхности теплообмена, удовлетворяющий условию  $F_{min} < F < F_{max}$

Этот аппарат имеет следующие параметры:

|   |                      |
|---|----------------------|
| Площадь поверхности теплообмена, м <sup>2</sup> | F = 12               |
| Внутренний диаметр корпуса, м                   | D = 0,9              |
| Высота рабочей зоны корпуса, м                  | H = 5.56             |
| Толщина стенки корпуса, мм                      | $\delta_{ст}$ = 12   |
| Частота вращения ротора, с <sup>-1</sup>        | n = 3                |
| Мощность электродвигателя, кВт                  | N <sub>Э</sub> = 22  |
| Диаметр вала, мм                                | d <sub>в</sub> = 130 |

## 7 РАСЧЕТ ДВУХСТУПЕНЧАТОГО РЕДУКТОРА

### 7.1 Кинематический расчет[13]

Определяем общий КПД привода

$$\eta = \eta_1^2 \eta_2^3 \eta_3 = 0,98^2 * 0,99^3 * 0,99 = 0,92 \quad (7.1)$$

Мощность электродвигателя

$$N = 22 \text{ кВт}; n_{дв} = 1460 \text{ об/мин}; 380/660 \text{ В} \quad (7.2)$$

Угловая скорость вала двигателя

$$\omega_{\text{дв}} = \frac{\pi * n_{\text{дв}}}{30} = \frac{3,14 * 1460}{30} = 152,8 \text{ рад/с} \quad (7.3)$$

Общее передаточное число

$$i = \frac{n_{\text{дв}}}{n_e} = \frac{1460}{180} = 8,1 \quad (7.4)$$

Разбивка по ступеням

$$u_6 = 3 \quad u_T = 2.7$$

Угловые скорости и частоты вращения валов редуктора:

ведущего вала редуктора

$$n_{\text{дв}} = 1460 \text{ об/мин} \quad \omega_{\text{дв}} = 152.8 \text{ рад/с}$$

промежуточного вала

$$n_2 = n_3 = 1460/3 = 486.6 \quad \omega_2 = 152.8/3 = 50.9 \text{ рад/с}$$

ведомого вала редуктора

$$n_4 = n_p = 486.6/2.7 = 180 \quad \omega_3 = 50.9/2.7 = 18.86 \text{ рад/с}$$

Вращающийся момент на валах

$$M_1 = 22 * 10^3 / 152,8 = 144 \text{ H*м} = 144 * 10^3 \text{ H*мм} \quad (7.5)$$

$$M_2 = M_3 = M_1 * i_6 = 144 * 10^3 * 3 = 432 * 10^3 \text{ H*мм} \quad (7.6)$$

$$M_4 = M_3 * i_T = 388 * 10^3 * 2,7 = 1166 * 10^3 \text{ H*мм} \quad (7.8)$$

## 7.2 Расчет зубчатых колес[13]

Допускаемое контактное напряжение

$$[\sigma]_H = \frac{\sigma_{H\limb} * K_{HL}}{[n]} = \frac{2 * 200 + 70 * 1}{1.15} = 408 \text{ Н/мм}^2 \quad (7.9)$$

*Расчет тихоходной ступени*

Определение межцентрового расстояния

$$a_{\omega T} = (u_T + 1) * \sqrt[3]{\left(\frac{270}{[\sigma]_H}\right)^2 * \frac{M_4 * K_{HP}}{u_T^2 * \psi_{ba}}} = (2.7 + 1) * \sqrt[3]{\left(\frac{270}{408}\right)^2 * \frac{1166 * 10^3 * 1.25}{2.7^2 * 0.4}} = 223 \text{ мм} \quad (7.10)$$

Принимаем 230 мм

Определяем нормальный модуль зацепления

$$m_{nt} = (0.01 \div 0.02) = (0.01 \div 0.02) * 230 = 2,3 \div 4,6 \text{ мм} \quad (7.11)$$

Принимаем  $m_{nt} = 3$  мм

Предварительно принимаем угол наклона зубьев  $10^\circ$  и определим число зубьев шестерни и колеса

$$Z_3 = \frac{2a_{\omega T} * \cos \beta}{(u_T + 1) * m_{nt}} = \frac{2 * 230 * 0.9848}{(2.7 + 1) * 3} = 40 \quad (7.12)$$

$$Z_4 = Z_3 * u_T = 40 * 2,7 = 108 \quad (7.13)$$

Уточняем значения угла  $\beta$

$$\cos \beta_T = \frac{(Z_3 + Z_4) * m_{nt}}{2 * a_{\omega T}} = \frac{(40 + 108) * 3}{2 * 230} = 0.9652 \quad (7.14)$$

$$\beta_T = 15^\circ 9'$$

Основные размеры шестерни и колеса

$$d_3 = \frac{m_{nT}}{\cos \beta} * Z_3 = \frac{3 * 40}{0.9652} = 124 \text{ мм} \quad (7.15)$$

$$d_4 = \frac{m_{nT}}{\cos \beta} * Z_4 = \frac{3 * 108}{0.9652} = 336 \text{ мм} \quad (7.16)$$

$$\text{Проверка: } \frac{d_3 + d_4}{2} = a_{oT} = \frac{124 + 336}{2} = 230 \text{ мм} \quad (7.17)$$

Диаметр вершины зубьев

$$d_{a3} = d_3 + 2m_{nt} = 124 + 2 * 3 = 130 \text{ мм} \quad (7.18)$$

$$d_{a4} = d_4 + 2m_{nt} = 336 + 2 * 3 = 342 \text{ мм} \quad (7.19)$$

Ширина колеса

$$b_4 = \psi_{baT} * a_{oT} = 0.4 * 230 = 92 \text{ мм} \quad (7.20)$$

Ширина шестерни

$$b_3 = b_4 + (5 \div 10) = 92 + 8 = 100 \text{ мм} \quad (7.21)$$

Определяем коэффициент ширины шестерни

$$\psi_{bdT} = \frac{b_3}{d_3} = \frac{100}{124} = 0,806 \quad (7.22)$$

Окружная скорость тихоходной ступени

$$V = \frac{\omega b_e * d_3}{2} = \frac{50,9 * 124}{2 * 10^3} = 3 \text{ м/с}$$

(7.23)

Коэффициент нагрузки для проверки контактного напряжения

$$K_h = K_{h\beta} * K_{h\alpha} * K_{hv} = 1,08 * 1,07 * 1,0 = 1,16 \quad (7.24)$$

по таблице

$$K_{h\beta} = 1,08 \quad K_{h\alpha} = 1,07 \quad K_{hv} = 1,0$$

Проверяем контактное напряжение

$$\sigma_h = \frac{270}{a_{oT}} * \sqrt{\frac{M_4 * K_H * (u_T + 1)^3}{b_4 * u_T^2}} = \frac{270}{230} * \sqrt{\frac{1166 * 10^3 * 1.16 * (2.7 + 1)^3}{92 * 2.7^2}} = 375 < [\sigma]_h \text{ Н/mm}^2 \quad (7.25)$$

Силы, действующие в зацеплении:

окружная

$$P_T = \frac{2 * M_3}{d_3} = \frac{2 * 432 * 10^3}{124} = 6970 \text{ Н} \quad (7.26)$$

радиальная

$$P_{rT} = P_T * \frac{\tan \alpha}{\cos \beta} = 6970 * \frac{0.3640}{0.9652} = 2630 \text{ Н} \quad (7.27)$$

осевая

$$P_{aT} = P_T \tan \beta = 6970 * 0.271 = 1890 \text{ Н} \quad (7.28)$$

Проверка зубьев тихоходной ступени на выносливость по направлению изгиба

Коэффициент прочности зуба

для шестерни

$$Z_{v3} = \frac{Z_3}{\cos^3 \beta} = \frac{40}{0.9652^3} \approx 45 \quad Y_{F3} = 3.64 \quad (7.29)$$

для колеса

$$Z_{v4} = \frac{Z_4}{\cos^3 \beta} = \frac{108}{0.9652^3} = 120 \quad Y_{F4} = 3.6 \quad (7.30)$$

Допускаемое напряжение

$$[\sigma]_F = \frac{\sigma_{F, \lim b}^0}{[n]_F}$$

для шестерни  $\sigma_{F, \lim b}^0 = 1.8 \text{ HB} = 1,8 * 230 = 415 \text{ H/mm}^2 \quad (7.31)$

для колеса  $\sigma_{F, \lim b}^0 = 1.8 \text{ HB} = 1,8 * 200 = 360 \text{ H/mm}^2 \quad (7.32)$

Коэффициент запаса прочности

$$[n]_F' = 1,75 \quad [n]_F'' = 1$$

$$K_F = K_{F\beta} * K_{Fv} = 1.17 * 1.1 = 1.287 \quad (7.33)$$

Допускаемые напряжения и отношение  $\frac{[\sigma]_F}{Y_F} [13] \quad (7.34)$

для шестерни

$$[\sigma]_{F4} = \frac{415}{1.75} = 237 \text{ H/mm}^2 \quad \frac{[\sigma]_F}{Y_F} = \frac{237}{3.64} = 65,1 \text{ H/mm}^2$$

для колеса

$$[\sigma]_{F4} = \frac{360}{1.75} = 206 \text{ H/mm}^2 \quad \frac{[\sigma]_F}{Y_F} = \frac{206}{3.6} = 57,5 \text{ H/mm}^2$$

Найденное отношение меньше для колеса, следовательно, проводим дальнейшую проверку для зубьев колеса

Определяем коэффициент, учитывающий повышение прочности косых зубьев по сравнению с прямыми

$$Y_B = 1 - \frac{\beta}{140} = 1 - \frac{15,16}{140} = 0.891 \quad (7.35)$$

Коэффициент  $K_{Fa} = 0.75$

$$\sigma_{F4} = \frac{P_T * K_F * Y_F * Y_\beta * K_{Fa}}{b * m_{aT}} = \frac{6970 * 1.287 * 3.6 * 0.891 * 0.75}{92 * 3} = 78 \text{ H/mm}^2 \quad (7.36)$$

что значительно меньше  $[\sigma]_{F4} = 206 \text{ H/mm}^2$

Расчет быстроходной ступени

Из условия соосности  $a_{\omega B} = a_{\omega T} = 230 \text{ mm}$

Коэффициент  $\psi_{baB} = 0.25$

Нормальный модуль  $m_n$  для быстроходной ступени в целях увеличения плавности и бесшумности передачи принимают несколько меньше, чем в тихоходной.

