

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»
ИНСТИТУТ ХИМИИ И ИНЖЕНЕРНОЙ ЭКОЛОГИИ
Кафедра «Химия, химические процессы и технологии»

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

ЗАДАНИЕ
на выполнение дипломного проекта

Студенту Бойкову Артёму Александровичу

- 1. Тема:** Улучшение работы дегидрататора в производстве изобутилена
- 2. Срок предоставления законченной готовой работы** 19 июня 2016 г.
- 3. Исходные данные к проекту (работе):** Расчёт мощности узла получения изобутилена ректификата рассчитана для получения 53000 тонны в год бутилкаучука. Нормы расхода изобутилен ректификата на 1 тонну бутилкаучука равна 1050 килограмм. Состав водного раствора триметилкарбинола (исходное сырьё узла получения изобутилен ректификата): триметилкарбинола(ТМК) – 87,7% (масс.), воды – 12,3% (масс.). Содержание в кубе дегидрататоров Р-28/І,ІІ ТМК – 99% (масс.), воды – 1,0% (масс.). Флегма дегидрататоров Р-28/ІІ содержит 70,0%(масс.) ТМК, 26,0%(масс.) воды и 4,0%(масс.) изобутилена. Содержание ТМК в промывной воде колонны Кт-38 3,6%(масс.). Количество подаваемой воды на отмывку 6000 кг/ч. Изобутилен на входе в колонну Кт-48 содержит 1,0%(масс.) ТМК. Кубовый продукт колонны Кт-48 содержит 30%(масс.) ТМК и 2,4%(масс.) димеров. Содержание воды на входе в колонну Кт-53 0,05%(масс.). Изобутилен ректификат содержит 0,001%(масс.) воды.
- 4. Содержание текстового документа (перечень подлежащих разработке вопросов)** Аналитическая часть - литературный обзор, выбор и обоснование технологии производства, физико-химические основы процесса. Технологическая часть – характеристика производимой продукции, описание технологической схемы, физико-химические свойства веществ. Расчетная часть - материальный баланс узла, энергетический баланс узла получения изобутилена, выбор и технологический подбор оборудования, производственный контроль. Экономическое обоснование предлагаемого проекта - маркетинговый анализ, расчет годовой производственной мощности. Расчет капитальных вложений (инвестиций). Расчет экономической эффективности проекта. Безопасность и экологичность технического объекта- конструктивно-технологическая характеристика.

Идентификация производственно-технологических и эксплуатационных профессиональных рисков, методы и технические снижения профессиональных рисков, обеспечение пожарной и технологической безопасности. Организационно мероприятия по предотвращению пожара. Обеспечение экологической безопасности рассматриваемого объекта.

5 Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)

5.1. Дегидрататор Р-28.

5.2. Тарелка колпачковая.

5.3. Тарелка ситчатая.

5.4. Чертёж кинетика реакции.

5.5. Чертёж колон Кт-48 и Кт-53.

5.6. Чертёж дегидрататора Р-28 и колонны Кт-38.

5.7. Чертёж конденсатор Т-30.

5.8. Чертёж экономической эффективности проекта.

6. Консультанты

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

Руководитель _____ Щукин В.П.

Задание принял к исполнению _____ Бойков А.А.

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

дипломного проекта

Студента: Бойкова Артёма Александровича

По теме: Улучшение работы дегидрататора в производстве изобутилена

| Наименование раздела работы | Плановый срок выполнения раздела | Фактический срок выполнения раздела | Отметка о выполнении и | Подпись руководителя |
|---|----------------------------------|-------------------------------------|------------------------|----------------------|
| Введение | 04.03.2016 | | | |
| Аналитическая часть | 14.03.2016 | | | |
| Технологическая и экспериментальная часть | 28.03.2016 | | | |
| Расчетная часть: Конструкционный расчет | 10.04.2016 | | | |
| Технологический расчет | 28.04.2016 | | | |
| Экономическая часть | 05.05.2016 | | | |
| Безопасность и экологичность технического проекта | 12.05.2016 | | | |
| Нормо-контроль | 21.05.2016 | | | |
| Выполнение чертежей | 29.05.2016 | | | |
| Заключение | 30.05.2016 | | | |
| Предварительная защита | 10.06.2016 | | | |
| Оформление работы | | | | |

Руководитель дипломного проекта

_____ (подпись)

В.П. Щукин
_____ (И.О. Фамилия)

Задание принял к исполнению

(подпись)

Бойков А.А.
(И.О. Фамилия)

АННОТАЦИЯ

Дипломная работа представлена на 130 с., содержит, 47 таблиц, 40 источник, 7 листов графического материала формата А1.

В дипломном проекте была предложена следующая оптимизация технологии: изменение подачи исходного раствора ТМК и монтаж трех ситчатых тарелок над основным объемом катализатора в дегидрататорах Р-28/І,ІІ. На ситчатые тарелки загружают дополнительное количество формованного катализатора КУ-2-23ФПП, который находится в жидкой фазе.

Получаемый газообразный изобутилен отделяется от унесенных паров ТМК и воды которые конденсируются в Т-30 и возвращаются в дегидрататор. Газообразный изобутилен дополнительно очищается в отмывной колонне Кт-38, компримируется и в жидком состоянии очищается от тяжелых примесей ректификации и азеотропной осушкой.

Ключевые слова из текста документа, которые в наибольшей мере характеризуют его содержание – дегидратация, изобутилен, триметилкарбинол, азеотроп, ректификация.

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|--|----|
| ВВЕДЕНИЕ..... | 5 |
| 1 АНАЛИТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ..... | 7 |
| 1.1 Литературный обзор..... | 7 |
| 1.2 Выбор и обоснование технологии производства..... | 18 |
| 1.3 Физико-химические основы процесса..... | 19 |
| 1.4 Патентная часть..... | 20 |
| 2 РАСЧЕТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ..... | 26 |
| 2.1 Характеристика производимой продукции..... | 26 |
| 2.2 Физико-химические свойства веществ..... | 33 |
| 2.3 Описание технологической схемы..... | 34 |
| 2.4 Техничко-технологические расчеты..... | 39 |
| 2.4.1 Материальный баланс узла..... | 39 |
| 2.4.2 Энергетический баланс узла получения изобутилена..... | 48 |
| 2.4.3 Выбор и технологический подбор оборудования..... | 52 |
| 2.4.4 Технологический расчет дегидрататора Р-28/І,ІІ..... | 66 |
| 2.5 Производственный контроль..... | 68 |
| 2.5.1 Система контроля и управления производством..... | 68 |
| 2.5.2 Аналитический контроль..... | 72 |
| 3 БЕЗОПАСНОСТЬ И ЭКОЛОГИЧНОСТЬ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА..... | 77 |
| 3.1 Конструктивно-технологическая характеристика объекта..... | 77 |
| 3.2 Идентификация производственно-технологических и эксплуатационных профессиональных рисков..... | 81 |
| 3.3 Методы и технические средства снижения профессиональных рисков..... | 82 |
| 3.4 Обеспечение пожарной и техногенной безопасности..... | 84 |

| | | |
|-----|--|------------|
| 3.5 | Организационные мероприятия по предотвращению пожара..... | 89 |
| 3.6 | Обеспечение экологической безопасности рассматриваемого технического объекта..... | 92 |
| 4 | ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРОЕКТА..... | 97 |
| 4.1 | Маркетинговый анализ..... | 97 |
| 4.2 | Расчёт годовой производственной мощности цеха..... | 97 |
| 4.3 | Расчёт затрат на модернизацию оборудования..... | 99 |
| 4.4 | Расчёт численности рабочих и фонда оплаты труда..... | 100 |
| 4.5 | Расчёт заработной платы рабочих..... | 106 |
| 4.6 | Организация управления производством..... | 113 |
| 4.7 | Расчёт себестоимости продукции..... | 117 |
| 4.8 | Расчёт экономической эффективности проекта..... | 123 |
| 4.9 | Выводы и заключения..... | 124 |
| | ЗАКЛЮЧЕНИЕ..... | 125 |
| | СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ..... | 126 |

ВВЕДЕНИЕ

Одним из основных способов получения изобутилена полимеризационной чистоты является процесс дегидратации триметилкарбинола (ТМК). ТМК получают селективной гидратацией изобутилена, содержащегося в различных С4 фракциях углеводородов, с последующим выделением ректификацией из водного потока в виде азеотропа и дегазацией последнего.

Реакция дегидратации ТМК обратима и протекает с поглощением тепла (~1200 ккал/моль). Для достижения 100%-й степени превращения спирта необходимо предусмотреть такую конструкцию реактора, которая обеспечивала бы постоянный подвод тепла в реакционную зону и вывод из нее образующихся продуктов (изобутилен и вода). Эксплуатируемый в цехе БК-4 ООО "Тольяттикаучук" дегидрататор реакционно-ректификационного типа полностью отвечает этим требованиям.

Дегазированный водный азеотроп ТМК подают в дегидрататоры Р- 28/І,ІІ на верхнюю тарелку ректификационной секции, откуда пары спирта и воды поступают в слой катализатора. В реакционной зоне ТМК разлагается на изобутилен и воду. Вода, как высококипящий компонент, отделяется кубом ректификационной секции и выводится из дегидрататора. Газообразный изобутилен вместе с парами неразложившегося ТМК и воды отводят из верхней части реакционной секции реактора и направляют в парциальный холодильник Т-30, где при температуре 30-40°С конденсируются пары ТМК, воды и частично изобутилена. Из холодильника-конденсатора Т-30 парожидкостную смесь направляют в сепаратор 0-31, в котором отделяют конденсат от паров. Полученный конденсат собирают в емкости Е-111, откуда насосом Н-112 возвращают в верхнюю часть реакционной зоны на слой катализатора в виде флегмы.

Недостатком данной технологии дегидратации ТМК является большой проскок паров неразложившегося спирта через слой катализатора, которые после конденсации вновь возвращаются в дегидрататор в виде флегмы. Все это ведет к большим энергозатратам и низкой производительности реактора.

Целью настоящей работы является разработка технологической схемы и технологических режимов работы дегидрататоров Р-28/І,ІІ, обеспечивающих более высокую производительность и более низкие энергозатраты.

1 АНАЛИТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

1.1 Литературный обзор

В работе представлен подробный анализ механизмов и кинетических закономерностей реакций гидратации непредельных соединений и дегидратации спиртов в водных растворах протонных кислот. Отмечено, что чаще всего кинетические измерения проводят с малыми концентрациями непредельных соединений и спиртов, не влияющих на каталитические свойства раствора. В данных условиях при постоянной концентрации кислоты обратимые реакции гидратации – дегидратации имеют первый порядок относительно концентрации органического реагента и уравнения скорости имеют следующий вид

$$-dC_{\text{ол}}/dt = dC_{\text{сп}}/dt = k_{\text{гидр}} \cdot C_{\text{ол}} - k_{\text{дегидр}} \cdot C_{\text{сп}} \quad (1)$$

В общем случае при обработке результатов кинетических измерений получают константу скорости $k_{\text{сум}} = k_{\text{гидр}} + k_{\text{дегидр}}$. Для отдельного определения $k_{\text{гидр}}$ и $k_{\text{дегидр}}$ измеряют равновесные концентрации непредельного соединения и получающегося спирта $C_{\text{ол}}^{\infty}$ и $C_{\text{сп}}^{\infty}$.

Согласно уравнению (1)

$$C_{\text{сп}}^{\infty}/C_{\text{ол}}^{\infty} = k_{\text{гидр}}/k_{\text{дегидр}}$$

Согласно общепринятым представлениям при образовании олефина из спирта в кислоте, вследствие протонирования ROH, первоначально образуется стабильное оксониевое соединение (протонированная форма спирта), которое в медленной стадии распадается на карбониевый ион и воду.



Современные физические методы не позволяют определить в ходе кинетического опыта по дегидратации спирта концентрации и состав реакционноспособных комплексов (РК). Выводы о составе РК и о влиянии

среды на их концентрацию делают на основании зависимости $k_{\text{дегидр.}}$. От ионизирующих свойств среды. Механизм ионизации спиртов в кислых средах подробно не изучен, однако нет сомнений в том, что при ионизации спиртов могут образовываться протанированные формы, ионные пары, комплексы с компонентами раствора. Состав реакционноспособного комплекса реакций дегидратации спиртов можно узнать по зависимости $k_{\text{дегидр.}}$ от параметров среды, характеризующих ионизирующую способность раствора.

Попытки объяснения кинетики реакций дегидратации спиртов только на основе концепции о карбониевых ионах как промежуточных реакционно-способных частицах упрощают реальный механизм этих реакций, поскольку при этом не учитывается каталитическое действие других ионов, нейтральных частиц и ионных пар в водном растворе сильной кислоты.

Кинетика дегидратации трет-бутилового спирта в статических условиях и в проточной системе с использованием катионита КУ-1 как катализатора изучена в работе. Опыты в статических условиях проводили в круглодонной колбе, помещенной в термостат с снабженной мешалкой, обратным холодильником и термометром с ценой деления $0,1^{\circ}\text{C}$. Выделившийся изобутилен собирали в приемник, охлаждаемый смесью ацетона с сухим льдом.

Для исследований в проточной системе была использована установка с автоматической подачей жидких продуктов на катализатор сверху. Реактором служила стеклянная трубка диаметром 25 мм и длиной 280 мм с рубашкой, в которую подавали горячую воду из термомстата. Температура замерялась в середине слоя катионита термометром с точностью $0,5^{\circ}\text{C}$. В пределах точности измерения температура была постоянной по высоте слоя.

Катионит КУ-1 по ТУ 107-58 промывали до нейтральной реакции от свободной серной кислоты, высушивали до влажности $\sim 20\%$ и рассеивали на фракции с зернами размером 2-3, 1-2, 0,5-1 и 0,25-0,5 мм. Ряд опытов проведен на катализаторе, в котором ионы H^+ были частично замещены на

ионы Na^+ . Перед загрузкой катализатор выдерживали в растворе спирта во избежание увеличения его объема во время опыта.

Исходный трет-бутиловый спирт получали гидратацией изобутилена на катионите КУ-1. После ректификации на лабораторной установке спирт содержал 85% масс. основного вещества и отвечал требованиям, предъявляемым к чистым реактивам. Выделившийся изобутилен и водный раствор непрореагировавшего спирта собирали соответственно в газометр и приемник. Изобутилен анализировали газохроматографическим методом, концентрацию трет-бутилового спирта в водно-спиртовых растворах определяли по коэффициенту рефракции с точностью до 0,5 абс. %.