Принимаем  $m_{nB} = 2 \text{ mm}$

Предварительно принимаем угол наклона зубьев  $10^\circ$  и определим число зубьев шестерни и колеса

$$Z_1 = \frac{2a_{\omega B} * \cos \beta}{(u_B + 1) * m_{nB}} = \frac{2 * 230 * 0.9848}{(3 + 1) * 2} = 56 \quad (7.37)$$

$$Z_2 = Z_1 * u_B = 56 * 3 = 168 \quad (7.38)$$

Уточняем значения угла  $\beta$

$$\cos \beta_B = \frac{(Z_1 + Z_2) * m_{nB}}{2 * a_{\omega TB}} = \frac{(56 + 168) * 2}{2 * 230} = 0.9739 \quad (7.39)$$

$$\beta_B = 13^\circ 6'$$

Основные размеры шестерни и колеса

$$d_1 = \frac{m_{nB}}{\cos \beta} * Z_1 = \frac{2 * 56}{0.9739} = 115 \text{ мм}$$

(7.40)

$$d_2 = \frac{m_{nB}}{\cos \beta} * Z_2 = \frac{2 * 168}{0.9739} = 345 \text{ мм} \quad (7.41)$$

$$\text{Проверка: } \frac{d_1 + d_2}{2} = a_{\omega B} \quad \frac{115 + 345}{2} = 230 \text{ мм} \quad (7.42)$$

Диаметр вершины зубьев

$$d_{a1} = d_1 + 2m_{nB} = 115 + 2 * 2 = 119 \text{ мм} \quad (7.43)$$

$$d_{a2} = d_2 + 2m_{nB} = 345 + 2 * 2 = 349 \text{ мм} \quad (7.44)$$

Ширина колеса

$$b_2 = \psi_{baB} * a_{\omega B} = 0.25 * 230 = 58 \text{ мм} \quad (7.45)$$

Ширина шестерни

$$b_1 = b_2 + (5 \div 10) = 58 + 7 = 65 \text{ мм} \quad (7.46)$$

Определяем коэффициент ширины шестерни

$$\psi_{bdB} = \frac{b_1}{d_1} = \frac{65}{115} = 0,57 \quad (7.47)$$

Окружная скорость тихоходной ступени

$$V = \frac{\omega b_1 * d_1}{2} = \frac{152,8 * 115}{2 * 10^3} = 8,8 \text{ м/с} \quad (7.48)$$

Коэффициент нагрузки для проверки контактного напряжения

$$K_h = K_{h\beta} * K_{h\alpha} * K_{hv} = 1,1 * 1,05 * 1,01 = 1,17 \quad (7.49)$$

по таблице

$$K_{h\beta} = 1,05 \quad K_{h\alpha} = 1,1 \quad K_{hv} = 1,01$$

Проверяем контактное напряжение

$$\sigma_h = \frac{270}{a_{\omega B}} * \sqrt{\frac{M_2 * K_H * (u_B + 1)^3}{b_2 * u_B^2}} = \frac{270}{230} * \sqrt{\frac{432 * 10^3 * 1.17 * (3+1)^3}{58 * 3^2}} = 293 < [\sigma]_h \text{ Н/мм}^2 \quad (7.50)$$

Силы, действующие в зацеплении:

окружная

$$P_B = \frac{2 * M_1}{d_1} = \frac{2 * 144 * 10^3}{115} = 2500 \text{ Н} \quad (7.51)$$

радиальная

$$P_{rB} = P_B * \frac{\tan \alpha}{\cos \beta} = 2500 * \frac{0.3640}{0.9739} = 934 \text{ Н} \quad (7.52)$$

осевая

$$P_{aB} = P_B \tan \beta = 2500 * 0.233 = 582 \text{ Н} \quad (7.53)$$

Коэффициент нагрузки[13]

$$K_F = K_{F\beta} * K_{FV} = 1.12 * 1.3 = 1.47 \quad (7.54)$$

Проверка зубьев быстроходной ступени на выносливость по направлению изгиба

Коэффициент прочности зуба

для шестерни

$$Z_{v1} = \frac{Z_1}{\cos^3 \beta} = \frac{56}{0.9739^3} = 59 \quad Y_{F1} = 3.64 \quad (7.55)$$

для колеса

$$Z_{v2} = \frac{Z_2}{\cos^3 \beta} = \frac{168}{0.9739^3} = 117 \quad Y_{F2} = 3.6$$

(7.56)

Допускаемое напряжение

$$[\sigma]_F = \frac{\sigma_{F \lim b}^0}{[n]_F} \quad (7.57)$$

для шестерни  $\sigma_{F \lim b}^0 = 1.8 \text{ HB} = 1,8 * 230 = 415 \text{ H/mm}^2$

для колеса  $\sigma_{F \lim b}^0 = 1.8 \text{ HB} = 1,8 * 200 = 360 \text{ H/mm}^2$

Коэффициент запаса прочности

$$[n]_F' = 1,75 \quad [n]_F'' = 1$$

$$K_F = K_{F\beta} * K_{Fv} = 1.17 * 1.1 = 1.287 \quad (7.58)$$

Допускаемые напряжения и отношение  $\frac{[\sigma]_F}{Y_F}$

для шестерни

$$[\sigma]_{F2} = \frac{415}{1.75} = 237 \text{ H/mm}^2 \quad \frac{[\sigma]_F}{Y_F} = \frac{237}{3.64} = 65,1 \text{ H/mm}^2 \quad (7.59)$$

для колеса

$$[\sigma]_{F2} = \frac{360}{1.75} = 206 \text{ H/mm}^2 \quad \frac{[\sigma]_F}{Y_F} = \frac{206}{3.6} = 57,5 \text{ H/mm}^2 \quad (7.60)$$

Найденное отношение меньше для колеса, следовательно, проводим дальнейшую проверку для зубьев колеса

Определяем коэффициент, учитывающий повышение прочности косых зубьев по сравнению с прямыми

$$Y_B = 1 - \frac{\beta}{140} = 1 - \frac{13,12}{140} = 0.906 \quad (7.61)$$

Коэффициент  $K_{Fa} = 0.75$

$$\sigma_{F4} = \frac{P_B * K_F * Y_F * Y_\beta * K_{Fa}}{b * m_{aB}} = \frac{2500 * 1.47 * 3.6 * 0.906 * 0.75}{58 * 2} = 92 \text{ H/mm}^2 \quad (7.62)$$

что значительно меньше  $[\sigma]_{F2} = 206 \text{ H/mm}^2$

### 7.3 Расчет валов редуктора[13]

Крутящий момент в поперечном сечении валов:

$$\text{ведущего} \quad M_1 = 144 * 10^3 \text{ H*mm}$$

$$\text{промежуточного} \quad M_2 = M_3 = 432 * 10^3 \text{ H*mm}$$

$$\text{ведомого} \quad M_4 = 1166 * 10^3 \text{ H*mm}$$

Диаметр выходного конца ведущего вала при  $[\tau]_k = 25 \text{ H/mm}^2$

$$d_{\kappa 1} = \sqrt[3]{\frac{M_{\kappa 1}}{0,2 * [\tau]_k}} = \sqrt[3]{\frac{144 * 10^3}{0,2 * 25}} = 30 \text{ mm} \quad (7.63)$$

Примем диаметр выходного конца вала 30 мм; под подшипником 45 мм; под шестерней 50 мм.

Диаметр промежуточного вала при  $[\tau]_k = 15 \text{ H/mm}^2$

$$d_{\kappa 3} = \sqrt[3]{\frac{M_{\kappa 3}}{0,2 * [\tau]_k}} = \sqrt[3]{\frac{432 * 10^3}{0,2 * 15}} = 52 \text{ mm} \quad (7.64)$$

Примем диаметр промежуточного вала под шестерней и колесом 50 мм; под подшипником 45 мм.

Диаметр выходного конца ведомого вала при  $[\tau]_k = 25 \text{ H/mm}^2$

$$d_{\kappa 4} = \sqrt[3]{\frac{M_{\kappa 4}}{0,2 * [\tau]_{\kappa}}} = \sqrt[3]{\frac{1166 * 10^3}{0,2 * 25}} = 61 \text{ мм} \quad (7.65)$$

Примем диаметр выходного конца ведомого вала 60 мм; под подшипником 75 мм; под колесом 80 мм.

## 8. РЕМОНТ ИСПАРИТЕЛЯ

### **Подготовка испарителя к сдаче в ремонт[5]**

Необходимо отключить испаритель от действующего оборудования.

После этой операции необходимо повысить давление внутри аппарата с 4 мм рт.ст. до атмосферного (0,1МПа). Это производится с помощью пробок, которые находятся на верхней крышке - их необходимо вывернуть. В рубашке испарителя давление также должно быть атмосферным.

Далее испаритель охлаждается до температуры 30°C, делается это не принудительно, а естественным путем - аппарат несколько часов остывает.

После этого отключают системы контрольно-измерительных приборов и автоматики. Подключают систему азота в аппарат, чтобы остатки продукта, оставшиеся в аппарате не окислились на воздухе.

Аппарат продувают (промывают, пропаривают) до содержания токсичных веществ не более ПДК и отсутствия горючих. Анализ содержания таких веществ делает лаборатория и только после их отрицательного ответа на содержание токсичных веществ выше ПДК и горючих можно производить ремонт испарителя. При этом ставятся заглушки и вывешиваются предупредительные таблички.