При проведении опытов в статических условиях было установлено, что дегидратация спирта на катионите КУ-1 протекает по реакции первого порядка

$$dC/d\tau = k C, \quad (2)$$

где, C - концентрация трет-бутилового спирта, моль/л;

τ - время от начала опыта, мин;

k - константа скорости реакции, мин^{-1} .

Для катализатора с зернами размером 0,5-1,0 мм константа скорости реакции с увеличением интенсивности перемешивания повышалась мало (на ~12%), что указывает на наличие лишь небольшого диффузионного торможения в пленке. При интенсивном перемешивании она была прямо пропорциональна обменной емкости смолы. Уменьшение размера зерен катализатора с 0,5-1,0 до 0,25-0,5 мм способствовало увеличению скорости реакции лишь в 1,1-1,3 раза. Константа скорости дегидратации на катализаторе с зернами размером 0,25-0,5 мм не зависит от интенсивности перемешивания и прямо пропорциональна обменной емкости катализатора; скорость реакции определяется скоростью химического превращения в зерне.

При катализе катионитами и серной кислотой скорость реакции пропорциональна количеству каталитически действующих ионов, однако авторами данных исследований найдено, что скорость дегидратации трет-

бутилового спирта на катионите КУ-1 гораздо выше, чем в растворе серной кислоты. Так, при температуре 77°C и $m = 0,0078$ (отношение г-экв H^+ к г-экв спирта) константа скорости реакции на катионите составляла $0,00153 \text{ мин}^{-1}$; в растворе серной кислоты она практически была равна нулю. Только при увеличении количества кислоты до $m = 0,117$, т. е. в 15 раз, была достигнута скорость дегидратации ($k = 0,00145 \text{ мин}^{-1}$), близкая к скорости дегидратации на катионите. Определена энергия активации реакции дегидратации трет-бутилового спирта, которая в интервале температуры 67-77°C составляет 36000 кал/моль в присутствии КУ-1 и 42000-44000 кал/моль в присутствии серной кислоты.

На установке проточного типа исследована кинетика дегидратации трет-бутилового спирта в жидкой фазе. Для выражения зависимости степени превращения спирта от скорости подачи исходного реагента, температуры и концентрации спирта было использовано уравнение Фроста и Антипиной следующего вида.

$$\alpha + \beta v_0 y = v_0 \ln [1/(1 - y)], \quad (3)$$

где, v_0 - скорость подачи спирта, моль на 1 мл катализатора в час;

y - степень его превращения, %;

α и β коэффициенты, зависящие от температуры и концентрации спирта.

В координатах $v_0 \ln [1/(1 - y)] - v_0 y$ экспериментальные данные укладываются на прямую линию, то есть кинетика дегидратации трет-бутилового спирта в жидкой и паровой фазах хорошо описывается уравнением (3). Рассчитаны значения α и β для исходных концентраций спирта 51; 73 и 85% масс. и температуры в пределах 64-90°C. При $C_0 = 73\%$ масс. и температуре 88°C, $C_0 = 85\%$ масс. и 82°C агрегатное состояние спирта - парообразное; при $C_0 = 85\%$ масс. и 77°C - паро-жидкостное.

Для удобства пользования уравнением (3) и простоты расчетов с ошибкой, не превышающей 15 отн. %, авторы предложили для всех случаев дегидратации спирта в жидкой фазе принять $\beta = 1$. Приведены графические

зависимости α от температуры и концентрации спирта при $P = 1$. Используя полученные зависимости можно определить величину α для различных температур и концентраций спирта.

Кинетика реакции дегидратации третбутанола изучалась импульсным газохроматографическим методом в работе. Реактор представлял собой кварцевую трубку длиной 90 мм и внутренним диаметром 7 мм, заполненную катализатором. Объем катализатора составлял 1,2 мл, объем газовой фазы - 1,8 мл, количество нанесенной кислоты варьировали от 2,8 до 13,8 мг. В качестве катализатора использовали фосфорную кислоту, нанесенную на кварц. При 70°C концентрацию фосфорной кислоты в каталитической системе изменяли от 53 до 80% масс.

Исходный трет-бутанол производства "Реанал" содержал 99,6% масс. Основного вещества, ввод в реактор осуществляли шприцем МШ-10. В большинстве опытов объем пробы был равен 0,5 мкл.

Для необратимых реакций первого порядка, проводимых в условиях импульсного газохроматографического метода, применяли для обработки экспериментальных данных следующее уравнение.

$$2,3\omega \lg (n_0/n_i) = k_{\text{ж}}\Gamma V_{\text{ж}} = k_{\text{эф}}, \quad (4)$$

где, n_0 и n_i - начальная и текущая скорость подачи (концентрации) трет-бутанола;

ω – объемная скорость газа-носителя;

$k_{\text{ж}}$ - эффективная константа скорости реакции в жидкой фазе (эта константа характеризует каталитическую активность раствора с заданной концентрацией кислоты);

Γ - коэффициент, равный отношению равновесных концентраций трет-бутанола в жидкой и газовой фазах для данного состава раствора;

$V_{\text{ж}}$ - объем нанесенной на поверхность кварца фосфорной кислоты;

$k_{\text{эф}}$ - наблюдаемая в опытах константа скорости.

Авторами проведена обработка экспериментальных данных по уравнению (4), рассчитаны $k_{\text{эф}}$, и значение наблюдаемой энергии активации,

которая равна 10,4 ккал/моль. Отмечено сильное влияние изменения исходной упру госты водяного пара (концентрации фосфорной кислоты) на величину $K_{эф}$. Это объясняется двумя эффектами: изменением коэффициента Γ и изменением кислотности среды.

В работе [34] исследована кинетика дегидратации триметилкарбинола на Al_2O_3 при давлении 700-200 мм рт. ст., температуре 207-272°C и времени контакта 1-4,5 мин. Отмечено увеличение скорости реакции в 3,3 раза при уменьшении давления от 700 до 200 мм рт. ст. и независимости скорости от времени контакта в интервале 1-3 мин. Использован в опытах безводный триметилкарбинол (температура кипения 82-83°C), не содержащий по данным газохроматографического анализа примесей других спиртов.

Каталитическая активность сульфокатионитов КУ-2 гелевого типа [35] и в виде волокна (ВСК), полученного путем радиационной прививки к полипропиленовой технической нити с диаметром моноволокна 22 мкм сополимера стирола с 2% дивинилбензола с последующим сульфированием серной кислотой, изучена в реакциях дегидратации триметилкарбинола (ТМК), олигомеризации и гидратации изобутилена.

Обменная емкость волокнистого сульфокатионита по хлористому натрию находилась в пределах 3,3-3,4 мг-экв/г сухого образца, сорбционная поверхность по аргону составляла 0,4 м²/г, что очень близко к расчетной геометрической поверхности волокна такого сечения. Использовался также промышленный катионит КУ-2 с диаметром гранул 0,25-1,00 мм и обменной емкостью 4,5 мг-экв/г, с сорбционной поверхностью близкой к геометрической.

При малой нагрузке по ТМК (0,28 г/мг-экв*час) как волокнистые, так и гранульные образцы обеспечивают полную конверсию ТМК при 100°C, однако увеличение скорости подачи спирта приводит к резким отличиям в динамической активности указанных типов сульфокатионитов. 10-кратное (от 0,28 до 2,50 г/ мг-экв*час) повышение удельной скорости подачи спирта практически не влияет на его конверсию на уровне 95-90% на волокнистом

образце, в то время как на гранульном степень превращения падает от 93 до 50%, что объясняют возрастающей ролью диффузии в зерне в суммарном процессе превращения ТМК.

Более глубокое исследование механизма и кинетики протекания реакций дегидратации спиртов проведено в работах [37-38]. В [37] были изучены кинетические закономерности реакции дегидратации ТМК в присутствии макропористого сульфокатионита Amberlyst 15 по скорости выделения изобутилена из кипящих в узком температурном интервале ($80 \pm 2^\circ\text{C}$) смесей спирт - вода и спирт - метилциклогексан, которые брали в количестве 200 мл и помещали в реакционную трехгорлую колбу, снабженную электрическим обогревом и механической мешалкой. Скорость отвода газообразного изобутилена периодически измеряли мыльнопленочным расходомером и аппроксимировали к нулевому времени для состава исходной смеси. Показано сильное ингибирующее влияние воды на скорость реакции при увеличении ее концентрации в растворе до 0,7 моль/л, что объяснено переходом от общего кислотного катализа к катализу гидратированным протоном, обычно имеющему место в растворах. При концентрации ТМК менее 8 моль/л и воды более 12 моль/л катализ осуществляется полностью гидратированными протонами и скорость реакции дегидратации имеет первый порядок по спирту и нулевой по воде. Для математического описания реакции в области меньшего содержания воды была использована модель Лэнгмюра-Хиншельвуда. Рассчитаны константы скорости и константы адсорбции в кинетических уравнениях для температуры 80°C , но влияние температуры на скорость реакции дегидратации ТМК не исследовалось.

В патентной литературе представлены разнообразные процессы получения изобутилена разложением трет-бутилового спирта, отличающиеся катализаторами, аппаратным оформлением, фазовым состоянием реагентов, технологическими схемами и режимами [24-31].

Согласно патента США №4873391 [29] изобутилен получают дегидратацией трет-бутилового спирта в чистом виде или в виде водного раствора в паровой фазе с разбавлением инертным газом или водяным паром при температуре 100-450°C на кремне-алюминиевом катализаторе с удельной поверхностью 100-1000 м²/г, объемом пор 0,3-1,0 см³/г и содержанием 10-30% масс. Al₂O₃ с последующим выделением чистого изобутилена из реакционной смеси.

В примерах опыты проводили в реакторе, представляющем собой трубку из нержавеющей стали внутренним диаметром 25 мм и длиной 700 мм, в которую загружали 330 см³ выпускаемого промышленностью кремне-алюминиевого катализатора N631L в виде цилиндров диаметром 5 мм и длиной 5 мм. Температуру в зоне реакции поддерживали равной 160°C. Подачу исходного водного раствора трет-бутилового спирта с содержанием 90% масс. Основного вещества в газовой фазе поддерживали в интервале 11-33 л/час. При каких условиях измеряли объем подаваемого исходного реагента не указывается. Если принять, что при температуре 160°C и атмосферном давлении, то подача ТМК составит 47-142 г на литр катализатора в час. В среднюю часть реактора подавали нагретый до 160°C поток азота или водяного пара в объемном отношении к исходной смеси реагентов от 1:1 до 5,5:1. В результате достигнута степень превращения трет-бутилового спирта 99,0-99,7%, селективность 94,6-97,1%. В опыте, когда поток инерта подавали на вход реактора, степень превращения трет-бутилового спирта составила 98,5%, селективность - 96,1% (при подаче инерта в среднюю часть реактора 99,3% и 94,8%, соответственно).

По технологии данного патента предусмотрено также разбавлять часть или весь объем катализатора инертным материалом с размером и формой частиц катализатора (алюминиевая керамика или активированный алюминий). В примерах по данному варианту температуру в зоне реакции поддерживали 160-210°C, подавали 11,5-34 л/час исходного сырья в паровой фазе, водяной пар поступал в среднюю часть реактора в объемном

отношении к исходному сырью от 2:1 до 3:1. Степень превращения трет-бутилового спирта составляла 99,1-99,9%, селективность - 97,8-99,0%.

Основным недостатком данного процесса является высокое энергопотребление, обусловленное высокой температурой проведения реакции и необходимость разбавления паром.

В [26,30] разложение трет-бутилового спирта проводят в жидкой фазе в присутствии инертных компонентов, образующих азеотропную смесь с водой и тем самым способствующих удалению воды из зоны реакции. Жидко-фазный процесс разложения проводят в присутствии ксилола и гомогенного сульфокислотного катализатора при температуре 70-200°C и давлении достаточным для нахождения ксилола в жидком состоянии [27]. Катализатором являются арилсульфокислоты, в том числе пара и ортосульфокислоты или их смеси, из ксилолов более предпочтителен параксилол.

Основной отличительной чертой технологии по патенту [26] является стадия предварительного контактирования исходного потока водного раствора ТБС с азеотропобразующим компонентом, в результате чего значительная часть содержащейся в спирте воды выделяется отдельной фазой, а трет-бутиловый спирт подается в зону дегидратации вместе с азеотропобразующим компонентом. В реакторе происходит разложение ТБС до воды и изобутилена. Пары изобутилена и азеотропа вода-углеводород выводятся из зоны реакции, охлаждаются в теплообменнике до 20-40°C и направляются в сепаратор, где отделяется газообразный изобутилен и поступает на стадию компримирования и очистки. Исходный водный раствор ТБС обычно подают в выходящий из реактора поток после холодильника. Азеотроп образующий углеводород в жидкой фазе вместе с трет-бутиловым спиртом направляют в зону реакции, а водная фаза выводится из системы на очистку. Азеотроп образующими компонентами могут быть алифатические и ароматические углеводороды с температурой кипения в интервале 60-140°C, в том числе бензол, толуол, ксилолы, наиболее предпочтителен параксилол.

Катализаторами могут быть любые катализаторы дегидратации, в том числе сульфокатиониты, серная кислота, но более предпочтительна толуолсульфокислота.

В [30] патентуется способ получения изобутилена дегидратацией третбутилового спирта при его контактировании с катионообменной смолой в интервале температур 68-100°C в присутствии бензола, обеспечивающем непрерывное удаление образующейся при разложении третбутилового спирта воды в виде азеотропа.

В качестве катализатора использовали макропористый сульфокатионит (Amberlyst-15), активность которого в реакции дегидратации ТБС, как показали авторы, сильно зависит от концентрации воды в реакционной массе. Производительность снижается от 10 г изобутилена на 1 г сульфокатионита при использовании 97-100%-го ТБС до ~2 г на 1 г катализатора при использовании ТМК с содержанием основного вещества 79% мае. Температура проведения процесса при этом находилась в интервале 75- 79,5°C. В примере, где использовали бензол для отгонки воды из зоны реакции и температуру реакционной массы поддерживали в интервале 71-73°C, производительность Amberlyst-15 составила 4,7 г на 1 г сульфокатионита в час.

Недостатками таких процессов является использование дополнительного азеотропобразующего агента, что ведет к высоким энергозатратам, усложняет аппаратное оформление наличием стадий очистки воды и рециркулируемого инертного углеводорода.

Одно из первых авторских свидетельств Российских авторов на способ получения изобутилена дегидратацией триметилкарбинола с использованием сильных, содержащих сульфогруппу, катионообменивающих смол (КУ-2, СДВ-3, СБС) было получено в 1959 году [24]. Процесс ведут на периодической установке или на установке непрерывного действия при температуре 75- 100°C атмосферном или повышенном в пределах до 4 атм давлении.

В периодический реактор загружают катионит и водный раствор триметилкарбинола, реактор нагревают так, чтобы раствор кипел. Выделяющийся изобутилен и неразложившиеся пары триметилкарбинола проходят через холодильник, триметилкарбинол конденсируется и стекает обратно в реактор, а изобутилен непрерывно отводится.

На установке непрерывного действия нагретый до 75°C раствор триметилкарбинола пропускают через колонку, заполненную катионообменивающей смолой. Колонка обогревается рубашкой, заполненной кипящей водой. В процессе дегидратации выделяются изобутилен и вода. Вода стекает в куб колонки, имеющей электрообогрев, а изобутилен отбирается через холодильник сверху. Температура верха колонки - 80°C, низа - 100°C. При средней производительности колонки 130 г изобутилена с литра сухого катализатора в час конверсия триметилкарбинола в чистый изобутилен составляет примерно 100%.

В более позднем авторском свидетельстве [25] предложено процесс дегидратации третичных спиртов проводить с использованием катионита, нанесенного на термопластичный материал, например, полиэтилен и полипропилен. Процесс ведут в дегидрататоре реакционно-ректификационного типа, представляющем собой стальную колонну диаметром 300 мм, нижняя часть которой загружена инертной насадкой, верхняя - катализатором. Раствор триметилкарбинола подается на верх ректификационной части, откуда исходные компоненты в паровой фазе поступают в слой катионита, где происходит разложение спирта. Верхом дегидрататора отводятся пары изобутилена, воды и неразложившегося спирта и направляют на охлаждение в теплообменник, в котором вода и спирт конденсируются и возвращаются на слой катализатора в виде жидкости как флегма, а изобутилен в газовой фазе поступает на стадию компримирования и очистки. Общая степень превращения триметилкарбинола рассчитывается как отношение количества прореагировавшего спирта к количеству подаваемого на питание, степень

превращения за проход - как отношение прореагировавшего триметилкарбинола к общему количеству, включающему питание и флегму.

В приведенных примерах в реактор загружено 70 л катализатора КУ- 2ФПП. Температуру в реакционной зоне поддерживают 88°C, давление 0,8 ати. На 1 литр катализатора подают 0,27 и 0,33 кг ТМК в час. Общая конверсия составляет 97% и 96%, конверсия за проход 43% и 36,5%, то есть производительность по ТМК равна 0,26-0,32 кг/л кат. час, количество флегмы 1,22-1,64 кг на 1 кг питания.

Технология проведения процесса дегидратации трет-бутилового спирта в аппарате реакционно-ректификационного типа запатентована в технология проведения процесса дегидратации трет-бутилового спирта в аппарате реакционно-ректификационного типа запатентована в [31]. Водный раствор ТБС подают в среднюю часть реакционно-ректификационной секции, представляющий собой слой катализатора. Над слоем катализатора расположена ректификационная секция, где происходит отделение изобутиленсодержащей фракции от тяжелых продуктов, под слоем катализатора - ректификационная секция, обеспечивающая отделения водной фракции от более легких компонентов. В качестве катализатора используются обработанные фтором бета-цеолиты и монтмориллонитовые глины. Содержание фтора в цеолитах находится в пределах 0,1 -10%, в глинах - в пределах 0,2- 2%. Температуру в реакционно-ректификационной колонне поддерживают в пределах 60-120°C, в кипятильнике - 70-140°C, давление - в пределах 5-30 psi.

1.2 Выбор и обоснование технологии производства

В целях устранения основных недостатков существующей технологии получения высокочистого изобутилена из триметилкарбинола в цеху БК-4 на предприятии ООО «Тольяттикаучук» предлагаются следующие изменения:

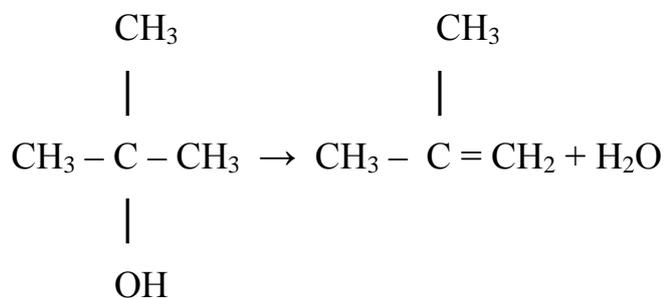
1) Изменить схему подачи исходного раствора ТМК и направить его не под слой катализатора, а на вверх.

2) Установить три ситчетые тарелки в верху реактора, на которые загрузить слой катализатора. Катализатор находится полностью в жидкой фазе, что ведет к повышению эффективности работы катализатора и массообменным процессам. Уменьшится проскок тяжелых компонентов (ТМК и воды)

3) Из-за уменьшения проскока тяжелых компонентов рецикл будет составлять примерно 10-15% от питания

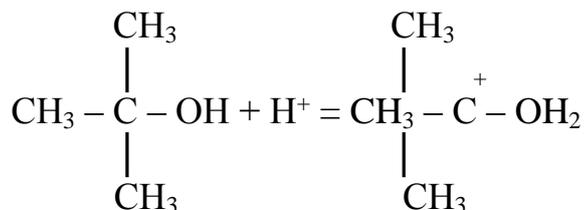
1.3 Физико-химические основы процесса

Дегидратация триметилкарбинола происходит по следующей схеме:

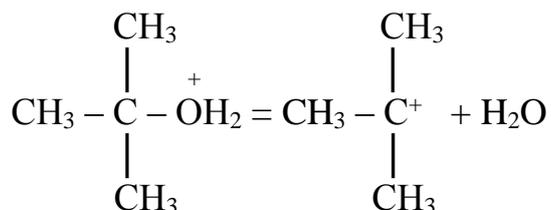


Или по стадиям:

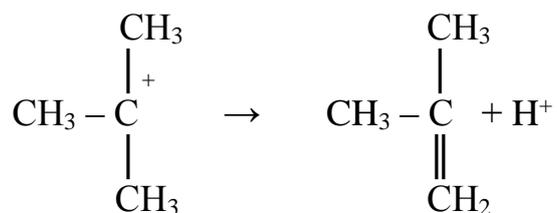
1) Первоначально образуется стабильное оксониевое соединение (протонированная форма спирта). Стадия идет медленно.



2) Оксониевое соединение распадается на карбониевый ион и воду. Стадия идет медленно.



3) В третий стадии идет отщепление протона (H^+) с образованием изобутилена. Стадия идет быстро.



Дегидратация триметилкарбинола проводится под давлением не более 0,6 кгс/см² и температуре 80-95°С в присутствии катализатора КУ-2ФПП. Реакция дегидратации протекает с поглощением тепла – 12000 ккал/кмоль.

Катализатором [36] для процессов гидратации и дегидратации является КУ-2-23ФПП, представляющий собой композицию катионитов КУ-2П, КУ-23П и полипропилена, сформованного в гранулы.

1.4 Патентная часть

Для определения технического уровня разрабатываемой темы дипломного проекта был исследован патентный фонд ООО «Тольяттикаучук» за последние 20 лет.

Исследуемая тема относится к индексам международной патентной классификации (МПК) 6С 07С 1/213, 11/09; 6С 07С 43/04, 41/06; 5С 07С 11/02.

Сбор и анализ технических решений проводим с целью нахождения наиболее эффективных и экономичных способов разложения триметилкарбинола.

Выбранные технические решения сопоставляем со способом, разрабатываемым в дипломном проекте.

Для составления полного списка изобретений, имеющих отношение к теме дипломного проекта, пользуемся сплошным просмотром бюллетеней патентного ведомства РФ «Изобретения» и реферативного сборника патентов «Изобретения за рубежом».

Обнаруженные патенты – аналоги вносим в таблицу 1.1

Таблица 1.1 - Патенты – аналоги

| № документа | Патентообладатель | Название патента |
|--|--|---|
| 1 | 2 | 3 |
| Патент 2083541 Россия МПК 6С 07С 1/213 | Товарищество ограниченной ответственностью «Научно- исследовательский центр нефтехимическим технологиям», товарищество ограниченной ответственностью «Нефтехимстарт». | Способ получения изобутилена из третбутилового спирта |
| Патент 2083547 Россия МПК 6С 07С 43/04, 41/06 | Товарищество ограниченной ответственностью «Научно- исследовательский центр нефтехимическим технологиям» товарищество ограниченной ответственностью «Нефтехимстарт». | Способ получения третбутилового спирта в смеси с углеводородами |
| Патент 2083547 Россия МПК 5С 07С 11/02, С 07С 7/148, С 07С 1/213 | Научно- производственное предприятие «Ярсинтез» | Способ выделения третичных спиртов С1-С4 |
| Патент 2005709 Россия МПК 5С 07С 7/148 | Научно- производственное предприятие «Ярсинтез» | Способ выделения третичных спиртов С4-С5 |
| Патент 2096604 Великобритания МПК С 07С 31/04 | Snamprogetti SpA Corso Venezia 16 Milan Itali | Разложение трет-бутиловых спиртов |
| Патент 4751343 США МПК С 07С 1/00 | ЕС ERDOELCHEMIE G mb H | Процесс получения трет-бутиловых спиртов |

Продолжение таблицы 1.1

| 1 | 2 | 3 |
|---|---|--|
| Патент 148926 Польша МПК | Osrodek Badawczo- Rozwojowy Przemysly | Производство третичных спиртов |
| С 07С 11/02 С 07С 43/04 | Rafinezyjnego | - |
| Патент 3808498 Германия МПК С 07С 11/02 С 07С 1/20 | Bayer AG ЕС ERDOELCHEMIE G mb H | Способ получения третичных спиртов |
| Патент 4570026 США МПК С 07С 1/00, С 07С 7/00, С 07С 7/12, С 07С 4/08 | Petro – TexChemical Corporation, Houston, Tex | Получение изобутилена из трет-бутилового спирта |
| Патент 4873391 США МПК | - | Способ получения изобутилена разложением трет-бутилового спирта |
| Патент 4155945 США МПК | - | Разложение трет-бутилового спирта |

Из всего массива отобранных документов отбираем наиболее близкие к теме дипломного проекта.

Сравнительная характеристика выбранных изобретений и исследуемого объекта дипломного проекта производится в таблице 1.2

Таблица 1.2 - Сравнительная характеристика отобранных изобретений и исследуемого объекта

| № документа | Сущность изобретения | Сравнительная характеристика |
|------------------------------|---|--|
| 1 | 2 | 3 |
| Патент 4873391 США МПК | Получение изобутилена дегидратацией трет-бутилового спирта в чистом виде или в виде водного раствора в паровой фазе с разбавлением инертным | Разложение трет-бутилового спирта проводим в реакторе, представляющим собой трубку из нержавеющей стали внутренним диаметром 25 мм и |

Продолжение таблицы 1.2

| 1 | 2 | 3 |
|---------------------------------------|---|--|
| | <p>газом или водяным паром при температуре 100-450 °С на кремне-алюминиевом катализаторе с удельной поверхностью 100-1000 м²/г, объемом пор 0,3-1,0 см³/г и содержанием 10-30 % масс. Al₂O₃ с последующим выделением чистого изобутилена из реакционной смеси. По технологии данного патента предусмотрено также разбавлять часть или весь объем катализатора инертным материалом с размером и формой частиц катализатора (алюминиевая керамика или активированный алюминий).</p> | <p>длиной 700 мм, в которую загружали 330 см³ выпускаемого промышленностью кремне-алюминиевого катализатора N631L в виде цилиндров диаметром 5 мм и длиной 5 мм. Температуру в зоне реакции поддерживали равной 160 °С. Подачу исходного водного раствора трет-бутилового спирта с содержанием 90 % масс. Основного вещества в газовой фазе поддерживали в интервале 11-33 л/час. Недостатком данного процесса является высокое энергопотребление, обусловленное высокой температурой проведения реакции и необходимость разбавления паром.</p> |
| <p>Патент 4155945 США МПК</p> | <p>Разложение трет-бутилового спирта проводят в жидкой фазе в присутствии инертных компонентов, образующих азеотропную смесь с водой и тем самым способствующих удалению воды из зоны реакции. Жидкофазный процесс разложения проводят в</p> | <p>Отличительной чертой технологии является стадия предварительного контактирования исходного потока водного раствора трет-бутилового спирта с азеотропобразующим компонентом, в результате чего значительная часть содержащейся в спирте</p> |

Продолжение таблицы 1.2

| 1 | 2 | 3 |
|---|--|---|
| | <p>в присутствии ксилола и гомогенного сульфокислотного катализатора при температуре 70-200 °С и давлении достаточным для нахождения ксилола в жидком состоянии.</p> | <p>воды выделяется отдельной фазой, а трет-бутиловый спирт подается в зону дегидратации вместе с азеотропобразующим комкомпонентом. В реакторе происходит разложение трет-бутилового спирта до воды и изобутилена. Пары изобутилена и азеотропа вода – углеводород выводятся из зоны реакции, охлаждаются в теплообменнике до 20-40 °С и направляются в сепаратор, где отделяется газообразный изобутилен и поступает на стадию компримирования и очистки. Катализаторами могут быть любые катализаторы дегидратации, в том числе сульфокатиониты, серная кислота, но более предпочтительна толуолсульфокислота. Недостатком является использование дополнительного азеотропобразующего агента, что ведет к высоким энергозатратам,</p> |

Продолжение таблицы 1.2

| 1 | 2 | 3 |
|---|---|---|
| | | усложняет аппаратное оформление наличием стадий очистки воды и рециркулируемого инертного углеводорода. |

Анализ патентной литературы показывает, что разложение триметилкарбинола с высокой производительностью и селективностью происходит при проведении дегидратации в жидкой фазе с использованием макропористых сульфокатионитов в интервале температур 80-90 °С. Вода оказывает большое влияние на скорость реакции. Чем больше количества воды, тем меньше скорость разложения третичного спирта. Причем зависимость константы скорости от увеличения воды снижается по экспоненциальной зависимости.