### **Подготовка испарителя к пуску после ремонта[5]**

Сначала производят опрессовку испарителя с целью выявления его герметичности. После этого настраивают азот и продувают им аппарат до остаточного содержания кислорода не более 2% (объемных).

Отключают азот, снимают заглушки, подключают системы контрольно-измерительных приборов и проверяют со службой КИПиА работоспособность.

После этих операций тонкопленочный испаритель готов к работе

## **9 БЕЗОПАСНОСТЬ И ЭКОЛОГИЧНОСТЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА**

### **9.1 Описание рабочего места, оборудования и выполняемых технологических операций.[5]**

Рабочее место аппаратчика располагается в административно-бытовом корпусе.

Управление процессом осуществляется в ЦПУ посредством автоматически регулируемых клапанов и электрорадиодвигателей.

Периодически аппаратчик совершает обход производственного оборудования с целью осмотра его исправности. И снятия показаний с приборов контроля установленных на ЦПУ.

Таблица 5 - Технологический паспорт объекта

| Технологич<br>еский<br>процесс | Технологическа<br>я операция ,<br>вид<br>выполняемых<br>работ               | Наименование<br>должности<br>работника,<br>выполняющего<br>технологически<br>й процесс,<br>операцию | Оборудовани<br>е, устройство,<br>приспособле<br>ние | Материалы,<br>вещества   |
|--------------------------------|---|---|---|--|
| Стадия<br>дистилляци<br>и      | Выпаривание<br>тяжелокипящих<br>и легколетучих<br>примесей в<br>лактам моде | Аппаратчик<br>дистилляции 5-<br>6 разряда   | Тонкоплёноч<br>ный<br>испаритель                    | Корпус виде<br>колоны состоящий<br>из царг материал<br>ВМСт.3сп<br>плакированная<br>Х18Н10Т, рубашка<br>аппарата<br>выполнена из<br>ВМСт.3сп |
| 1                              | 2   | 3   | 4   | 5  |
| 1                              | 2   | 3   | 4   | 5  |

|  |  |  |   |  |
|--|--|--|---|--|
|  |  |  | Ротор   | Вал,<br>гофрированный<br>барабан,<br>распределительное<br>кольцо, лоток,<br>выполнены из<br>стали марки<br>Х18Н10Т |
|  |  |  | Крестовина<br>(опора для<br>подшипника<br>скольжения) | Крестовина<br>выполнена из<br>марки стали<br>Х18Н10Т,<br>подшипник<br>скольжения<br>графит.                        |

Таблица 6 - рабочее место

| Наименование оборудования, инструмента | Работы, операции, выполняемые на этом оборудовании или этим инструментом   |
|--|--|
| Щит КИПиА.                             | Регулировка и управление показанием процесса отмычки полимеризата от продуктов катализитического комплекса умягченной водой. |
| Рабочий стол.                          | Заполнение рабочего журнала аппаратчика.   |
| Рабочий стол.                          | Заполнение рабочего журнала аппаратчика.   |
| Рабочий стол.                          | Заполнение рабочего журнала аппаратчика.   |
| 1                                      | 2  |
| 1                                      | 2  |

|   |  |
|---|--|
| Дверь.                                    | Входа и выхода из апператорной.                |
| Рабочий стол.                             | Заполнение рабочего журнала начальником смены. |
| Шкаф со средствами индивидуальной защиты. | Предпозначен для хранения.                     |
| Шкаф с инструкциями.                      | Предназначен для хранения.                     |
| Аварийная дверь.                          | Предназначена для входа и выхода.              |
| Окно.                                     | Освещение апператорной.                        |

## 9.1 Идентификация опасных и вредных производственных факторов

Таблица 7 - Идентификация профессиональных рисков

| Производственно-технологическая и/или эксплуатационно-технологическая операция, вид выполняемых работ. | Опасный и/или вредный производственный фактор | Источник опасного и/или вредного фактора |
|--|---|--|
| Управление и регулировка технологическим процессом, ремонт электрооборудования и приборов              | Физический                                    | Центральный пульт управления             |
| 1  | 2   | 3  |
| 1  | 2   | 3  |

|   |   |   |
|---|---|---|
| Осмотр, переход с рабочего насоса на резервный, остановка и пуск насоса.  | Физический  | Вакуумный насос                                     |
| Осмотр, замена масла, ремонт, центровка полумуфт.                         | Физический, возможность получения травмы при работе на высоте | Обслуживание редуктор аппарата                      |
| Отбор анализов, открытие/закрытие запорных арматур, регулировка клапанов. | Химический  | Система подготовки сырья                            |
| Отбор анализов, открытие/закрытие запорных арматур, регулировка клапанов. | Химический  | При работе со щёлочью, катализитическим комплексом. |

**1) Водный раствор капролактама-**Высокие концентрации аэрозоли капролактама в воздухе вызывают раздражительность, головную боль, плохой сон. При попадании на кожу вызывает дерматит. Нельзя допускать проливов водного раствора капролактама. ПДК – 10 мг/м<sup>2</sup>.

**2) Капролактам-**То, что относится к водному раствору капролактама в полной мере можно отнести и к самому капролактаму.

**3) Едкий натр-**Щелочь действует на ткани прожигающим образом, растворяя белки. При попадании в глаза, поражается не только роговица, но и глубинные части глазного яблока.

ПДК – 0,5 мг/м<sup>2</sup>.

**4) Азот-** Опасен тем, что при содержании в воздухе кислорода менее 18% (объемных) – остальное азот, человек погибает от удушья

## 9.2 Методы и средства снижения профессиональных рисков

Таблица 8 - Методы и средства снижения воздействия опасных и вредных производственных факторов (уже реализованных и дополнительно или альтернативно предлагаемых для реализации в рамках дипломного проекта).

| Опасный и / или вредный производственный фактор | Организационные методы и технические средства защиты, снижения, устранения опасного и / или вредного производственного фактора   | Средства индивидуальной защиты работника                  |
|---|--|---|
| Высокое напряжение                              | Заземление, изолирование токоподводящих элементов, накладки на щит управления из не проводящего тока материала, резиновые коврики, не проводящий ток инструмент.             | Спец. обувь, резиновые перчатки, защитная маска или очки. |
| Повышенный уровень шума                         | Изоляция насоса в отдельное помещение с плотно закрывающимися дверями и окнами.  | Защитные наушники, беруши.                                |
| Работа на высоте                                | Изготовление и монтаж площадок обслуживания, лестниц.  | Спец. одежда, спец. обувь, удерживающее устройство.       |
| 1   | 2  | 3   |
| 1   | 2  | 3   |
| Выделения при переработке капролактама          | Герметичность фланцевых соединений, вывод газов в скруббер через воздушные линии, приточки свежего воздуха, ящик с комплектом аварийных противогазов с коробками «ДОТ-600М». | Противогазы с коробкой «ДОТ-600М»                         |
| Токсичные вещества.                             | Герметичность фланцевых  | Спец. одежда, спец.                                       |

|  |   |   |
|--|---|---|
|  | соединений, установка кожухов на фланцевые соединения, вывод газов в скруббер через воздушные линии, приточки свежего воздуха, максимально точки для отбора анализов, установка воронок для исключения проливов продукта, ванна самопомощи, ящик с аварийными противогазами с коробкой «ДОТ-600М» | обувь, очки или защитная маска, никриловые перчатки, каска, противогаз с коробкой «ДОТ-600М». |
|--|---|---|

### 9.3 Обеспечение пожарной безопасности объекта

Таблица 9 - Технологические средства обеспечения пожарной безопасности

| Первичные средства пожаротушения  | Мобильные средства пожаротушения         | Стационарные установки и системы пожаротушения | Средства пожарной автоматики  | Пожарное оборудование                            | Средства индивидуальной защиты и спасения людей при пожаре | Пожарный инструмент (механизирован. и немеханизирован.) | Пожарные сигнализация, связь и оповещение |
|---|--|--|---|--|--|---|---|
| 1   | 2  | 3  | 4   | 5  | 6  | 7   | 8   |
| 1   | 2  | 3  | 4   | 5  | 6  | 7   | 8   |
| Ручные и передвижные огнетушители (воздушно – пенные, порошковые, мотопомпы), | Пожарные автомобили, пожарные мотопомпы, | Водяные, пенные, газовые, порошковые.          | 1) извещатели пожарные ;<br>2) приборы приемно-контрольные пожарные ; | Огнетушители, пожарные рукава, стволы, гидранты. | Средства индивидуальной защиты органов                     | Мотопомпы, пожарные насосы, арматура,                   | Извещатели пожарные                       |
| углекислотные, порошковые, керамо   | приспособленные технические средства,    | В зависимости от устройства головок            | 3) приборы управления пожарные  | средства защиты кожных покровов тела             | дыхания и зрения (самоспасатели);                          | клапаны и муфты, рукавная арматура                      | (дымовые , тепловые, ручные), телефон,    |

|   |  |  |  |  |  |  |         |
|---|--|--|--|--|--|--|---------|
| ткань или грубошерстные (кошма, войлок) полотна, пожарные ящики с песком, внутренние пожарные краны |  | делятся на спринклерные и дренчерные установки | ; 4) технические средства оповещения и управления эвакуацией; 5) пожарные системы передачи извещений о пожаре. | человека, изолирующие (со сжатым воздухом или связанным кислородом); фильтрующие |  |  | сирена. |
|---|--|--|--|--|--|--|---------|

### 9.3.1 Идентификация классов и опасных факторов пожара

Таблица 10 - Идентификация классов и опасных факторов пожара.

| Участок, подразделение | Оборудование | Класс пожара | Опасные факторы пожара | Сопутствующие проявления факторов пожара |
|------------------------|--------------|--------------|------------------------|--|
|                        |              |              |                        |  |

|                    |                            |   |  |   |
|--------------------|----------------------------|---|--|---|
| Стадия дистилляции | Тонкоплён очный испаритель | B | Пламя и искры; повышенная температура окружающей среды; повышенная концентрация токсичных продуктов горения и термического разложения; пониженная концентрация кислорода; снижение видимости в дыму. | Осколки, части разрушившихся зданий, сооружений, строений, транспортных средств, технологических установок, оборудования, агрегатов, изделий и иного имущества; токсичные вещества и материалы, попавшие в окружающую среду из разрушенных технологических установок, оборудования, агрегатов, изделий и иного имущества; воздействие огнетушащих веществ; опасные факторы взрыва, произошедшего вследствие пожара. |
|--------------------|----------------------------|---|--|---|

Основными опасными факторами пожара являются тепловое излучение, высокая температура, отравляющее действие дыма (продуктов сгорания: окиси углерода и др.) и снижение видимости при задымлении. Критическими значениями параметров для человека, при длительном воздействии указанных значений опасных факторов пожара являются:

- температура + 70° C;
- видимость в зоне задымления 6-12м

Пожарная безопасность цеха должна обеспечиваться системой предотвращения пожара и системой противопожарной защиты.