В дипломном проекте выбран наиболее оптимальный технологический режим, когда содержание воды в реакционной смеси составляет более 50 % масс.

2 РАСЧЕТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

2.1 Характеристика производимой продукции

Изобутилен получается извлечением из углеводородных С4-фракций с помощью ионитного формованного катализатора КУ-2-23ФПП, а также выделением из возвратных продуктов производства изопренового каучука. Применяется в производствах бутилкаучука, полиизобутилена, изопрена, триизобутилалюминия, а также в процессах алкилирования углеводородов.

Эмпирическая формула – iC_4H_8

Изобутилен при нормальных условиях – бесцветный газ с резким неприятным запахом.

Жидкий изобутилен [21] – бесцветная, прозрачная, легкоподвижная жидкость.

Температура кипения – минус 7°С

Плотность – 0,594 г/см³

Температура самовоспламенения – 465 °С

Изобутилен плохо растворяется в воде, хорошо растворяется в этиловом спирте, эфире и других растворителях.

Изобутилен по степени воздействия на организм относится к 4 классу опасности – малоопасным веществам.

Изобутилен зарегистрирован Российским регистром потенциально опасных химических и биологических веществ, серия свидетельства о регистрации ВТ, № 000646 от 13.09.1995 г.

По физико-химическим показателям изобутилен должен соответствовать требованиям и нормам ТУ 38.103504-81 (с изменениями № 1-6), указанным в таблице 2.1[6, с 435-439].

Таблица 2.1 - Физико-химический показатель изобутилен

| Наименование показателя | Норма по маркам | | |
|---|--------------------------------|--------|-------------|
| | Высший сорт | | Первый сорт |
| | А | Б | Б |
| 1 | 2 | | |
| 1. Внешний вид в сжиженном состоянии | Бесцветная прозрачная жидкость | | |
| 2. Реакция среды | Нейтральная | | |
| 3. Массовая доля изобутилена, %, не менее | 99,95 | 99,93 | 99,90 |
| 4. Массовая доля α -бутилена, %, не более | 0,02 | 0,02 | 0,02 |
| 5. Массовая доля β -бутиленов, %, не более | 0,01 | 0,05 | 0,05 |
| 6. Массовая доля бутадиена, %, не более | 0,02 | 0,02 | 0,02 |
| 7. Массовая доля углеводородов (C_3 и прочих C_4), %, не более | 0,01 | 0,01 | 0,01 |
| 8. Массовая доля углеводородов C_5 , %, не более | 0,01 | 0,01 | 0,01 |
| 9. Массовая доля изопрена, %, не более | - | - | - |
| 10. Массовая доля влаги, %, не более | 0,002 | 0,002 | 0,002 |
| 11. Массовая доля спиртов (метанола, этанола, триметилкарбинола), %, не более | 0,001 | 0,001 | 0,001 |
| 12. Массовая доля карбонильных соединений, %, не более | 0,0002 | 0,0002 | 0,0002 |
| 13. Ацетиленовые соединения | отс | отс | отс |
| 14. Массовая доля серы, %, не более | - | - | - |

Таблица 2.2 – Характеристика вспомогательных материалов

| Наименование сырья, материалов, полупродуктов | Государственный или отраслевой стандарт, СТП, технические условия, регламент или методика на подготовку сырья | Регламентируемые показатели | Норма | Показатели по стандарту, обязательные для проверки |
|---|---|--|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 1 Катализатор КУ-2-23ФПП | ТУ 2174-011-05766801-01 марка «А» | <p>1 Внешний вид</p> <p>2 Гранулометрический состав:</p> <p>а) Размер гранул, мм:</p> <ul style="list-style-type: none"> - диаметр гранул - диаметр отверстий - толщина стенки, не менее - длина гранул <p>б) Массовая доля рабочей фракции, %, не менее</p> | <p>Гранулы в форме цилиндров серого или светло-желтого цвета</p> <p>5-7</p> <p>-</p> <p>-</p> <p>5-15</p> <p>70</p> | <p>Полная статическая обменная емкость. Каталитическая активность.</p> <p>Насыпная плотность.</p> <p>Массовая доля влаги.</p> |

Продолжение таблицы 2.2

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---------------------|------------------------------|---|--|---|
| | | 3 Полная статическая обменная емкость мг-экв/г, не менее 4 Каталитическая активность, %, не менее 5 Насыпная плотность, г/см ³ , не более 6 Массовая доля влаги, %, не более 7 Массовая доля свободной серной кислоты, % | 2,5 55 0,6 30 не нормируется | - - - - - |
| 2 Паровой конденсат | Протокол технического совета | 1. Жесткость общая, мкгэкв/л, не более 2 Содержание соединений железа, мкг/л, не более 3 Содержание кремниевой кислоты, мкг/л, не более 4 Содержание | 5 70 150 | Жесткость. Содержание: - железа, - кремниевой кислоты, |

Продолжение таблицы 2.2

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|------------------|------------------------------|--|--|--|
| | | нефтепродуктов, мг/л, не более 5 Перманганатная окисляемость, мг/л, не более 6 Величина рН 7 Солесодержание, мкСМ/см, не более 8 Щелочность общая, мкг экв/л, не более | 0,5 1,0 8,5-9,5 8 85 | - нефтепродуктов. Перманганатная окисляемость. рН Солесодержания. Щелочность |
| 3 Вода оборотная | Протокол технического совета | 1 Давление прямой, кгс/см ² , не менее 2 Давление обратной кгс/см ² , не более 3 Температура прямой воды, °С - летом не более - зимой 4 Окисляемость, мгО ₂ /л, не более 5 Продукты производства 6 Деревянная щепа 7 рН | 4,2 1,8 25 18-21 30 отсутствует отсутствует 6,5-8,5 | Давление прямой Давление обратной Температура прямой Окисляемость рН |

Продолжение таблицы 2.2

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---------------------|------------------------------|--|--|--|
| | | Температура обратной воды после любого аппарата, °С, не более | 40 | |
| 4 Инертный газ | Протокол технического совета | 1 Содержание, %, объем.: - азота, не менее - углекислого газа, не более - кислорода, не более - окиси углерода, не более 2 Точка росы, °С, не более 3 Давление (на распределительной гребенке цеха Д-7-Е-8), кгс/см ² , не ниже | 85,0 12,0 3,0 0,2 -30 5 | |
| 5 Азот газообразный | ГОСТ 9293-74 с изм. № 1,2,3 | 1 Объемная доля азота, %, не менее 2 Объемная доля кислорода, %, не более 3 Объемная доля | 99,95 0,05 | Содержание азота Температура точки росы |

Продолжение таблицы 2.2

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|--------------|------------------------------|--|--|---|
| | | водяного пара, %, не более 4 Содержание масла в газообразном азоте 5 Объемная доля водорода, %, не более | 0,004 выдерживает испытание не нормируется | |
| 6 Пар 13ати. | Протокол технического совета | 1 Давление, ати, не ниже 2 Температура, оС, не ниже 3 Жесткость общая, мкг экв/кг 4 Содержание: -соединений железа, мкг/кг - кремниевой кислоты, мкг/кг - нефтепродуктов, мг/кг 5 Перманганатная окисляемость, мгО ₂ /кг 6 рН | 9,0 255 отс 20 25 отс отс 8,5-9,5 | |

2.2 Физико-химические свойства веществ

Вода. (H₂O).

Молекулярный вес – 18,016 г/моль;

$t_{кр} = 100,0 \text{ C}^0$ при 760 мм.рт.ст.;

$t_{пл} = 0,0 \text{ C}^0$;

$t_{кип} = 374,12 \text{ C}^0$;

$p_{кр} = 221,2$ бар;

$q_{кр} = 317,8$ кг/м³

где $p_{кр}$ – критическое давление; $q_{кр}$ – критическое давление.

Изобутилен. (iC₄H₈).

Изобутилен – iC₄H₈ – при нормальных условиях бесцветный газ с резким неприятным запахом.

Жидкий изобутилен [15] – бесцветная, прозрачная, легкоподвижная жидкость. Изобутилен при высоких концентрациях действует угнетающе на нервную систему, при малых концентрациях – раздражает слизистые оболочки глаз и верхних дыхательных путей. При попадании на кожу вызывает обмороживание за счет быстрого испарения.

В организме не накапливается. При вдыхании паров изобутилена в большом количестве возможно отравление. Первыми характерными признаками отравления являются: тошнота, слабость, головокружение, шум в ушах.

Молекулярный вес – 56,104 г/моль;

$t_{кип} = -6,900 \text{ C}^0$ при 760 мм.рт.ст.;

$t_{пл} = -140,350 \text{ C}^0$;

$t_{кр} = 144,73 \text{ C}^0$;

$p_{кр} = 39,69$ бар;

$q_{кр} = 234$ кг/м³

Таблица 2.3 – Давление p насыщенного пара изобутилена

| t, C ⁰ | p, мм.рт.ст. | t, C ⁰ | p, мм.рт.ст. | t, C ⁰ | p, бар. | t, C ⁰ | p, бар. |
|-------------------|--------------|-------------------|--------------|-------------------|---------|-------------------|---------|
| -140 | 0,0062 | -70 | 26,9 | 0 | 1,315 | 70 | 9,82 |
| -130 | 0,038 | -60 | 53,3 | 10 | 1,87 | 80 | 12,26 |
| -120 | 0,175 | -50 | 98,2 | 20 | 2,58 | 90 | 15,09 |
| -110 | 0,646 | -40 | 171 | 25 | 3,01 | 100 | 18,37 |
| -100 | 1,99 | -30 | 282 | 30 | 3,50 | 110 | 22,16 |
| -90 | 5,30 | -20 | 445 | 40 | 4,64 | 120 | 26,34 |
| -80 | 12,5 | -10 | 675 | 50 | 6,06 | 130 | 31,28 |
| | | | | 60 | 7,77 | 140 | 36,70 |

Таблица 2.4 – Плотность q жидкого изобутилена

| t, C ⁰ | -70 | -60 | -50 | -40 | -30 | -20 | -10 | 0 | 10 |
|--|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| q * 10 ⁻³ , кг/м ³ | 0,6948 | 0,6841 | 0,6733 | 0,6624 | 0,6515 | 0,6405 | 0,6294 | 0,6180 | 0,6065 |

Триметилкарбинол. (C₄H₁₀O).

Легковоспламеняющаяся жидкость наркотического действия.

Раздражает слизистую оболочку глаз и дыхательных путей.

Молекулярный вес – 74,12 г/моль;

t_{кип} = 82,4 C⁰ при 760 мм.рт.ст.;

t_{пл} = 25,5 C⁰;

q = 0,786 кг/м³

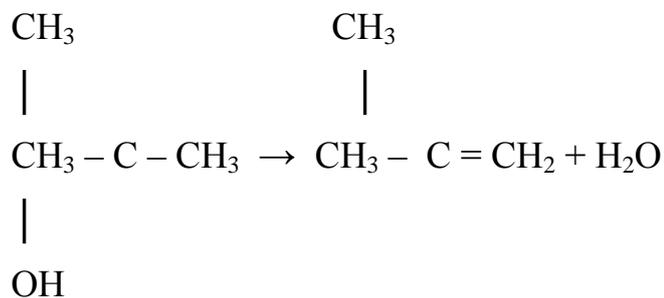
Азеотропная смесь с H₂O: содержание H₂O 11,8% по массе

t_{кип} = 79,9 C⁰.

T_{с.в.} = 480 C⁰.

2.3 Описание технологической схемы

Дегидратация триметилкарбинола проводится под давлением не более 0,6 кгс/см² и температуре 80-95°С в присутствии катализатора КУ-2-23ФПП по следующей схеме:



Азеотроп ТМК из куба колонны КТ-21 и сборника Е-126 подается в дегидрататор Р-28, где на катализаторе Ку-2-23ФПП, расположенном в верхней части аппарата, производится дегидратация триметилкарбинола в изобутилен [7, с513-515].

Имеется возможность параллельной работы дегидрататоров Р-28/І и Р-28/ІІ. В этом случае расход азеотропа ТМК на дегидратацию поддерживается автоматически регуляторами расхода поз. 8201 и 8200, клапаны которых установлены на линии подачи ТМК от насоса Н-25. Параллельная работа дегидрататоров предусмотрена для увеличения выхода изобутилена.

Дегидрататор Р-28 – аппарат колонного типа – состоит из нижней ректификационной части и верхней – реакционной, в которую загружается катализатор. Нижняя ректификационная часть дегидрататора имеет 14 колпачковых тарелок, предназначенных для полного исчерпывания ТМК из фузельной воды.

Обогрев дегидрататора Р-28 осуществляется паром через испаритель Т-29.

Температура в кубе дегидрататора Р-28 поддерживается регулятором поз. 833, клапан которого установлен на линии подачи пара в межтрубное пространство испарителя Т-29.

Конденсат из испарителя Т-29 самотеком поступает в сборник Е-29а, откуда по коллектору сливается в емкость Е-106.

Уровень конденсата в сборнике Е-29а поддерживается регулятором поз. 8101, клапан которого установлен на линии выхода конденсата из сборника Е-29а в коллектор.

Пары изобутилена, ТМК и воды с верха дегидрататора Р-28 поступают в парциальный конденсатор Т-30, охлаждаемый обратной водой, в котором происходит конденсация паров ТМК и воды.

Парожидкостная смесь из конденсатора Т-30 поступает в сепаратор 0-31, где происходит отделение газообразного изобутилена от жидкости. Жидкая фаза триметилкарбинол – вода поступает в емкость Е-111, откуда насосом Н-112 подается в дегидрататор Р-28 на орошение слоя катализатора; постоянство подачи поддерживается регуляторами поз. 836/1, 836/2.

С целью увеличения производительности дегидрататоров имеется возможность подачи потока от Н-112 в линию питания дегидрататоров.

Уровень в кубе дегидрататора Р-28/1 регистрируется прибором поз. 834/1.

Уровень в кубе Р-28/II поддерживается автоматически регулятором поз. 834/II, клапан которого установлен на линии вывода фузельной воды из куба дегидрататоров насосом Н-37 в колонну КТ-15.

Пары изобутилена из сепаратора 0-31 поступают в куб колонны КТ-38 под тарелку № 1.

Колонна КТ-38 предназначена для отмывки изобутилена от ТМК водой, имеет 14 колпачковых тарелок.

На отмывку на верх колонны КТ-38 насосом Н-70а из емкости Е-69 подается фузельная вода, предварительно пройдя холодильник Т-70а, в трубное пространство которого подается обратная охлаждающая вода.

Циркуляция фузельной воды по колонне КТ-38 производится насосом Н-39 по схеме:

куб КТ-38 → насос Н-39 → теплообменник Т-38а → 12-ая тарелка КТ-38.

Уровень в колонне Кт-38 поддерживается регулятором поз. 842, клапан которого установлен на подаче фузельной воды насосом Н-39 на отпарку в колонну Кт-15.

Пары изобутилена после отмывки в колонне Кт-38 поступают на компримирование в компрессор М-148.

Скомпримированный изобутилен через газосепаратор 0-149 поступает в конденсатор Т-45, охлаждаемый оборотной водой. Сконденсированный изобутилен самотеком поступает в отстойник 0-46. Отстоявшаяся вода собирается в отстойной зоне отстойника 0-46. Уровень раздела фаз поддерживается регулятором поз. 844, клапан которого расположен на линии вывода водного слоя в Кт-38 [13].

Уровень изобутилена-сырца в отстойнике 0-46 поддерживается регулятором поз. 845, клапан которого установлен на линии подачи изобутилена в колонну Кт-48 на одну из тарелок 16, 24, 30.

Колонна Кт-48 предназначена для ректификации изобутилена от димеров и ТМК [1, с.165-167].

Обогрев колонны Кт-48 производится подачей фузельной воды в испаритель Т-49/Ш.

При завышении давления в колонне Кт-48 до 6,5 кгс/см² срабатывает блокировка и автоматически закрываются клапана на линии фузельной воды из кипятильника Т-49/Ш.

Пары изобутилена-ректификата с верха колонны поступают в конденсатор Т-50, охлаждаемый оборотной водой. Давление верха колонны поддерживается регулятором поз. 848, клапан которого установлен на линии обратной воды из конденсатора Т-50. Сконденсированный изобутилен сливается в отстойник Е-51, откуда насосом Н-52 подается в виде флегмы регулятором поз. 850 в колонну Кт-48, а избыток – в отстойник 0-57 для более полного расслоения и отстоя воды.

Водный слой из отстойника Е-51 поступает в колонну Кт-38. Уровень раздела фаз в отстойнике Е-51 поддерживается регулятором поз. 849, клапан

которого установлен на линии вывода водного слоя в колонну КТ-38. Уровень изобутилена в отстойнике Е-51 поддерживается регулятором поз. 851, клапан которого установлен на линии подачи изобутилена от насоса Н-52 в 0-57.

Кубовая жидкость из колонны КТ-48 отводится в цех БК-3. Температура в кубе колонны КТ-48 поддерживается регулятором поз. 846, клапан которого установлен на линии вывода фузельной воды из кипятильника Т-49/II. Расход кубовой жидкости из колонны КТ-48 поддерживается регулятором поз. 8167, клапан которого установлен на линии вывода кубовых [3, с.230-231].

Водный слой из отстойника 0-57 поступает в колонну КТ-38, а изобутилен-ректификат через боковой штуцер переливается в сборник Е-58. Уровень изобутилена-ректификата в сборнике Е-58 поддерживается регулятором поз. 858, клапан которого установлен на линии подачи изобутилена-ректификата насосом Н-59 в колонну азеотропной осушки КТ-53. Температура изобутилена-ректификата регистрируется прибором поз. 859.

Колонна КТ-53 предназначена для азеотропной осушки изобутилена, имеет 39 колпачковых тарелок. Обогрев колонны КТ-53 производится паром $P=6,0$ кгс/см², подаваемым в межтрубное пространство испарителя Т-54. Пары изобутилена с верха колонны КТ-53 поступают в конденсатор Т-55.

Изобутилен после конденсатор Т-55 сливается в отстойник 0-57 для отслаивания изобутилена от воды.

Давление в колонне КТ-53 поддерживается регулятором поз. 855, клапан которого установлен на линии подачи оборотной воды в конденсатор Т-55 [2, с.203-204].

При завышении давления в колонне КТ-53 до $6,5$ кгс/см² срабатывает блокировка и автоматически закрывается клапан на линии пара в кипятильник Т-54.

Осушенный изобутилен-ректификат из куба колонны КТ-53 насосом Н-60 через холодильник Т-61, в трубное пространство которого поступает обратная вода, подается в цех БК-5.

Температура изобутилена-ректификата после Т-61 регулируется подачей обратной воды в холодильник Т-61.

Расход и уровень в колонне КТ-53 поддерживается регулятором поз. 846, клапан которого установлен на линии подачи изобутилена насосом Н-60 на склад или в цех БК-5.

2.4 Технико-технологические расчеты

2.4.1 Материальный баланс узла

Исходные данные:

1. Расчет мощности узла получения изобутилена ректификата рассчитана для получения 53000 тонны в год бутилкаучука.
2. Нормы расхода изобутилен ректификата на 1 тонну бутилкаучука равна 1050 кг.
3. Состав водного раствора триметилкарбинола (исходное сырье узла получения изобутилен ректификата): триметилкарбинола(ТМК) – 87,7% (масс.), воды – 12,3% (масс.).
4. Содержание в кубе дегидрататоров Р-28/І,ІІ ТМК – 99% (масс.), воды – 1,0% (масс.).
5. Флегма дегидрататоров Р-28/ІІ содержит 70,0%(масс.) ТМК, 26,0%(масс.) воды и 4,0%(масс.) изобутилена.
6. Содержание ТМК в промывной воде колонны КТ-38 3,6%(масс.). количество подаваемой воды на отмывку 6000 кг/ч.
7. Изобутилен на входе в колонну КТ-48 содержит 1,0%(масс.) ТМК.
8. Кубовый продукт колонны КТ-48 содержит 30%(масс.) ТМК и 2,4%(масс.) димеров.
9. Содержание воды на входе в колонну КТ-53 0,05%(масс.).

10. Изобутилен ректификат содержит 0,001%(масс.) воды.

Расчет материальных потоков.

Расчет колонны азеотропной осушки КТ-53.

Производительная мощность задана 53000 т/г бутилкаучука. На 1 тонну бутилкаучука надо 1050 кг изобутилена.

В году 345 рабочих дней (с учетом 20 дней капитального ремонта установки). Это 8280 часов рабочего времени. Тогда часовая производительность бутилкаучука будет равна:

$$\frac{53000000}{8280} = 6401,0 \text{ кг/ч}$$

Если на 1000 кг бутилкаучука нужно 1050 кг изобутилена (iC_4H_8) тогда на 6401,0 кг/ч бутилкаучука изобутилена нужно:

$$\frac{6401,0 * 1050}{1000} = 6721,1 \text{ кг/ч}$$

6721,1 кг/ч изобутилена на выходе из куба колонны КТ-53 (поток 11). Из них iC_4H_8 99,999%(масс.) и 0,001%(масс.) H_2O .

Тогда:

$$m(iC_4H_8) = 6721,1 * 0,99999 = 6721,033 \text{ кг/ч}$$

$$m(H_2O) = 6721,1 - 6721,033 = 0,067 \text{ кг/ч}$$

Содержание воды в изобутилене на входе в колонну КТ-53(поток 10) равно 0,05%(масс.), а содержание iC_4H_8 99,95%(масс.).

$$m(iC_4H_8) = 6721,033 \text{ кг/ч}$$

Тогда общий поток будет равен:

$$\frac{6721,033 * 100}{99,95} = 6724,4 \text{ кг/ч}$$

$$m(H_2O) = 6724,4 - 6721,033 = 0,367 \text{ кг/ч}$$

Расчет ректификационной колонны КТ-48.

G_F – питание колонны (поток 8), кг/ч

G_P – дистиллят колонны (поток 10);, кг/ч

G_W – кубовый продукт колонны (поток 9); кг/ч

X_F – массовая доля ТМК содержащейся в питании;

X_W – массовая доля ТМК содержащейся в кубовом продукте.

Составим систему уравнений:

$$G_F = G_P + G_W$$

$$G_F * X_F = G_W * X_W$$

$$G_F = 6724,4 + G_W$$

$$G_F * 0,01 = G_W * 0,30$$

$$(6724,4 + G_W) * 0,01 = G_W * 0,30$$

$$67,224 + 0,01G_W = G_W * 0,30$$

$$G_W = 231,8 \text{ кг/ч}$$

231,8 кг/ч выходит из куба КТ-48 (поток 9), тогда

$$m(\text{ТМК}) = 231,8 * 0,30 = 69,54 \text{ кг/ч}$$

$$m(\text{димеров}) = 231,8 * 0,024 = 5,6 \text{ кг/ч}$$

$$m(iC_4H_8) = 231,8 - 69,54 - 5,6 = 156,7 \text{ кг/ч}$$

$$G_F = 6724,4 + 231,8 = 6956,2 \text{ кг/ч}$$

6956,2 кг/ч подается на питание колонны КТ-48 (поток 8). Найдем массу ТМК которая находится в питании:

$$m(\text{ТМК}) = 6956,2 * 0,01 = 69,562 \text{ кг/ч}$$

Димеров будет столько же сколько в кубе КТ-48 - 5,6 кг/ч.

Воды будет содержаться столько же сколько в дистилляте колонны КТ-48 – 0,367 кг/ч.

$$m(iC_4H_8) = 156,7 + 6721,033 = 6880,7 \text{ кг/ч}$$

Расчет колонны водной отмывки КТ-38.

На отмывку iC_4H_8 в колонну КТ-38 подается 6000 кг/ч H_2O (поток 7). Столько же воды уходит кубом КТ-38. Вместе с водой, подаваемой на отмывку, уходит и 3,6%(масс.) ТМК. Найдем массу ТМК в кубе колонны КТ-38:

$$m(\text{ТМК}) = \frac{6000 * 3,6}{96,4} = 224,07 \text{ кг/ч}$$

$$224,07 + 6000 = 6224,07 \text{ кг/ч (поток 6)}$$

Масса ТМК на входе в колонну КТ-38 (поток 5) будет равна:

$$m(\text{ТМК}) = 224,07 + 69,54 = 293,61 \text{ кг/ч}$$

Вода находится в равновесии. Воды, изобутилена и димеров будет столько же сколько в питании КТ-48 (поток 8).

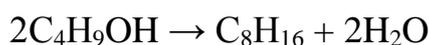
$$m(\text{H}_2\text{O}) = 0,367 \text{ кг/ч}$$

$$m(\text{димеров}) = 5,6 \text{ кг/ч}$$

$$m(i\text{C}_4\text{H}_8) = 6880,7 \text{ кг/ч}$$

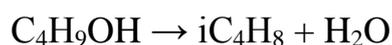
Расчет дегидрататоров Р-28/І,ІІ.

Поток на выходе из Р-28/І,ІІ (вход в КТ-38) содержит 5,6 кг/ч димеров изобутилена. Димеры изобутилена получаются при разложении ТМК. На образование данного количества димеров необходимо следующее количество ТМК:



$$m(\text{ТМК}) = \frac{5,6 * 2 * 74}{112} = 7,4 \text{ кг/ч}$$

Изобутилен содержащейся в потоке 5 получен по реакции разложения ТМК. Найдем количество ТМК которое пошло на получения изобктилена:



$$m(\text{ТМК}) = \frac{6880,7 * 74}{56} = 9092,4 \text{ кг/ч}$$

Найдем количество воды которая выделилась при образовании димеров:

$$m(\text{H}_2\text{O}) = 7,4 - 5,6 = 1,8 \text{ кг/ч}$$

Найдем количество воды которая выделилась при образовании изобутилена:

$$m(\text{H}_2\text{O}) = 9092,4 - 6880,7 = 2211,7 \text{ кг/ч}$$

Для расчета потока [17] на входе дегидрататоров Р-28/ІІ и кубового потока реакторов составим систему материального баланса:

G_F – питание дегидрататоров (поток 1), кг/ч

G_P – продукт выходящий сверху Р-28/ІІ, кг/ч

G_W – кубовый выход дегидрататоров (поток 2), кг/ч

X_F – массовая доля ТМК содержащейся в питании, кг/ч

X_W - массовая доля ТМК содержащейся в кубовом продукте, кг/ч

X_P - массовая доля ТМК содержащейся в G_P , кг/ч

$$G_F = G_P + G_W$$

$$G_F * X_F = G_W * X_W + G_P * X_P$$

В потоке G_P содержится ТМК, изобутилен и димеры которые получились из ТМК. Мы учитываем то количество ТМК которое пошло на получение iC_4H_8 и димеров.

Поэтому:

$$G_P * X_P = 7,4 + 9092,4 + 293,6 = 9393,4 \text{ кг/ч}$$

Перепишем систему уравнений:

$$G_F = G_P + G_W$$

$$G_F * X_F = G_W * X_W + 9393,4$$

$$(7180,267 + G_W) * 0,877 = G_W * 0,01 + 9393,4$$

$$6297,1 + 0,877G_W = 0,01G_W + 9393,4$$

$$G_W = 3571,3 \text{ кг/ч}$$

3571,3 кг/ч выходит из куба Р-28I/II (поток 2)

$$m(\text{ТМК}) = 3571,3 * 0,01 = 35,7 \text{ кг/ч}$$

$$m(H_2O) = 3571,3 * 0,99 = 3535,6 \text{ кг/ч}$$

$$G_F = 7180,267 + 3571,3 = 10751,6 \text{ кг/ч}$$

10751,6 кг/ч подается на питание Р-28I/II(поток 1)

$$m(\text{ТМК}) = 10751,6 * 0,877 = 9429,2 \text{ кг/ч}$$

$$m(H_2O) = 10751,6 * 0,123 = 1322,4 \text{ кг/ч}$$

Во флегме дегидрататоров Р-28I/II уменьшается возврат тяжелых продуктов. Поскольку они улавливаются в дегидрататорах над верхнем слое катализатора. И проскок тяжелых продуктов составляет 10-15% от питания дегидрататора. То есть флегма дегидрататоров Р-28I/II будет составлять 1200 кг/ч[8, с187-189].