Эти системы в совокупности должны исключать воздействие на персонал цеха опасных факторов пожара, которыми являются:

- открытый огонь;
- повышение температуры окружающей среды и предметов;
- токсичные продукты горения;
- дым;
- понижающая концентрация кислорода;
- падающие части строительных конструкций, технологического оборудования;

- опасность взрыва.

Общее руководство по тушению пожара до прибытия пожарных подразделений осуществляет начальник цеха (старший мастер смены), а по прибытию – начальник подразделения пожарной части. Тушение пожара обслуживающим персоналом производится согласно табеля боевого расчета ДПД.

Основными средствами пожаротушения являются: пожарные гидранты и порошковые огнетушители. (ОП-50)

Таблица 11 - Организационные (организационно-технические) мероприятия по обеспечению пожарной безопасности.

| Наименование технологического | Наименование видов реализуемых | Предъявляемые требования по обеспечению пожарной |
|-------------------------------|--------------------------------|--|
|-------------------------------|--------------------------------|--|

|  |   |   |
|--|---|---|
| процесса, оборудования технического объекта  | организационных (организационно-технических) мероприятий  | безопасности, реализуемые эффекты   |
| Производство капролактама стадия дистилляции | Организация пожарной охраны, обучение рабочих и служащих правилам пожарной безопасности, составление инструкций о порядке работы с пожароопасными веществами и материалами, отработку действий администрации, рабочих и служащих в случае возникновения пожара и эвакуации людей, применение средств наглядной агитации по обеспечению пожарной безопасности и т.п. | Проверка с участием соответствующих служб (ОГЭ, ОГА, УИТ, ПЧ и др.) перед наступлением пожароопасного периода 2 раза в год (весна, осень) для выполнения противопожарных мероприятий проводят проверку: сетей внутреннего противопожарного водоснабжения, работоспособности установок водяного орошения (кольца орошения, лафетные стволы) технологических аппаратов, состояние огнезащитных покрытий, состояние пожарных сухотрубов, ручных пожарных вещей |

Таблица 12 - Идентификация экологических факторов технического объекта

| Наименование | Структурные составляющие | Воздействие технического | Воздействие технического объекта | Воздействие технического |
|--------------|--------------------------|--------------------------|----------------------------------|--------------------------|
|--------------|--------------------------|--------------------------|----------------------------------|--------------------------|

|  |  |   |   |   |
|--|--|---|---|---|
| технического объекта, технологического процесса (производственного здания или сооружения по функциональному назначению, технологические операции, оборудование), энергетическая установка транспортное средство и т.п. | технического объекта, технологического процесса (производственного здания или сооружения по функциональному назначению, технологические операции, оборудование), энергетическая установка транспортное средство и т.п. | объекта на атмосферу (вредные и опасные выбросы в окружающую среду) | на гидросферу (образующие сточные воды, забор воды из источников водоснабжения) | объекта на литосферу (почву, растительный покров, недра) (образование отходов, выемка плодородного слоя почвы, отчуждение земель, нарушение и загрязнение растительного покрова и т.д.) |
| 1  | 2  | 3   | 4   | 5   |
| 1  | 2  | 3   | 4   | 5   |
| Тонкоплёночный испаритель  | Выпаривание тяжелокипящих и легколетучих примесей из   | Вредных и опасных выбросов на стадии                                | Вредных и опасных выбросов на стадии дистилляции возможны только при            | Вредных и опасных выбросов на стадии  |

|  |             |   |  |   |
|--|-------------|---|--|---|
|  | лактам воды | дистилляции возможны только при аварии и разгерметизацией трубопроводов, сосудов и аппаратов в остальных случаях все выбросы в атмосферу исключены т. к. весь использованный продукт отправляется или на сжигание или остаётся в технологической схеме. | аварии и разгерметизации трубопроводов, сосудов и аппаратов в остальных случаях все выбросы в атмосферу исключены т. к. весь использованный продукт отправляется или на сжигание или остаётся в технологической схеме. | дистилляции возможны только при аварии и разгерметизацией трубопроводов, сосудов и аппаратов в остальных случаях все выбросы в атмосферу исключены т. к. весь использованный продукт отправляется или на сжигание или остаётся в технологической схеме. |
|--|-------------|---|--|---|

### 9.3.2 Разработка технических средств и организационных мероприятий

Таблица 13 - Разработанные организационно-технические мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия технического объекта на окружающую среду.

|                           |                           |
|---------------------------|---------------------------|
| Наименование технического | Тонкопленочный испаритель |
|---------------------------|---------------------------|

|  |   |
|--|---|
| объекта  |   |
| Мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия на атмосферу  | Вредных и опасных выбросов на стадии дистилляции возможны только при аварии и разгерметизации трубопроводов, сосудов и аппаратов в остальных случаях все выбросы в атмосферу исключены т. к. весь использованный продукт отправляется или на сжигание или остаётся в технологической схеме. |
| Мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия на гидросферу | Вредных и опасных выбросов на стадии дистилляции возможны только при аварии и разгерметизации трубопроводов, сосудов и аппаратов в остальных случаях все выбросы в атмосферу исключены т. к. весь использованный продукт отправляется или на сжигание или остаётся в технологической схеме. |
| Мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия на литосферу  | Вредных и опасных выбросов на стадии дистилляции возможны только при аварии и разгерметизации трубопроводов, сосудов и аппаратов в остальных случаях все выбросы в атмосферу исключены т. к. весь использованный продукт отправляется или на сжигание или остаётся в технологической схеме. |

## 10 Заключение

Применяемые и перерабатываемые на стадии капролактама вещества оказывают токсическое действие на организм человека, а так же оказывают вредное воздействие на окружающую среду.

На стадии дистилляции капролактама имеются жидкие отходы. Это кубовые остатки из выпарного аппарата поз.20/67.

Кубовые остатки образуются при отделении капролактама от смол и других тяжелокипящих примесей. Кубовые остатки периодически по трубопроводу направляются в емкость Е – 02/0080 стадии нейтрализации и далее на сжигание. Других остатков нет.

Промышленные сточные воды предприятия перед выбросом очищаются на установке «Пассавант».

Энергетическое загрязнение окружающей среды не происходит благодаря высокой степени теплоизоляции оборудования.

## **11. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРОЕКТА**

На предприятии ОАО «КуйбышевАзот» существует 1 и 2 очередь производства капролактама. В цехах №24 и №37 одним из основных аппаратов

на стадии дистилляции этого производства является тонкопленочный испаритель типа РТА 900/16-А с четырех лопастным ротором.

К недостаткам данного испарителя можно отнести, в первую очередь, сложность его монтажа, последующей наладки, а также дальнейшего ремонта, во-вторую очередь – большой расход электроэнергии, потребляемой двигателем.

Исходя из этого, целью данного проекта стала реконструкция роторного тонкопленочного испарителя типа РТА 900/16-А и создание нового аппарата – тонкопленочного испарителя новой конструкции, который устраняет все недостатки своего предшественника, а также позволяет снизить параметры греющего пара.

Проводим анализ рыночных сред и конкурентов.

Таблица 14 – маркетинговый анализ

| Наименование   | Технические характеристики   | Стоимость (руб.) |
|--|--|------------------|
| №1 Гофрированный барабан «Бриз01»<br>(Россия)        | Ø720, скорость вращения 100-250 об./мин. марка сталь X18H10T производительность 0,65кг/с.      | 7 000 000        |
| №2 Размазывающий ротор «Самбай»<br>(Германия)        | Ø820, скорость вращения 60-150 об./мин. лопасти полипропиленовые, производительность 0,75кг/с. | 10 000 000       |
| №3 Ротор с регулирующим зазором «Сако» (США, Япония) | Ø850, скорость вращения 90-130 об./мин. марка сталь X18H10T2 производительность 0,64кг/с.      | 8 500 000        |

На основании сравнительного анализа, технических и стоимостных показателей, ввиду импорта замещения, выбор был сделан в пользу варианта №1.

Дальнейший расчет будем проводить по выбранному оборудованию.

Таблица 15 - Краткая характеристика сравниваемых вариантов

| Базовый вариант  | Проектный вариант  |
|--|--|
| Тонкоплёночный ротационный испаритель РТА 900/16-А. Большое потребление электроэнергии, трудность в монтаже, наладке и обслуживании. | Роторно-пленочный испаритель с гофрированным барабанным ротором. Снизились затраты на электроэнергию, время на обслуживание значительно уменьшилось. |

## 11.1 Расчет годовой производственной мощности[20]

Производственная мощность определяется по формуле:

$$M = Q \text{ час} * F \text{ эф} \quad (11.1)$$

Где  $Q$  час - часовая производительность агрегата (аппарата), т/час;

$F$  эф - эффективное время работы оборудования, час.

$$M_б = 2,35 * 8520 = 20022 \text{т};$$

$$M_п = 2,35 * 8616 = 20248 \text{т}.$$

Таблица 16 - сравнительные показатели

| № п/п | Показатели                                     | Базовый<br>вариант | Проектный<br>вариант |
|-------|--|--------------------|----------------------|
| 1     | Календарная продолжительность года, сут.       | 365                | 365                  |
| 2     | Простой оборудования по графику ППР, сут.      | 10                 | 6                    |
| 3     | Эффективное время работы оборудования, сут.    | 355                | 359                  |
| 4     | Эффективное время работы оборудования, час.    | 8520               | 8616                 |
| 5     | Часовая производительность оборудования, т/час | 2,35               | 2,35                 |
| 6     | Годовая производственная мощность, т           | 20022              | 20248                |

## 11.2 Расчет капитальных вложений (инвестиций) по проектируемому варианту.

1) Прямые капитальные вложения в основное технологическое оборудование.

Таблица 17 - Стоимость оборудования

| № | Наименование оборудования | Количество | Стоимость оборудования |           | Амортизация |           |
|---|---------------------------|------------|------------------------|-----------|-------------|-----------|
|   |                           |            | за единицу             | всего     | %           | т.руб.    |
| 1 | Испаритель                | 1          | 7 000 000              | 7 000 000 | 15          | 1 050 000 |
|   | Итого:                    | 1          |                        | 7 000 000 |             | 1 050 000 |

2) Сопутствующие капитальные вложения:

Затраты на доставку и монтаж оборудования (если оборудование покупается), рассчитываются по укрупненным нормам от стоимости оборудования:

доставка 7 % - 490000руб;

установка фундамента 6 % - 420000руб;

обвязка трубопроводов 20 % - 1400000руб;

монтаж оборудования 15 % - 1050000руб;

монтаж КИПиА 20 % - 1400000руб.

$$\text{Змон.об.} = 490000 + 420000 + 1400000 + 1050000 + 1400000 = 4760000 \text{ руб.}$$

Затраты на демонтаж заменяемого оборудования (30 % от стоимости демонтируемого оборудования)

$$\text{Здем.об.} = (1850000 * 30) / 100 = 555000 \text{ руб.}$$

Выручка от реализации высвобождаемого оборудования (вычитается)

$$\text{Вреал} = 1850000 \text{ руб.}$$

Итого сопутствующие капитальные вложения:

$$\text{Ксоп} = \text{Змон.об.} + \text{Здем.об.} - \text{Вреал.} \quad (11.2)$$

$$К_{\text{соп}} = 4760000 + 555000 - 1850000 = 3465000 \text{ руб.}$$

Общая сумма капитальных вложений:

$$К_{\text{общ}} = К_{\text{пр}} + К_{\text{соп}} = 7000000 + 3465000 = 10465000 \text{ руб.}$$

Где Кпр - прямые капитальные вложения.

### 11.3 Организация труда рабочих[25]

#### Режим работы цеха и график сменности. [5]

Основные производственные рабочие работают в смену.

Продолжительность смены – 12 часов. Такой график сменности представляется наиболее удобным и целесообразным в условиях ведения непрерывного технологического процесса.

Таблица 18 - график сменности

| Смены    | Часы   | Дни месяца |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|----------|--------|------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
|          |        | 1          | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
| 1        | 7 - 19 | А          | Б  | В  | Г  | А  | Б  | В  | Г  | А  | Б  | В  | Г  | А  | Б  | В  |
| 2        | 19 - 7 | Г          | А  | Б  | В  | Г  | А  | Б  | В  | Г  | А  | Б  | В  | Г  | А  | Б  |
| Выходные |        | БВ         | ВГ | ГА | АБ | БВ | ВГ | ГА | АБ | БВ | ВГ | ГА | АБ | БВ | ВГ | ГА |

Рассчитываем баланс рабочего времени сменных рабочих и рабочих, работающих при пятидневной рабочей неделе.

Таблица 19 - баланс рабочего времени одного рабочего

| Показатели                          | Количество              |                            |
|-------------------------------------|-------------------------|----------------------------|
|                                     | при непрерывном графике | Пятидневная рабочая неделя |
| Календарное время                   | 365                     | 365                        |
| Выходные дни                        | 182,5                   | 104                        |
| Праздничные дни                     | 0                       | 10                         |
| Номинальное время работы            | 182,5                   | 251                        |
| Невыходные дни                      |                         |                            |
| - очередной и дополнительный отпуск | 14                      | 24                         |
| 1                                   | 2                       | 3                          |
| 1                                   | 2                       | 3                          |

|                                |      |       |
|--------------------------------|------|-------|
| - ученический отпуск           | 1    | 1     |
| - выполнение гос. Обязанностей | 0,5  | 0,5   |
| - по болезни                   | 5    | 6     |
| Фактическое время работы, дней | 162  | 219,5 |
| Часов                          | 1944 | 1756  |

## Расчет штата рабочих. [19]

Таблица 20 - Штаты рабочих цеха

| Группы рабочих             | кол-во смен | средний тарифный разряд | часовая тарифная ставка | явочное число рабочих |         | Коэффициент подмены | Списочная численность |
|----------------------------|-------------|-------------------------|-------------------------|-----------------------|---------|---------------------|-----------------------|
|                            |             |                         |                         | в смену               | в сутки |                     |                       |
| 1.Основные рабочие         |             |                         |                         |                       |         |                     |                       |
| 1)Аппаратчик               | 2           | 6                       | 41,7                    | 3                     | 6       | 1,127               | 7                     |
| 2)Аппаратчик               | 2           | 5                       | 33,8                    | 3                     | 6       | 1,127               | 7                     |
| 3)Аппаратчик               | 2           | 4                       | 26                      | 3                     | 6       | 1,127               | 7                     |
| 2. Вспомогательные рабочие |             |                         |                         |                       |         |                     |                       |
| 4)Слесарь                  | 1           | 5                       | 44,3                    | 1                     | 1       | 1,144               | 1                     |
| 5)Слесарь                  | 2           | 4                       | 36,5                    | 1                     | 2       | 1,127               | 7                     |
| 6)Слесарь                  | 1           | 4                       | 36,5                    | 1                     | 1       | 1,144               | 1                     |
| 7)Слесарь КИПиА            | 2           | 5                       | 46,9                    | 1                     | 2       | 1,127               | 7                     |
| 8)Слесарь КИПиА            | 1           | 5                       | 46,9                    | 1                     | 1       | 1,144               | 1                     |
| Итого:                     |             |                         |                         |                       |         |                     | 38                    |

Списочная численность определяется:

$$Ч_{СП} = K * Ч_Я, \quad (11.3)$$

где  $Ч_Я$  - явочная численность рабочих в сутки; $K$  - коэффициент подмены;

$$K = Т_{НОМ} / Т_{ЭФ}, \quad (11.4)$$

где  $Т_{НОМ}$  - номинальное время работы в год; $T_{ЭФ}$  - фактическое время работы в год.

$$К_{ОСН} = 182,5 / 162 = 1,127; \quad К_{ВСП} = 251 / 219,5 = 1,144$$

## Заработная плата рабочих. [19]

Средневзвешенная тарифная ставка

$$T_{CCP} = \frac{\sum (T_{ci} * Ч_i)}{\sum Ч_i} \quad (11.5)$$

где  $T_{ci}$  - тарифная ставка рабочих I - го разряда;

Ч<sub>i</sub> - численность рабочих I – го разряда.

$$Т_{сср} = (41,7*7+33,8*7+26*7+44,3*1+36,5*7+36,5*1+46,9*7+46,9*1)/38 = 37,4$$

*Оплата по тарифу:*

$$З_{тар} = Т_{ср.час} * Т_{факт} * n \quad (11.6)$$

где Т<sub>ср.час.</sub> - среднечасовая тарифная ставка;

Т<sub>факт.</sub> - фактическое время работы 1-го рабочего;

n - списочная численность рабочих.

$$З_{тар1} = 41,7*1944*7 = 567453,6 \text{ руб.};$$

$$З_{тар2} = 33,8*1944*7 = 459950,4 \text{ руб.};$$

$$З_{тар3} = 26*1944*7 = 353808,0 \text{ руб.};$$

$$З_{тар4} = 44,3*1756*1 = 77790,8 \text{ руб.};$$

$$З_{тар5} = 36,5*1944*7 = 496692,0 \text{ руб.};$$

$$З_{тар6} = 36,5*1756*1 = 64094,0 \text{ руб.};$$

$$З_{тар7} = 46,9*1944*7 = 638215,2 \text{ руб.};$$

$$З_{тар8} = 46,9*1756*1 = 82356,4 \text{ руб.}$$

Расчет премии:

Размер премии рассчитывается исходя из принятого процента (по отношению к зарплате по тарифу).

$$З_{прем} = (З_{тар} * P) / 100, \% \quad (11.7)$$

где Р - размер премии по премиальному положению, Р = 25%.

$$З_{прем1} = (567453,6*25)/100 = 141863,4 \text{ руб.};$$

$$З_{прем2} = (459950,4*25)/100 = 114987,6 \text{ руб.};$$

$$З_{прем3} = (353808,0*25)/100 = 88452,0 \text{ руб.};$$

$$З_{прем4} = (77790,8*25)/100 = 19447,7 \text{ руб.};$$

$$З_{прем5} = (496692,0*25)/100 = 124173,0 \text{ руб.};$$

$$Зпрем6 = (64094,0 * 25) / 100 = 16023,5 \text{ руб.};$$

$$Зпрем7 = (63821,52 * 25) / 100 = 159553,8 \text{ руб.};$$

$$Зпрем8 = (8235,64 * 25) / 100 = 20589,1 \text{ руб.}$$

Расчет доплат:

1) доплата за работу в праздничные дни.