Найдем массу изобутилена, ТМК и воды во флегме Р-28I/II:

$$m(\text{ТМК}) = 1200 * 0,70 = 840 \text{ кг/ч}$$

$$m(\text{H}_2\text{O}) = 1200 * 0,26 = 312 \text{ кг/ч}$$

$$m(\text{iC}_4\text{H}_8) = 1200 * 0,04 = 48 \text{ кг/ч}$$

Найдем массу 3 потока. Он равняется сумме потоков 4 и 5.

$$m(\text{ТМК}) = 840 + 293,6 = 1133,6 \text{ кг/ч}$$

$$m(\text{H}_2\text{O}) = 312 + 0,367 = 312,4 \text{ кг/ч}$$

$$m(\text{димеров}) = 5,56 \text{ кг/ч}$$

$$m(\text{iC}_4\text{H}_8) = 48 + 6880,73 = 6928,7 \text{ кг/ч}$$

Занесем все данные в таблицу 2.5 материальный баланс.

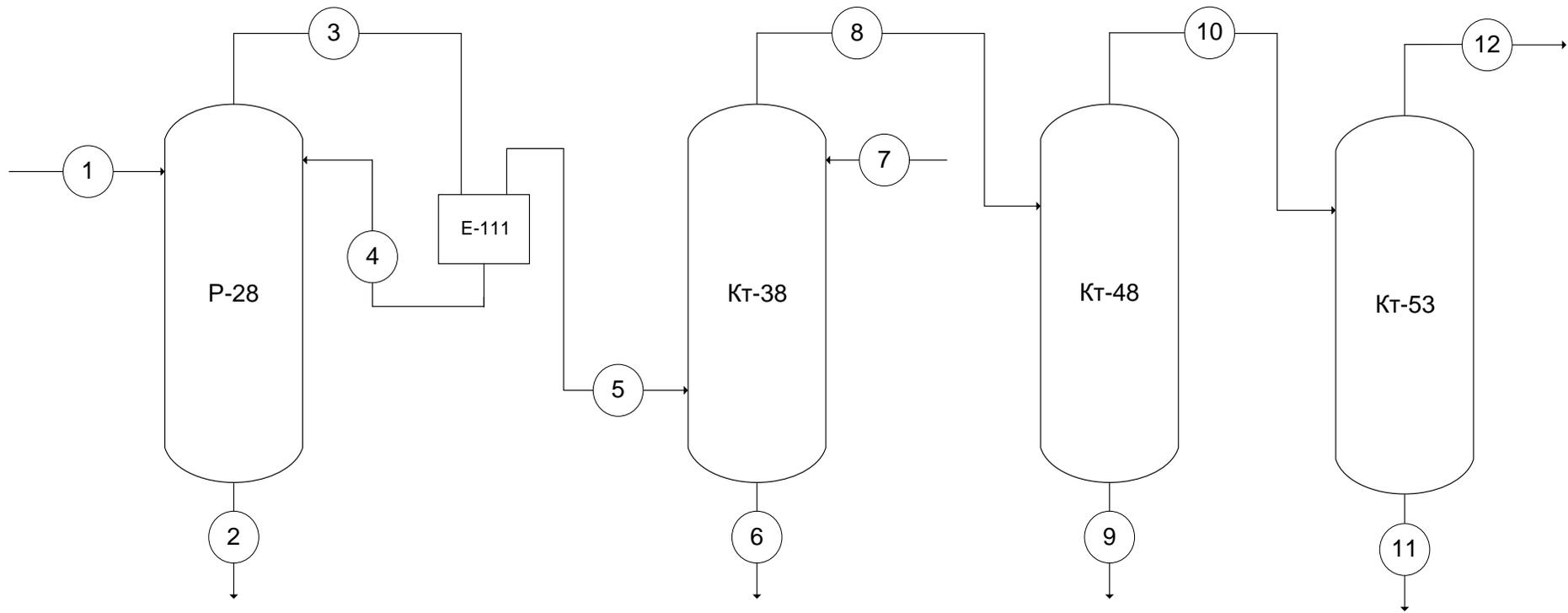
Таблица 2.5 - Материальный баланс узла

| Стадии | Ед. измерения | Наименование компонентов | | | | |
|--------|---------------|--------------------------|------------------|--------|--------------------------------|----------|
| | | ТМК | H ₂ O | Димеры | iC ₄ H ₈ | Σ |
| 1 | Кг/ч | 9429,2 | 1322,4 | - | - | 10751,6 |
| | % масс. | 87,7 | 12,3 | - | - | 100 |
| 2 | Кг/ч | 35,7 | 3535,6 | - | - | 3571,3 |
| | % масс. | 1 | 99 | - | - | 100 |
| 3 | Кг/ч | 1133,6 | 312,4 | 5,56 | 6928,7 | 8380,3 |
| | % масс. | 13,54 | 3,7 | 0,06 | 82,7 | 100 |
| 4 | Кг/ч | 840 | 312 | - | 48 | 1200 |
| | % масс. | 70,0 | 26,0 | - | 4,0 | 100 |
| 5 | Кг/ч | 293,6 | 0,367 | 5,56 | 6880,73 | 7180,267 |
| | % масс. | 4,1 | 0,005 | 0,07 | 95,825 | 100 |
| 6 | Кг/ч | 224,07 | 6000 | - | - | 6334,07 |
| | % масс. | 3,6 | 96,4 | - | - | 100 |
| 7 | Кг/ч | - | 6000 | - | - | 6000 |
| | % масс. | - | 100 | - | - | 100 |

Продолжение таблицы 2.5

| 1 | 2 | 3 | | | | |
|----|---------|-------|------------------|--------|--------------------------------|--------|
| | | ТМК | H ₂ O | Димеры | iC ₄ H ₈ | Σ |
| 8 | Кг/ч | 69,54 | 0,367 | 5,56 | 6880,73 | 6956,2 |
| | % масс. | 1 | 0,005 | 0,08 | 98,915 | 100 |
| 9 | Кг/ч | 69,54 | - | 5,56 | 156,7 | 231,8 |
| | % масс. | 30 | - | 2,4 | 67,6 | 100 |
| 10 | Кг/ч | - | 0,367 | - | 6724,033 | 6724,4 |
| | % масс. | - | 0,05 | - | 99,95 | 100 |
| 11 | Кг/ч | - | 0,067 | - | 6721,033 | 6721,1 |
| | % масс. | - | 0,001 | - | 99,999 | 100 |
| 12 | Кг/ч | - | 0,3 | - | - | 0,3 |
| | % масс. | - | 100 | - | - | 100 |

Рисунок 2.1- Схема материальных потоков



2.4.2 Энергетический баланс узла получения изобутилена

$$1Вт = 0,8598 \text{ ккал/час}$$

Тепловой баланс дегидрататора Р-28.

Назначение: дегидратация триметилкарбинола с получением изобутилена.

Количество поступающего азеотропа триметилкарбинола – 10751,6 кг/час, в том числе триметилкарбинола – 9429,2 кг/час [5, с.115].

Режим работы:

Температура верха – 80 С⁰.

Температура куба – 110 С⁰.

Давление верха – 1,4 атм.

Давление куба – 1,6 атм.

I. Приход тепла (С рециклом равным по отношению к питанию 1,0):

1. С питанием.

$$9429,2 * 0,73 * 50 + 1322,4 * 1 * 50 = 410300 \text{ ккал/час}$$

2. С рециклом.

$$7526,12 * 0,73 * 40 + 2795,4 * 1 * 40 + 430,08 * 0,5 * 40 = 340180 \text{ ккал/час}$$

Общий приход тепла:

$$410300 + 340180 = 750480 \text{ ккал/час}$$

Расход тепла:

1. С продуктами выходящими сверху дегидрататора:

$$6880,73 * (65 + 80 * 0,4) + 293,6 * (127 + 80 * 0,73) + 0,367 * (551 + 80 * 1) + 5,56 * (65 + 80 * 0,6) + 7526,12 * (127 + 80 * 0,73) + 2795,4 * (551 + 80 * 1) + 430,08 * (65 + 80 * 0,5) = 3927200 \text{ ккал/час}$$

2. С кубовым продуктом:

$$3535,6 * 1 * 110 + 35,7 * 0,73 * 110 = 392000 \text{ ккал/час}$$

3. На разложение триметилкарбинола:

$$127,4 * 12000 = 1528800 \text{ ккал/час}$$

где: 127,7 – количество молей триметилкарбинола,

12000 ккал/моль – тепловой эффект реакции дегидратации.

Общий расход тепла:

$$3927200 + 392000 + 1528800 = 5848000 \text{ ккал/час}$$

Необходимо подвести тепла с учетом теплопотерь:

$$1,05 * (5848000 - 750480) = 5352400 \text{ ккал/час}$$

II. Приход тепла (Количество рецикла, возвращаемого на верх дегидрататора 1200 кг/ч).

1. С питанием.

$$9429,2 * 0,73 * 50 + 1322,4 * 1 * 50 = 410300 \text{ ккал/час}$$

2. С рециклом.

$$840 * 0,73 * 40 + 312 * 1 * 40 + 48 * 0,5 * 40 = 38000 \text{ ккал/час}$$

где 0,5 – теплоемкость жидкого изобутилена.

Общий приход тепла:

$$410300 + 38000 = 448300 \text{ ккал/час.}$$

Расход тепла:

1. С продуктами выходящими сверху дегидрататора:

$$6880,73 * (65 + 80 * 0,4) + 293,6 * (127 + 80 * 0,73) + 0,367 * (551 + 80 * 1) + 5,56 * (65 + 80 * 0,6) + 840 * (127 + 80 * 0,73) + 312 * (551 + 80 * 1) + 48 * (65 + 80 * 0,5) = 1080400 \text{ ккал/час}$$

2. С кубовым продуктом:

$$3535,6 * 1 * 110 + 35,7 * 0,73 * 110 = 392000 \text{ ккал/час}$$

3. На разложение триметилкарбинола:

$$127,4 * 12000 = 1528800 \text{ ккал/час}$$

где: 127,7 – количество молей триметилкарбинола,

12000 ккал/моль – тепловой эффект реакции дегидратации.

Общий расход тепла:

$$1080400 + 392000 + 1528800 = 3001200 \text{ ккал/час}$$

Необходимо подвести тепла с учетом теплопотерь:

$$1,05 * (3001200 - 448300) = 2681000 \text{ ккал/час}$$

Конденсатор Т-30.

Назначение: конденсация триметилкарбинола и воды, выходящих сверху дегидрататора.

I. С рециклом равным по отношению к питанию 1,0.

Тепловая нагрузка:

$$7526,12 * 127 + 2795,4 * 551 + 430,08 * 65 + 9429,2 * 0,73 * 40 + 1322,4 * 1 * 40 + 6880,73 * 0,4 * 40 + 293,6 * 0,73 * 40 + 0,367 * 1 * 40 + 5,56 * 0,6 * 40 = 2971100 \text{ ккал/час}$$

Средняя разность температур:

$$80 - 40$$

$$\frac{35 - 25}{2}$$

$$45 - 15$$

$$t_{cp} = \frac{45 - 15}{2,3 * \lg 45/15} = 28 \text{ C}^0$$

Расход воды:

$$\frac{2971100}{1000 * 10} = 297 \text{ м}^3/\text{час}$$

Необходимая поверхность теплообмена:

$$\frac{2971100 * 1,1}{28 * 100} = 1167 \text{ м}^2$$

где: 100 ккал/м² час C⁰ – коэффициент теплопередачи с учетом неполной конденсации.

II. С рециклом равным 1200 кг/ч

Тепловая нагрузка:

$$840 * 127 + 312 * 551 + 48 * 65 + 9429,2 * 0,73 * 40 + 1322,4 * 1 * 40 + 6880,73 * 0,4 * 40 + 293,6 * 0,73 * 40 + 0,367 * 1 * 40 + 5,56 * 0,6 * 40 = 728754 \text{ ккал/час}$$

Средняя разность температур:

$$80 - 40$$

$$\frac{35 - 25}{45 - 15}$$

$$45 - 15$$

$$t_{cp} = \frac{45-15}{2,3 \cdot \lg 45/15} = 28 \text{ C}^0$$

Расход воды:

$$\frac{728754}{1000 \cdot 10} = 73 \text{ м}^3/\text{час}$$

Необходимая поверхность теплообмена:

$$\frac{728754 \cdot 1,1}{28 \cdot 100} = 286 \text{ м}^2$$

где: 100 ккал/м² час C⁰ – коэффициент теплопередачи с учетом неполной конденсации.

Колонна КТ-48.

Назначение: ректификация изобутилена от полимеров триметилкарбинола.

Количество поступающего на ректификацию изобутилена – 6956,2 кг/ч.

Количество изобутилен-ректификата – 6724,4 кг/ч.

Режим работа колонны:

Температура верха – 42 C⁰.

Температура куба - 45 C⁰.

Давление верха – 4,8 атм.

Давление куба – 5,2 атм.

Флегмовое число – 4.

Тепловой баланс колонны:

Приход тепла

1. С поступающим сырьем.

$$6880,73 \cdot 0,5 \cdot 40 + 69,54 \cdot 0,73 \cdot 40 + 5,56 \cdot 0,6 \cdot 40 = 140000 \text{ ккал/час.}$$

2. С флегмой.

$$4 \cdot 6724,4 \cdot 0,5 \cdot 42 = 565000 \text{ ккал/час.}$$

где 0,5 ккал/час С⁰ – теплоемкость жидкого изобутилена.