$$Зпразд = Тср.час. * tсм * псм * Тпразд * Рраб.см., \quad (11.8)$$

где  $t_{см}$  - продолжительность смены;

$п_{см}$  - число смен в сутки;

$Т_{празд}$  - число праздничных дней в году;

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

$$Зпразд1 = 41,7 * 12 * 2 * 10 * 3 = 30024,0 \text{ руб.};$$

$$Зпразд2 = 33,8 * 12 * 2 * 10 * 3 = 24336 \text{ руб.};$$

$$Зпразд3 = 26 * 12 * 2 * 10 * 3 = 18720,0 \text{ руб.};$$

$$Зпразд5 = 36,5 * 12 * 2 * 10 * 1 = 8760,0 \text{ руб.};$$

$$Зпразд6 = 46,9 * 12 * 2 * 10 * 1 = 11256,0 \text{ руб.}$$

2) доплата за работу в ночное время.

$$Зноч = (Зтар * 1/3 * Рноч) / 100, \quad (11.9)$$

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

$Рноч$  - размер доплаты за работу в ночное время,  $Рноч = 40\%$ .

$$Зноч1 = (567451 * 40) / (3 * 100) = 75660,5 \text{ руб.};$$

$$Зноч2 = (459952 * 40) / (3 * 100) = 61326,7 \text{ руб.};$$

$$Зноч3 = (353814,1 * 40) / (3 * 100) = 47174,4 \text{ руб.};$$

$$Зноч5 = (496690,1 * 40) / (3 * 100) = 66225,6 \text{ руб.};$$

$$Зноч7 = (638223,7 * 40) / (3 * 100) = 85095,4 \text{ руб.}$$

## Основной фонд заработной платы:

$$\text{Зосн} = \text{Зтар} + \text{Зпрем} + \text{Зпразд} + \text{Зночн}, \quad (11.10)$$

- где    Зтар            - оплата по тарифу;  
       Зпрем          - премия;  
       Зпразд        - доплата за работу в праздничные дни;  
       Зночн        - доплата за работу в ночное время.

$$\text{Зосн1} = 567453,6 + 141863,4 + 30024,0 + 75660,5 = 815001,5 \text{ руб.};$$

$$\text{Зосн2} = 459950,4 + 114987,6 + 24336,0 + 61326,7 = 660600,7 \text{ руб.};$$

$$\text{Зосн3} = 353808,0 + 88452,0 + 18720,0 + 47174,4 = 508154,4 \text{ руб.};$$

$$\text{Зосн4} = 77790,8 + 19447,7 = 97238,5 \text{ руб.};$$

$$\text{Зосн5} = 496692,0 + 124173,0 + 8760,0 + 66225,6 = 695850,6 \text{ руб.};$$

$$\text{Зосн6} = 64094,0 + 16023,5 = 80117,5 \text{ руб.};$$

$$\text{Зосн7} = 638215,2 + 159553,8 + 11256,0 + 85095,4 = 894120,4 \text{ руб.};$$

$$\text{Зосн8} = 82356,4 + 20589,1 = 102945,5 \text{ руб.}$$

## Оплата дней отпуска:

$$\text{Зотп} = (\text{Зосн} * \text{Тотп}) / \text{Tэф}, \quad (11.11)$$

- где. T отп            - продолжительность отпуска;  
       Т эф            - фактическое время работы одного рабочего в год, дн.

$$\text{Зотп1} = (815001,5 * 14) / 162 = 70432,2 \text{ руб.};$$

$$\text{Зотп2} = (660600,7 * 14) / 162 = 57088,9 \text{ руб.};$$

$$\text{Зотп3} = (508154,4 * 14) / 162 = 43914,6 \text{ руб.};$$

$$\text{Зотп4} = (97238,5 * 24) / 219,5 = 10632,0 \text{ руб.};$$

$$\text{Зотп5} = (695850,6 * 14) / 162 = 60135,2 \text{ руб.};$$

$$\text{Зотп6} = (80117,5 * 24) / 219,5 = 8760,0 \text{ руб.};$$

$$\text{Зотп7} = (894120,4 * 14) / 162 = 77269,7 \text{ руб.};$$

$$\text{Зотп8} = (102945,5 * 24) / 219,5 = 11256,0 \text{ руб.}$$

Оплата выполнения государственных обязанностей:

$$\text{Згос} = (\text{Зосн} * \text{Tгос}) / \text{Tэф}, \quad (11.12)$$

где  $\text{T гос}$  - время выполнения гос. обязанностей.

$$\text{Згос1} = (815001,5 * 0,5) / 162 = 2515,4 \text{ руб.};$$

$$\text{Згос2} = (660600,7 * 0,5) / 162 = 2038,9 \text{ руб.};$$

$$\text{Згос3} = (508154,4 * 0,5) / 162 = 1568,4 \text{ руб.};$$

$$\text{Згос4} = (97238,5 * 0,5) / 219,5 = 221,5 \text{ руб.};$$

$$\text{Згос5} = (695850,6 * 0,5) / 162 = 2147,7 \text{ руб.};$$

$$\text{Згос6} = (80117,5 * 0,5) / 219,5 = 182,5 \text{ руб.};$$

$$\text{Згос7} = (894120,4 * 0,5) / 162 = 2759,6 \text{ руб.};$$

$$\text{Згос8} = (102945,5 * 0,5) / 219,5 = 234,5 \text{ руб.}$$

Оплата ученических отпусков:

$$\text{Зуч} = (\text{Зосн} * \text{Tуч}) / \text{Tэф}, \quad (11.13)$$

где  $\text{Tуч}$  - продолжительность ученического отпуска

$$\text{Зуч1} = (815001,5 * 1) / 162 = 5030,9 \text{ руб.};$$

$$\text{Зуч2} = (660600,7 * 1) / 162 = 4077,8 \text{ руб.};$$

$$\text{Зуч3} = (508154,4 * 1) / 162 = 3136,8 \text{ руб.};$$

$$\text{Зуч4} = (97238,5 * 1) / 219,5 = 443,0 \text{ руб.};$$

$$\text{Зуч5} = (695850,6 * 1) / 162 = 4295,4 \text{ руб.};$$

$$\text{Зуч6} = (80117,5 * 1) / 219,5 = 365,0 \text{ руб.};$$

$$\text{Зуч7} = (894120,4 * 1) / 162 = 5519,3 \text{ руб.};$$

$$\text{Зуч8} = (102945,5 * 1) / 219,5 = 469,0 \text{ руб.}$$

Дополнительный фонд заработной платы:

$$\text{Здоп} = \text{Зотп} + \text{Зуч} + \text{Згос}, \quad (11.14)$$

где  $\text{Зотп}$  - оплата дней отпуска;

Зуч - оплата ученического отпуска;

Згос - оплата дней за выполнение гос. обязанностей.

$$\text{Здоп1} = 70432,2 + 5030,9 + 2515,4 = 77978,5 \text{ руб.};$$

$$\text{Здоп2} = 57088,9 + 4077,8 + 2038,9 = 63205,6 \text{ руб.};$$

$$\text{Здоп3} = 43914,6 + 3136,8 + 1568,4 = 48619,8 \text{ руб.};$$

$$\text{Здоп4} = 10632,0 + 443,0 + 221,5 = 11296,5 \text{ руб.};$$

$$\text{Здоп5} = 60135,2 + 4295,4 + 2147,7 = 66578,3 \text{ руб.};$$

$$\text{Здоп6} = 8760 + 365 + 182,5 = 9307,5 \text{ руб.};$$

$$\text{Здоп7} = 77269,7 + 5519,3 + 2759,6 = 85548,6 \text{ руб.};$$

$$\text{Здоп8} = 11256 + 469 + 234,5 = 11959,5 \text{ руб.}$$

Годовой фонд заработной платы:

$$\text{Згод} = \text{Зосн} + \text{Здоп} \quad (11.15)$$

$$\text{Згод1} = 815001,5 + 77978,5 = 892980,0 \text{ руб.};$$

$$\text{Згод2} = 660600,7 + 63205,6 = 723806,3 \text{ руб.};$$

$$\text{Згод3} = 508154,4 + 48619,8 = 556774,2 \text{ руб.};$$

$$\text{Згод4} = 97238,5 + 11296,5 = 108535,0 \text{ руб.};$$

$$\text{Згод5} = 695850,6 + 66578,3 = 762428,9 \text{ руб.};$$

$$\text{Згод6} = 80117,5 + 9307,5 = 89425,0 \text{ руб.};$$

$$\text{Згод7} = 894120,4 + 85548,6 = 979669,0 \text{ руб.};$$

$$\text{Згод8} = 102945,5 + 11959,5 = 114905,0 \text{ руб.}$$

Отчисления на страховые выплаты [19]

$$\text{О с} = (\text{З год} * \text{К о.с.}) / 100, \quad (11.16)$$

где. К о.с. - процент отчислений на страховые выплаты % (К о.с. = 30 %).

$$\text{О с1} = (892980,0 * 30) / 100 = 267894,0 \text{ руб.};$$

$$\text{О с2} = (723806,3 * 30) / 100 = 217141,9 \text{ руб.};$$

$$O c3 = (556774,2 * 30) / 100 = 167032,3 \text{ руб.};$$

$$O c4 = (108535,0 * 30) / 100 = 32560,5 \text{ руб.};$$

$$O c5 = (762428,9 * 30) / 100 = 228728,7 \text{ руб.};$$

$$O c6 = (89425,0 * 30) / 100 = 26827,5 \text{ руб.};$$

$$O c7 = (979669,0 * 30) / 100 = 293900,7 \text{ руб.};$$

$$O c8 = (114905,0 * 30) / 100 = 34471,5 \text{ руб.};$$

#### 11.4. Организация управления производством[18]

Таблица 21 - Штаты и расчет заработной платы ИТР, служащих.

| Категории работников          | Списочная численность | Месячный оклад одного работника | Годовой фонд заработка платы по окладам | Доплаты за работы в праздничные дни, ночные время | Премии, т.руб. (45 %) | Всего заработной платы в год, т. руб. | Отчисления на страховые выплаты |
|-------------------------------|-----------------------|---------------------------------|---|---|-----------------------|---------------------------------------|---------------------------------|
| 1 Начальник цеха              | 1                     | 28 500,00                       | 342 000                                 | 34 200  | 153 900               | 530 100                               | 159 030                         |
| 2 Заместитель начальника цеха | 1                     | 22 500,00                       | 270 000                                 | 27 000  | 121 500               | 418 500                               | 125 550                         |
| 3 Начальник отделения         | 1                     | 19 000,00                       | 228 000                                 | 22 800  | 102 600               | 353 400                               | 106 020                         |
| 4 Механик                     | 4                     | 12 500,00                       | 600 000                                 | 60 000  | 270 000               | 930 000                               | 279 000                         |
| 5 Старший мастер смены        | 6                     | 11 500,00                       | 828 000                                 | 82 800  | 372 600               | 1 283 400                             | 385 020                         |
| Итого                         | 13                    |                                 | 2 268 000                               | 226 800   | 1 020 600             | 3 515 400                             | 1 054 620                       |

Расчет годового фонда заработной платы ИТР и служащих. [18]

$$3 \text{ год.ИТР} = O k * 12 * Ч сп, \quad (11.17)$$

где. O к - размер месячного оклада

12 - количество месяцев в году;

Ч сп - списочная численность.

### 11.5. Расчет себестоимости продукции. [18]

Таблица 22 - Расчет расхода сырья, основных и вспомогательных материалов

| вид сырья, материалов, полуфабрикатов | Ед. изм.   | Расход на 1 тонну продукции |        | Цена за единицу измерения, руб. |           | Сумма, руб. |           |
|---------------------------------------|------------|-----------------------------|--------|---------------------------------|-----------|-------------|-----------|
|                                       |            | базовый                     | проект | базовый                         | проект    | базовый     | проект    |
| 1. Сырье                              |            |                             |        |                                 |           |             |           |
| 1) Природный газ                      | тыс.куб.м. | 0,100                       | 0,100  | 4702,7                          | 4702,7    | 470,3       | 470,3     |
| 2) Трихлорэтилен                      | Тн         | 0,019                       | 0,019  | 9 8200,0                        | 9 8200,0  | 1865,8      | 1865,8    |
| 3) Олеум                              | Тн         | 0,810                       | 0,810  | 6100,0                          | 6100,0    | 4941,0      | 4941,0    |
| 4) Азот                               | тыс.куб.м. | 0,610                       | 0,610  | 4762,0                          | 4762,0    | 2904,8      | 2904,8    |
| 5) Аммиак                             | Тн         | 0,450                       | 0,450  | 8965,7                          | 8965,7    | 4034,6      | 4034,6    |
| 6) Циклогексанон                      | Тн         | 0,926                       | 0,926  | 18 4407,7                       | 18 4407,7 | 17 0761,5   | 17 0761,5 |
| 7) Слабая азотная кислота             | Тн         | 0,014                       | 0,014  | 6228,8                          | 6228,8    | 87,2        | 87,2      |
| 8) Гидроксил-аминсульфат              | Тн         | 0,320                       | 0,320  | 3 5050,0                        | 3 5050,0  | 1 1216,0    | 1 1216,0  |
| Итого сырье                           |            |                             |        |                                 |           | 19 6281,2   | 19 628,12 |
| 9). Вспомогательные материалы         |            |                             |        |                                 |           |             |           |
| 10) Натр едкий                        | Тн         | 0,0115                      | 0,0115 | 2 470,00                        | 2 470,00  | 28,41       | 28,41     |
| Итого вспомогательные                 |            |                             |        |                                 |           | 28,41       | 28,41     |
| Всего                                 |            |                             |        |                                 |           | 19 656,52   | 19 656,52 |

Таблица 23 - Расчет расхода топлива и энергии[18]

| вид топлива,<br>энергии    | Ед. изм. | Расход на 1<br>тонну продукции |        | Цена за единицу<br>измерения, руб. |        | Сумма, руб. |          |
|----------------------------|----------|--------------------------------|--------|------------------------------------|--------|-------------|----------|
|                            |          | базовый                        | проект | базовый                            | проект | базовый     | проект   |
| 1) электроэнергия          | тыс.кВт  | 2,719                          | 2,692  | 5311,2                             | 5311,2 | 1 4441,2    | 1 4297,8 |
| 2) пар                     | Гкал     | 16,5                           | 16,4   | 1187,0                             | 1187,0 | 1 9585,5    | 1 9466,8 |
| 3) вода речная             | куб.м.   | 25,0                           | 25,0   | 10,1                               | 10,1   | 252,5       | 252,5    |
| 4) конденсат<br>паровой    | тн       | 23,8                           | 23,8   | 115,0                              | 115,0  | 2737,0      | 2737,0   |
| 5) вода<br>химобессоленная | куб.м.   | 6,5                            | 6,5    | 124,3                              | 124,3  | 808,0       | 808,0    |
| Итого                      |          |                                |        |                                    |        | 37 824,1    | 37 562,0 |

**Расчет по заработной плате основных производственных рабочих. [18]**

Основная заработная плата на 1 тонну продукции:

$$\text{З осн на 1 тонну} = \text{З осн} / M \quad (11.16)$$

$$\text{З осн на 1 тонну Б} = 1983756,6 / 20022 = 99,1 \text{руб./т}$$

$$\text{З осн на 1 тонну П} = 1983756,6 / 20248 = 98,0 \text{ руб./т}$$

Дополнительная заработная плата:

$$\text{З доп на 1 тонну} = \text{З доп} / M \quad (11.17)$$

$$\text{З доп на 1 тонну Б} = 189803,9 / 20022 = 9,5 \text{ руб./т}$$

$$\text{З доп на 1 тонну П} = 189803,9 / 20248 = 9,4 \text{ руб./т}$$

Отчисления на страховые выплаты:

$$\text{О с на 1 тонну} = \text{О с} / M \quad (11.18)$$

$$\text{О с на 1 тонну Б} = 858556,4 / 20022 = 42,9 \text{ руб./т}$$

$$\text{О с на 1 тонну П} = 85855,64 / 20248 = 42,4 \text{ руб./т}$$

Таблица 24 - Расчет расходов на содержание и эксплуатацию оборудования[18]

| Наименование статей                         | Сумма, тыс. руб. |                   |
|---|------------------|-------------------|
|   | базовый вариант  | проектный вариант |
| 1. Амортизация оборудования                 | 550 000,0        | 1 600 000,0       |
| 2. Текущий ремонт и содержание оборудования | 23 358 603,5     | 15 256 097,4      |
| 3. Износ и восстановление инструментов      | 33 000,0         | 96 000,0          |
| 4. Прочие расходы                           | 5 500,0          | 16 000,0          |
| Итого                                       | 23 947 103,5     | 16 968 097,4      |
| Производственная мощность                   | 20 022,0         | 20 248,0          |
| Затраты на 1 тонну                          | 1196,0           | 838,9             |

## Расчет цеховых расходов. [18]

Статьи расходов:

- 1) статья 1 «Содержание цехового персонала» включает заработную плату и отчисления на страховые выплаты ИТР, служащих и вспомогательных рабочих цеха;
- 2) статья 2 «Амортизация зданий» по данным сметы цеховых расходов базового предприятия;
- 3) статья 3 «Содержание зданий» аналогично статье 2;
- 4) статья 4 «Затраты на рационализацию, опыты, исследования» по данным предприятия 0,5 % от статьи 1;
- 5) статья 5 «Затраты на охрану труда» - 10-20 % от зарплаты всех работающих;
- 6) статья 6 «Прочие расходы» - 0,5 % от суммы расходов по статьям 1-5.

Таблица 25 цеховые расходы

| Наименование статей расхода                       | Сумма, тыс. руб. |
|---|------------------|
| 1. Содержание цехового персонала                  | 7 770 653,3      |
| 2. Амортизация зданий                             | 28 853 550,1     |
| 3. Содержание зданий                              | 6 072,3          |
| 4. Затраты на рационализацию, опыты, исследования | 38 853,3         |
| 5. Затраты на охрану труда                        | 774 392,3        |
| 6. Прочие расходы                                 | 187 217,6        |
| Итого   | 37 630 738,8     |

Затраты на 1 тонну продукции

$$Н_ц \text{ на 1 тонну} = 3 \text{ сум / М} \quad (11.19)$$

$$Н_ц \text{ на 1 тонну Б} = 37630738,8 / 20022 = 1879,5 \text{ руб./т}$$

$$Н_ц \text{ на 1 тонну П} = 37630738,8 / 20248 = 1858,5 \text{ руб./т}$$

Таблица 26 - Сравнительный анализ себестоимости 1 тонны продукции базового и проектного вариантов

| № п/п | Наименование статей                               | Базовый вариант | Проектный вариант | Отклонение |
|-------|---|-----------------|-------------------|------------|
| 1     | Сырье и основные материалы                        | 196 281,2       | 196 281,2         | 0,00       |
| 2     | Вспомогательные материалы                         | 284,1           | 284,1             | 0,00       |
| 3     | Энергоресурсы                                     | 37 824,1        | 37 562,0          | 262,1      |
| 4     | Основная заработная плата                         | 99,1            | 98,0              | 1,1        |
| 5     | Дополнительная заработная плата                   | 9,5             | 9,4               | 0,1        |
| 6     | Отчисления на страховые выплаты                   | 42,9            | 42,4              | 0,5        |
| 7     | Расходы на содержание и эксплуатацию оборудования | 1 196,0         | 838,0             | 358,0      |
| 8     | Цеховые расходы                                   | 1 879,5         | 1 858,5           | 21,0       |
|       | Цеховая себестоимость                             | 237 616,4       | 236 973,6         | 642,8      |