Общий приход тепла:

$$140000 + 565000 = 705000 \text{ ккал/час.}$$

Расход тепла [19]

1. С отходящими парами:

$$5 * (6880,73 * 65 + 6880,73 * 0,5 * 42) = 2959000 \text{ ккал/час.}$$

2. С кубовым остатком [20]:

$$69,54 * 0,73 * 45 + 5,56 * 0,6 * 45 + 156,7 * 0,5 * 45 = 5960 \text{ ккал/час.}$$

Общий расход тепла:

$$2959000 + 5960 = 2964960 \text{ ккал/час.}$$

Необходимо повести тепла с учетом теплопотерь:

$$(2964960 - 705000) * 1,05 = 2373000 \text{ ккал/час.}$$

2.4.3 Выбор и технологический подбор оборудования

Сборник Е-126 – 1 шт. Вертикальная цилиндрическая емкость с подогревателем, [9, с.234-235] предназначена для приема азеотропа ТМК, поступающего из куба колонны Кт-21, перед подачей его на дегидратацию.

| | |
|----------------------------|-----------------------|
| Объем | 16 м ³ |
| Диаметр | 2000 мм |
| Длина цилиндрической части | 4200 мм |
| Поверхность подогревателя | 5 м ² |
| Расчетное давление: | |
| в аппарате | 6 кгс/см ² |
| в подогревателе | 6 кгс/см ² |
| Расчетная температура: | |
| в аппарате | 200°С |
| в подогревателе | 200°С |
| Материал | 16ГС+12Х18Н10Т |

Дегидрататор Р-28 – 2 шт. Вертикальный, цилиндрический аппарат переменного сечения, состоящий из верхней реакционной части [10], загруженной катализатором КУ-2-23ФПП и нижней отгонной части колонного типа. Предназначен для дегидратации триметилкарбинола с получением изобутилена-сырца.

| | |
|------------------------------------|--------------|
| Диаметр | 3400/2600 мм |
| Высота общая | 24200 мм |
| Высота цилиндрической части | 5800/9685 мм |
| Количество колпачковых односливных | 14 шт. |

тарелок типа ТСК-5

| | |
|----------------------------|-----------------------|
| Расстояние между тарелками | 450 мм |
| Расчетное давление | 6 кгс/см ² |
| Расчетная температура | +200°С |
| Материал: | |
| корпуса | 12Х18Н10Т |
| тарелок | 08Х22Н6Т |

Испаритель Т-29/1 – 1 шт. Кожухотрубный вертикальный теплообменник [14, с. 210]. Предназначен для обогрева дегидрататора Р-28/1 за счет тепла подаваемого пара.

| | |
|---------------------------|-------------------------|
| Диаметр | 1000 мм |
| длина трубок | 4000 мм |
| Количество трубок | 805 шт. |
| Диаметр трубок | 25х2 мм |
| Поверхность теплообмена | 250 м ² |
| Расчетное давление: | |
| в трубном пространстве | 5,5 кгс/см ² |
| в межтрубном пространстве | 7,5 кгс/см ² |
| Расчетная температура: | |
| в трубном пространстве | от –15 +200°С |
| в межтрубном пространстве | от –15 до +200°С |

Материал:

корпуса 16ГС+12Х18Н10Т

трубок 08Х22Н6Т

Испаритель Т-29/II – 1 шт. Кожухотрубный вертикальный теплообменник. Предназначен для обогрева дегидрататора Р-28/2 за счет тепла подаваемого пара.

Диаметр 1000 мм

Длина трубок 3000 мм

Диаметр трубок 25х2 мм

Количество трубок 800 шт.

Поверхность теплообмена 186 м²

Расчетное давление:

в трубном пространстве 10 кгс/см²

в межтрубном пространстве 10 кгс/см²

Расчетная температура:

в трубном пространстве 100°С

в межтрубном пространстве 200°С

Материал:

корпуса ВСт3сп5

трубок 12Х18Н10Т

Сборник Е-29а – 1 шт. Вертикальный, цилиндрический аппарат. Предназначен для приема конденсата из испарителей Т-29/1, Т-29/II.

Объем 1 м³

Диаметр 800 мм

Высота цилиндрической части 1600 мм

Расчетное давление 16 кгс/см²

Материал ВСт3сп5

Конденсатор Т-30 – 2 шт. Кожухотрубный шестиходовой горизонтальный теплообменник. Предназначен для конденсации паров ТМК и воды, выходящих с верха дегидрататора Р-28.

| | |
|---------------------------|-----------------------|
| Диаметр | 1400 мм |
| Длина трубок | 6000 мм |
| Количество трубок | 2182 шт. |
| Диаметр трубок | 20x2 мм |
| Поверхность теплообмена | 659 м ² |
| Расчетное давление: | |
| в трубном пространстве | 6 кгс/см ² |
| в межтрубном пространстве | 6 кгс/см ² |
| Расчетная температура: | |
| в трубном пространстве | +100°С |
| в межтрубном пространстве | +100°С |
| Материал: | |
| корпуса | 12X18Н10Т |
| трубок | 08X22Н6Т |

Сепаратор 0-31 – 1 шт. Вертикальный цилиндрический аппарат.

Предназначен для отделения газообразного изобутилена от жидкости, поступающих из конденсатора Т-30.

| | |
|-----------------------------|-----------------------|
| Объем | 4 м ³ |
| Диаметр | 1400 мм |
| Высота цилиндрической части | 2200 мм |
| Расчетное давление | 6 кгс/см ² |
| Расчетная температура | от –20 до +200°С |
| Материал | ВстЗсп5 |

Емкость Е-111 – 1 шт. Горизонтальная, цилиндрическая емкость с подогревателем, предназначена для приема азеотропа триметилкарбинола, поступающего из сепаратора 0-31.

| | |
|----------------------------|-------------------|
| Объем | 16 м ³ |
| Диаметр | 2000 мм |
| Длина цилиндрической части | 4200 мм |
| Поверхность подогревателя | 3 м ² |

Расчетное давление:

в аппарате 6 кгс/см²

в подогревателе 6 кгс/см²

Расчетная температура:

в аппарате +50°С

в подогревателе +80°С

Материал Вст3сп5

Колонна КТ-38 – 1 шт. Тарельчатая колонна. Предназначена для отмывки изобутилена от ТМК.

Диаметр 1600 мм

Высота общая 16800 мм

Расчетное давление 6 кгс/см²

Расчетная температура +200°С

Высота цилиндрической части 10135 мм

Количество колпачковых тарелок 14 шт.

ТСК-Р

Расстояние между тарелками 400 мм

Материал:

корпуса Вст3сп2+12Х18Н10Т

тарелок 08Х22Н6Т

Теплообменник Т-38а – 1 шт. Кожухотрубный, горизонтальный, 2-х элементный аппарат. Предназначен для охлаждения промывных вод, циркулирующей в колонне КТ-38 (слабого водного раствора ТМК).

Компановка из 2-х элементов

Общей поверхностью 30 м²

Характеристика элемента:

Диаметр 400 мм

Диаметр трубок 25х2 мм

| | |
|---------------------------|-------------------------|
| Длина трубок | 2000 мм |
| Количество трубок общее | 196 шт. |
| Расчетное давление: | |
| в трубном пространстве | 3,5 кгс/см ² |
| в межтрубном пространстве | 6 кгс/см ² |
| Расчетная температура: | |
| в трубном пространстве | +100°С |
| в межтрубном пространстве | +200°С |

| | |
|-----------|-------------|
| Материал: | |
| корпуса | 10X17H13M2T |
| трубок | 12X18 |

Теплообменник Т-70а – 1 шт. Кожухотрубный, горизонтальный аппарат. Предназначен для охлаждения циркулирующего конденсата, подаваемого насосом Н-70а из емкости Е-69 в колонны КТ-38 и КН-6.

3-х элементный. Характеристика элемента

| | |
|---------------------------|------------------------|
| Диаметр | 300 мм |
| Длина трубок | 4000 мм |
| Количество трубок общее | 156 шт. |
| Диаметр трубок | 25x2,0 мм |
| Поверхность теплообмена | 48 м ² |
| Расчетное давление: | |
| в трубном пространстве | 16 кгс/см ² |
| в межтрубном пространстве | 16 кгс/см ² |
| Расчетная температура: | |
| в трубном пространстве | от –20°С до +100°С |
| в межтрубном пространстве | от –20°С до +100°С |
| Материал: | |
| трубок | 12X18H10T |

корпуса 12X18Н10Т

Центробежный насос Н-25 - 2шт. Предназначен для подачи азеотропа ТМК из сборника Е-126 в дегидраторы Р-28/І,ІІ.

| | |
|--------------------|------------------------|
| Марка насоса | Х20/53 – К-2В |
| Производительность | 20 м ³ /час |
| Напор | 53 м вод.ст. |
| Электродвигатель | ВАО-52-2У2 |
| Мощность | 13 кВт |
| Число оборотов | 2920 в минуту |
| Напряжение | 380 в |
| Исполнение | ВЗГ |
| Материал | 10X18Н9ТЛ |

Центробежный насос Н-112-2шт в т.ч.- один резервный), предназначен для подачи азеотропа ТМК из емкости Е-111 в Р-28/І,ІІ.

| | |
|-----------------------|---|
| Марка насоса | Х20/53-К-2В (для Н-112/І) Х20/53-Е-2В (для Н-112/ІІ) |
| Производительность | 20 м ³ /час |
| Напор | 53 м. вод ст. |
| Электродвигатель типа | ВАО-52-2У2 |
| Мощность | 13 кВт |
| Число оборотов | 2920 об/мин |
| Напряжение | 380В |
| Исполнение | ВЗГ |
| Материал | 10X18Н9ТЛ (для Н-112/І) |

10X18H2MTЛ

(для Н-112/II)

Центробежный насос Н-37 –2 шт. (в т.ч. один резервный), предназначен для подачи фузельной воды из куба дегидрататора Р-28 на отпарку в колонну Кт-15.

| | |
|-----------------------|-----------------------|
| Марка насоса | Х8/60-К-2В |
| Производительность | 8 м ³ /час |
| Напор | 60 м. вод ст. |
| Электродвигатель типа | ВАО-52-2У2 |
| Мощность | 13 кВт |
| Число оборотов | 2920 об/мин |
| Напряжение | 380В |
| Исполнение | ВЗГ |
| Материалы | 10X18H9ТЛ |

Центробежный насос Н-39-2шт (в т.ч. один резервный), предназначен для циркуляции промывной воды по колонне Кт-38 и вывода части циркуляционной воды на отпарку в колонну Кт-15.

| | |
|-----------------------|-----------------------|
| Марка насоса | Х45/54-К-2В |
| Производительность | 45м ³ /час |
| Напор | 54 м. вод ст. |
| Электродвигатель типа | ВАО-72-2У2 |
| Мощность | 30 кВт |
| Число оборотов | 2940 об/мин |
| Напряжение | 380В |
| Исполнение | ВЗГ |
| Материалы | 10X18H9ТЛ |

Центробежный насос Н-70а – 2шт (в т.ч. один резервный), предназначен для подачи циркулирующего парового конденсата из емкости Е-69 в колонну Кн-6 для отмывки димеров изобутилена от ТМК и в Кт-38 для подпитки свежим конденсатом.

| | |
|-----------------------|-----------------------|
| Марка насоса | X8/60-K-2B |
| Производительность | 8 м ³ /час |
| Напор | 60 м. вод ст. |
| Электродвигатель типа | ВАО-52-2У2 |
| Мощность | 13 кВт |
| Число оборотов | 2920 об/мин |
| Напряжение | 380В |
| Исполнение | ВЗГ |
| Материалы | 10X18Н9ТЛ |

Конденсатор Т-45 – 1 шт. Кожухотрубный горизонтальный теплообменник с плавающей головкой. Предназначен для конденсации изобутилена-сырца после компрессора М-148.

| | |
|---------------------------|------------------------|
| Диаметр | 800 мм |
| Диаметр трубок | 25x2 мм |
| Длина трубок | 6000 мм |
| Количество трубок | 378 шт. |
| Поверхность теплообмена | 178 м ² |
| Расчетное давление: | |
| в трубном пространстве | 16 кгс/см ² |
| в межтрубном пространстве | 16 кгс/см ² |
| Расчетная температура: | |
| в трубном пространстве | от –20 до +80°С |
| в межтрубном пространстве | от –20 до +80°С |
| Материал: | |
| корпуса | Вст3сп5 –08X13 |
| трубок | 08X13 |

Отстойник 0-46 – 1 шт. Горизонтальная цилиндрическая емкость с подогревателем. Предназначена для приема изобутилена, сконденсировавшегося в конденсаторе Т-45 и отделения от него воды.

| | |
|-------|-------------------|
| Объем | 10 м ³ |
|-------|-------------------|

| | |
|--|------------------------|
| Диаметр | 1600 мм |
| Длина цилиндрической части | 4500 мм |
| Поверхность змеевика | 5 м ² |
| Расчетное давление: | |
| в аппарате | 10 кгс/см ² |
| в змеевике | 6 кгс/см ² |
| Расчетная температура: | |
| в аппарате | 200°С |
| в змеевике | 158°С |
| Материал | Вст3сп5 |
| Колонна КТ-48 – 1 шт. Ректификационная колонна [11]. | |

Предназначена для ректификации изобутилена от его димеров и ТМК.

| | |
|-----------------------------|----------|
| Диаметр | 1800 мм |
| Общая высота | 38365 мм |
| Высота цилиндрической части | 31700 мм |
| Количество тарелок | 57 шт. |
| Расстояние между тарелками | 450 мм |

Тарелки клапанные, двухпоточные

| | |
|-----------------------|-----------------------|
| Расчетное давление | 8 кгс/см ² |
| Расчетная температура | 100°С |

Испаритель Т-49 – 1 шт. Кожухотрубный, вертикальный теплообменник. Предназначен для подвода тепла в колонну КТ-48.

| | |
|---------------------------|------------------------|
| Диаметр | 600 мм |
| Длина трубок | 4000 мм |
| Диаметр трубок | 25x2 мм |
| Количество трубок | 261 шт. |
| Поверхность теплообмена | 81 м ² |
| Расчетное давление: | |
| в трубном пространстве | 16 кгс/см ² |
| в межтрубном пространстве | 16 кгс/см ² |

| | |
|---------------------------|---------------------|
| Расчетная температура: | |
| в трубном пространстве | от –20 до +200°С |
| в межтрубном пространстве | от –20 до +200°С |
| Материал: корпуса | 12Х18Н10Т |
| трубок | 12Х18Н10Т |

Конденсатор Т-50 – 1 шт. Кожухотрубный четырехходовой горизонтальный теплообменник [23, с. 226-228]. Предназначен для конденсации паров изобутилена, выходящих с верха колонны КТ-48.