## **11.6. Расчет экономической эффективности проектных решений. [24]**

1. Ожидаемая прибыль (условно-годовая экономия) от снижения себестоимости продукции определяется по формуле

$$\text{Пр ож} = (C_1 - C_2) * M, \quad (11.20)$$

где.  $C_1$  - себестоимость 1 тонны продукции по базовому варианту;

$C_2$  - себестоимость 1 тонны продукции по проекту;

$M$  - производственная мощность по проекту.

$$\text{Пр ож} = 642,8 * 20248 = 13015414,4 \text{ руб.}$$

2. Налог на прибыль

$$H_{\text{пр}} = (\text{Пр ож} * K_{\text{нал}}) / 100, \quad (11.21)$$

где.  $K_{\text{нал}}$  - процент налога на прибыль (20 %).

$$H_{\text{пр}} = 13015414,4 * 20 / 100 = 2603082,9 \text{ руб.}$$

3. Чистая ожидаемая прибыль:

$$\text{Пр чист} = \text{Пр ож} - H_{\text{пр}} \quad (11.22)$$

$$\text{Пр чист} = 13015414,4 - 2603082,9 = 10412331,5 \text{ руб.}$$

4. Срок окупаемости капитальных вложений (инвестиций)

$$T_{\text{ок}} = K_{\text{общ.пр}} / \text{Пр чист}, \quad (11.23)$$

где  $K_{\text{общ.пр.}}$  - капитальные вложения (инвестиции), необходимые на проектирование, приобретение оборудования, инструментов и т.п.

$$T_{\text{ок}} = 10465000 / 10412331,5 = 1,01 \text{ лет}$$

5. Используя методы дисконтирования в пределах принятого горизонта расчета ( $T = 2$ , исходя из полных временных промежутков), рассчитываем текущую стоимость будущих денежных доходов (денежных потоков), приведенных к текущему времени (времени начала осуществления проекта) через коэффициент дисконтирования, определяемый для постоянной нормы дисконта  $E = 0,25$ .

$$a_t = \frac{1}{(1+E)^t} \quad (11.24)$$

где  $t$  – номер шага ( $t = 1; 2$ );

$T$ - горизонт расчета.

Для 1 года  $a_{t=1} = \frac{1}{(1+0,25)^1} = 0,8$ ;

Для 2 года  $a_{t=2} = \frac{1}{(1+0,25)^2} = 0,64$ .

Общий доход (чистая прибыль) за 2 года:

$$\text{Д общ} = \text{Пр чист.общ.} = \sum_1^t (\text{Пр}_{\text{чист}} * a_t) \quad (11.25)$$

$$\text{Д общ} = \text{Пр чист.общ.} = 10412331,5 * 0,8 + 10412331,5 * 0,64 = 14993757,4 \text{ руб.}$$

6. Дисконтированный доход (ЧДД) или интегральный Чистый экономический эффект составит:

$$\text{ЧДД} = \text{Эинт} = \text{Д общ} - \text{К общ.пр.} \quad (11.26)$$

$$\text{ЧДД} = 14993757,4 - 10465000 = 4528757,4 \text{ руб.}$$

Поскольку  $\text{ЧДД} > 0$ , проект является эффективным (при данной норме дисконта). Инвестору выгоднее вложить денежные средства в наш проект на один год, чем положить эти средства на депозит.

Не смотря на то, что срок окупаемости составляет 1,01 года, расчет общего дохода, а также чистого дисконтированного дохода производился, исходя из горизонта расчета, равного 1 году, поскольку расчет прибыли за такой короткий промежуток времени, как 0,01 года, является экономически не целесообразным.

Таблица 27 - Технико-экономические показатели

| № п/п | Показатели                             | Единицы измерения | Базовый вариант | Проектный вариант | Отклонения |
|-------|--|-------------------|-----------------|-------------------|------------|
| 1     | Производственная мощность              | т/год             | 20 022,0        | 20 248,0          | 226,0      |
| 2     | Цеховая себестоимость продукции        | руб/т             | 237 616,4       | 236 973,6         | 642,8      |
| 3     | Условно-годовая экономия               |                   |                 | 13 015 414,4      |            |
| 4     | Капитальные вложения                   |                   |                 | 10 475 000,0      |            |
| 5     | Чистая прибыль                         |                   |                 | 9 891 714,4       |            |
| 6     | Интегральный экономический эффект      |                   |                 | 4 528 757,4       |            |
| 8     | Срок окупаемости (без дисконтирования) |                   |                 | 1                 |            |

Проект является эффективным (при данной норме дисконта). Инвестору выгоднее вложить денежные средства в наш проект на два года, чем положить эти средства на депозит.

Срок окупаемости составляет 1 год. Также проект существенно снижает затраты на последующее обслуживание нового тонкопленочного испарителя по сравнению с базовым роторным тонкопленочным испарителем. Также можно отметить такие показатели, как экономия металла и электроэнергии.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Дан анализ состояния и перспектив проектирования тонкопленочных испарителей.
2. Приведен анализ современного производства капролактама.
3. Описаны технологическая схема, оборудование стадии дистилляции и конструкция тонкопленочного испарителя.
4. Выполнены прочностные и технологические расчеты испарителя.
5. Обосновано введение в действие роторного пленочного испарителя с гофрированным барабанным ротором.

Разработанный в данном проекте роторно-пленочный испаритель с гофрированным барабанным ротором позволяет получить более высокий съем дистиллята с единицы теплообменной поверхности и меньший отбор неиспарившейся части продукта при обеспечении требуемых качественных показателей капролактама, по сравнению с прототипом.

В связи с увеличением зазора между корпусом и барабаном (до нескольких сантиметров) снимаются жесткие требования к качеству обработки внутренней поверхности корпуса аппарата.

6. Рассмотрены вопросы охраны труда и промышленной экологии.
7. Дан анализ экономической эффективности проекта. Срок окупаемости составляет 1 год.

Экономический эффект достигается за счет снижения затрат на ремонт испарителя, снижения потребления аппаратом электроэнергии, а также увеличения производительности за счет снижения времени простоя. Снижение времени простоя обусловлено тем обстоятельством, что на стенках аппарата не происходит отложение пленки олигомеров, так как в испарителе с гофрированным ротором теплообменная поверхность как бы интенсивно «моется» струями жидкости, сбрасываемой с ротора. Все это влияет на себестоимость готовой продукции – товарного капролактама – снижает ее.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Любарский Г.Д., Стрелец М.М., Химическая промышленность. – 1967, №7.
2. Производство капролактама. Под ред. В.И. Овчинникова, В.Р. Ручинского. – М.: Химия, 1977. – 264 с.: ил.
3. Профессор А.А.Захаров Процессы и аппараты химической технологии. Изд. 2006г
4. Дытнерский Ю.И., Борисов Г.С. и др. Основные процессы и аппараты химической технологии. М., «Химия», 1991.
5. Технологический регламент производства капролактама цеха №37 ОАО «КуйбышевАзот».
6. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии: учеб. пособие для вузов/ Г.П. Романков, Фролов В.Ф. Флисюк О.М ; 2009г
7. Физические величины: справочник А.П. Бабичев, Н.А. Бабушкина, А.М. Братковский [и др.]; под ред. И.С. Григорьева, Е.З. Мейлихова. М.: Энергоатомиздат, 1991. – 1232 с. – ISBN 5-283-04013-5.
8. 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.
9. Справочник химика: в шести томах/ Под ред. Б.П. Никольского. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.; Л.: Химия, 2009г. – 1008-1072 с.
10. ГОСТ 14249 – 89. Нормы метода расчета на прочность химического оборудования.
11. ГОСТ 26202 – 84. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность обечаек и днищ от воздействия опорных нагрузок.
12. ГОСТ 14249 – 80. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность.

13. ГОСТ 24755-81 (СТ СЭВ 1639-79). Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность укрепления отверстий.
14. Флореа О. Расчеты по процессам и аппаратам химической технологии/ О. Флореа, О. Смигельский; под ред. С.З. Кагана. М.:Химия, 1971. 419 с.:ил.
15. А.Г.Касаткин. Основные процессы и апарты химической технологии изд. Альянс С 2008г
16. Справочник нефтехимика: в двух томах. Под.ред. С.К. Огородникова. Л.: Химия, 1978. – 496 с.: ил.
17. 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.
18. Шушкина Ж.В. Методические указания к экономическому обоснованию курсовых и дипломных проектов Ж.В. Шушкина. Тольятти: Изд-во ТолПИ, 1997. – 28 с.
19. Расчет экономической эффективности дипломного проекта: методические указания по экономической части дипломного проекта. Сост. А.В. Сергеев. – Тольятти: ТГУ, 2007. – 29 с.
20. Горина Л.Н. Методические указания «Идентификация опасных и вредных производственных факторов». - Тольятти: ТГУ, 2002
21. Безопасность жизнедеятельности. Учебник для вузов /С.В. Белов, А.В. Ильницкая, А.Ф. Козыяков и др.; под общ. ред. С.В. Белова. 2-е изд., испр. и доп. – М.: Высшая школа, 1999. – 448с.
22. Долин П.А. Основы техники безопасности в электроустановках, - М.: Энергоиздат, 1984, 450с.
23. Безопасность жизнедеятельности. /Н.Г. Занько, Г.А. Корсаков, К.Р. Малаян и др.; под общ. ред. О.Н. Руснак. – С.-Пб.: Петербургская лесотехническая академия, 1996.
24. Методические указания к дипломному проектированию по безопасности и экологичности объекта дипломного проекта. Сост. Л.Н. Горина. – Тольятти: изд-во ТГУ, 2003. – 17 с.

25. Горина Л.Н. Обеспечение безопасных условий труда на производстве.

Уч. пособие. – Тольятти: ТолПИ, 2000. – 68с.