| | |
|---------------------------|------------------------|
| Диаметр | 1400 мм |
| Длина трубок | 6000 мм |
| Количество трубок | 1434 шт. |
| Диаметр трубок | 25х2 мм |
| Поверхность теплообмена | 672 м ² |
| Расчетное давление: | |
| в трубном пространстве | 6 кгс/см ² |
| в межтрубном пространстве | 10 кгс/см ² |
| Расчетная температура: | |
| в трубном пространстве | 100°С |
| в межтрубном пространстве | 100°С |
| Материал: корпуса | 10Г2С1 |
| трубок | СтВ20 |

Отстойник Е-51 – 1 шт. Горизонтальная цилиндрическая емкость с подогревателем. Предназначена для приема жидкого изобутилена, сконденсировавшегося в конденсаторе Т-50 и отделения от него воды.

| | |
|---------|-------------------|
| Объем | 10 м ³ |
| Диаметр | 1600 мм |

| | |
|----------------------------|------------------------|
| Длина цилиндрической части | 4500 мм |
| Поверхность змеевиков | 3/1,5 м ² |
| Расчетное давление: | |
| в аппарате | 10 кгс/см ² |
| в змеевике | 6 кгс/см ² |
| Расчетная температура: | |
| в аппарате | 200°С |
| в змеевике | 158°С |
| Материал: корпуса | ВстЗсп5 |

Отстойник О-57 – 1 шт. Горизонтальная цилиндрическая емкость с подогревателем. Предназначена для отделения воды от изобутилена, поступающего от насоса Н-52 и из конденсатора Т-55.

| | |
|----------------------------|------------------------|
| Объем | 25 м ³ |
| Диаметр | 2000 мм |
| Длина цилиндрической части | 7200 мм |
| Поверхность змеевика | 9/0,95 м ² |
| Расчетное давление: | |
| в аппарате | 10 кгс/см ² |
| в змеевике | 6 кгс/см ² |
| Расчетная температура: | |
| в аппарате | 200°С |
| в змеевике | 158°С |
| Материал | ВстЗсп5 |

Емкость Е-58 – 1 шт. Вертикальная цилиндрическая емкость. Предназначена для приема изобутилена, выходящего из отстойника О-57.

| | |
|-----------------------------|------------------------|
| Объем | 4 м ³ |
| Диаметр | 1200 мм |
| Высота цилиндрической части | 3000 мм |
| Расчетное давление | 10 кгс/см ² |

Расчетная температура от –20 до +200°С

Материал Вст3сп5

Колонна КТ-53 – 1 шт. Ректификационная тарельчатая колонна.

Предназначена для азеотропной осушки изобутилена, поступающего из емкости Е-58 [16, с. 657].

Диаметр 1200 мм

Общая высота 29430 мм

Высота цилиндрической части 22700 мм

Количество колпачковых тарелок типа ТСК-Р 39 шт.

Расстояние между тарелками 450 мм

Расчетное давление 10 кгс/см²

Расчетная температура +200°С

Материал: корпуса 09Г2С-12

колпачков Вст3сп2

Испаритель Т-54 – 1 шт. Кожухотрубный вертикальный теплообменник. Предназначен для подвода тепла в колонну КТ-53.

Диаметр 600 мм

Длина трубок 2000 мм

Количество трубок 261 шт.

Поверхность теплообмена 40 м²

Расчетное давление:

в трубном пространстве 16 кгс/см²

в межтрубном пространстве 16 кгс/см²

Расчетная температура:

в трубном пространстве от –20

до +200°С

в межтрубном пространстве от –20

до +200°С

Материал: корпуса Вст3сп5

Конденсатор Т-55 – 1 шт. Кожухотрубный горизонтальный теплообменник с плавающей головкой. Предназначен для конденсации паров изобутилена и воды, выходящих с верха колонны КТ-53.

| | |
|---------------------------|------------------------|
| Диаметр | 800 мм |
| Длина трубок | 6000 мм |
| Количество трубок | 349 шт. |
| Диаметр трубок | 25x2 мм |
| Поверхность теплообмена | 164 м ² |
| Расчетное давление: | |
| в трубном пространстве | 10 кгс/см ² |
| в межтрубном пространстве | 10 кгс/см ² |
| Расчетная температура: | |
| в трубном пространстве | +100°С |
| в межтрубном пространстве | +100°С |
| Материал: корпуса | 16ГС |
| трубок | 12Х18Н10Т |

Холодильник Т-61 – 1 шт. Кожухотрубный двухэлементный теплообменник. Предназначен для охлаждения изобутилена-ректификата, откачиваемого насосом Н-60 из куба колонны КТ-53.

| | |
|---------------------------|------------------------|
| Диаметр | 325 мм |
| Длина трубок | 4000 мм |
| Количество трубок | 104 шт. |
| Диаметр трубок | 25x2 мм |
| Поверхность теплообмена | 32 м ³ |
| Расчетное давление: | |
| в трубном пространстве | 6 кгс/см ² |
| в межтрубном пространстве | 16 кгс/см ² |
| Расчетная температура: | |
| в трубном пространстве | 100°С |

| | |
|---------------------------|-------|
| в межтрубном пространстве | 100°C |
| Материал: корпуса | СтВ20 |
| трубок | СтВ20 |

2.4.4 Технологический расчет дегидрататоров Р-28/І,ІІ

Дегидрататоры Р-28/І,ІІ реакционно-ректификационного типа обеспечивают производительность 40000 тонн изобутилена-ректификата в год.

Для повышения выработки изобутилена-ректификата необходимо увеличить объем загружаемого катализатора [12] и повысить эффективность его работы. В данной работе предложено над основным и единственным слоем катализатора установить 2-3 ситчатые тарелки, на которые загрузить слой катализатора высотой 150-200 мм. Тем самым увеличивается объем загружаемого катализатора, повышается эффективность его работы поскольку он полностью находится в жидкой фазе и работает его поверхность полностью. Пары изобутилена, ТМК и воды вынуждены проходить через жидкую фазу и проскок тяжелых компонентов (ТМК и воды) существенно сокращается.

Слой катализатора на ситчатой тарелки можно рассматривать как непрерывный реактор идеального смешения. При установившемся режиме температура и состав жидкой фазы во времени изменятся не будет.

Для непрерывного реактора идеального смешения [22] уравнение идеального баланса можно записывать в следующем виде:

$$\Delta F_{\text{из}} = r_{\text{из}} * V_p,$$

где $\Delta F_{\text{из}}$ – количество изобутилена в моль, которое необходимо получить дополнительно; $r_{\text{из}}$ – скорость реакции дегидратации ТМК, моль/л· мин; V_p – объем реактора (дополнительный объем катализатора, л)

Кинетика реакции дегидратации изучена и уравнение скорости получения изобутилена записывается в следующем виде:

$$r_{\tau} = dC_{\text{из}} / d\tau = -(dC_{\text{ТМК}}) / d\tau = k * C_{\text{ката}} * C_{\text{ТМК}}$$

где $C_{\text{из}}$, $C_{\text{ТМК}}$, $C_{\text{ката}}$ – концентрации изобутилена, ТМК, катализатора соответственно, моль/л; τ – время, мин; k – константа скорости, мин.

$$k = k_0 * e^{-E/RT}$$

$$k_0 = 1,23 * 10^{14} \text{ л} \cdot \text{моль}^{-1} \cdot \text{мин}^{-1}; E = 109,49 \text{ кДж/моль.}$$

В слое катализатора на ситчатых тарелках примем температуру равной 80°C – это поддерживается работой дегидрататоров Р-28/І,ІІ в настоящее время.

Концентрацию реакционной массы прими следующей:

74,0% масс. ТМК

26,0% масс. воды

Это наибольшее количество воды и самый неблагоприятный вариант по эффективности катализатора. Этот состав зафиксирован при подаче рецикла в дегидрататор (тяжелые компоненты выводимые верхом в паровой фазе).

Необходимо дополнительно получить 16000 тонн изобутилена-ректификата в год.

8280 часов рабочего времени в году

$$\Delta F_{\text{из}} = (\Delta C_{\text{из}} * 1000 * 1000) / (M.M._{\text{из}} * 8280) = (1600 * 1000 * 1000) / (56 * 8280) = 34506,5 \text{ моль/час}$$

При 80°C из условия проведения реакции, изложенных выше:

$$r_{\text{из}} = 0,092326 \text{ моль/мин} \cdot \text{л} \text{ как } 5,540 \text{ моль/час} \cdot \text{л}$$

$$V_p = (34506,5 \text{ моль/час}) / (5,540 \text{ моль/л} \cdot \text{час}) = 6229,1 \text{ л} \approx 6,2 \text{ м}^3$$

Таким образом, необходимо дополнительно загрузить 6,2 м³ катализатора.

Поскольку диаметр дегидрататора в зоне загрузки катализатора составляет 3400 мм, то необходимо загрузить на шести тарелках (2 дегидрататора) слой катализатора высотой 100-140 мм

2.5 Производственный контроль

2.5.1 Система контроля и управление производством

Таблица 2.6 – Показатели технологического режима

| Наименование стадий процесса, аппарата, показатели режима | Номер позиции прибора по схеме | Единица измерения | Допустимые пределы технологических параметров | Требуемый класс точности приборов | Способы и средства, исключающие выход параметров за установленные пределы |
|---|--------------------------------|---|---|-----------------------------------|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 1 Дегидратация триметилкарбинола (ТМК) в изобутилен Дегидрататор Р-28 -давление верха дегидрататора - температура куба Р-28 | 6071 833 | кгс/см ² °С | 0,1-0,6 90 – 114 | 1,5 2,5 | Регистрация Сигнализация Регулирование Сигнализация |

Продолжение таблицы 2.6

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|---|------|--------------|---------------|-----|---------------------|
| - температура в слое катализатора | 715 | °С | 80-95 | 1,5 | Регистрация |
| -объемная скорость подачи раствора ТМК в дегидрататор | 8201 | м³/м³ | 0,1-0,35 | | Расчёт |
| -массовая доля ТМК в кубе дегидрататора Р-28 | 8202 | катализатора | | | |
| | | % масс | не более 1,0 | | Лабораторный анализ |
| 2 Отмывка изобутилена от триметилкарбинола Колонна КТ-38: | | | | | |
| - температура куба | 715 | °С | не более 45 | 1,5 | Регистрация |
| - уровень в кубе | 842 | % масс | 20-80 | | Регулирование |
| -объемное соотношение изобутилен: вода | 518 | - | не менее 1: 4 | | Расчет |
| -массовая доля ТМК в циркулирующей воде | 588 | | | | |
| | - | % масс | не более 5,0 | | Лабораторный анализ |

Продолжение таблицы 2.6

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|---|------|-------------------|----------------|-----|------------------------|
| 3 Емкость Е-111 - уровень | 836 | % | 20 – 80 | 1,5 | Регулирование |
| 4 Колонна КТ-21 - температура куба | 828 | °С | 80 – 95 | 2,5 | Регулирование |
| - уровень куба | 8117 | % | 20-80 | - | Регулирование |
| - расход флегмы | 8111 | % от | 10-20 | 3,0 | Регулирование |
| - массовая доля растворённых углеводородов С4 в азеотроме ТМК | - | % масс питания | Не более 0,025 | - | Лабораторный анализ |
| 5 Конденсатор Т-23 - температура паров углеводородов на выходе из Т-23 | 829 | °С | 60 – 75 | 2,5 | Регулирование |
| 6 Сборник Е-126 - уровень азеотропа ТМК | 558 | % | 30 – 80 | 1,5 | Регистрация |

Продолжение таблицы 2.6

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|---|------------------------------|---|---|---|--|
| Отстойник О-34 - уровень продукта | 8111 | % | 20 – 50 | 1,5 | Регулирование |
| Ректификация и азеотропная осушка изобутилена 8 Колонна КТ-48: - давление верха - флегмовое число - температура куба - массовая доля димеров в дистиллате КТ-48 | 848 - 715 - | кгс/см ² - °С % от масс | 3,5-5,0 - не более 60 отс. | 1,5 Не менее 3,5 1,5 - | Регулирование Сигнализация Блокировка Расчёт Регистрация Лабораторный анализ |
| 9 Колонна КТ-53 - давление верха | 855 | кгс/см ² | 3,0-5,0 | 1,5 | Регулирование Сигнализация |

Продолжение таблицы 2.6

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|--------------------|-----|------|-----------------------------|-----|---------------|
| - температура куба | 715 | °С | Не более 50 | 1,5 | Регистрация |
| - расход флегмы | 858 | кг/ч | Не менее 100% от питания | 3,0 | Регулирование |

2.5.2. Аналитический контроль

Таблица 2.7 – Аналитический контроль производства

| Наименование стадии процесса, анализируемый продукт | Место отбора (место установки средства измерения) | Контролируемые показатели | Методы контроля (методика анализа, ГОСТ или ТУ) | Норма | Частота контроля | Кто контролирует |
|---|---|------------------------------|---|-------|---------------------|---------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 1 Дегидратация тримитил- карбинола | | | | | | |

Продолжение таблицы 2.7

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|---|--|--|----------------------------|---------------------------------------|-------------------|-------------|
| 1.1 Азеотроп ТМК | Из трубопровода нагнетания насоса Н-112 | Массовая доля, % ТМК | Хроматографический №306 | Не нормируется | 1 раз в сутки | Лаборатория |
| 1.2 Кубовый продукт дегидрататора Р-28 | Из трубопровода нагнетания Н-37 | Массовая доля, % 1 ТМК 2 Вторичный бутанол | Хроматографический №307 | Не более 1,0 Не нормируется | 3 раза в сутки | Лаборатория |
| 2 Отмывка изобутилена от ТМК 2.1 Фузельная вода из колонны КТ-38 | Из трубопровода нагнетания Н-39 | Массовая доля, % ТМК | Хроматографический №307 | Не более 5,0 | 3 раза в сутки | Лаборатория |

Продолжение таблицы 2.7

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|--|--|---|----------------------------|--|------------------|-------------|
| 3 Ректификация ТМК 3.1 Азеотроп ТМК из куба колонны КТ-21 | Из трубопровода нагнетания Н- 25 | Массовая доля, % 1 Растворенных углеводородов С3-С4 2 ТМК + вторичный бутанул | Хроматографический №307 | Не более 0,025 Не нормируется | 3 раза в сутки | Лаборатория |
| 4 Азеотропная осушка и ректификация изобутилена 4.1 Кубовый продукт КТ-48 | Из линии вывода кубового продукта | Массовая доля, % 1 Димеров | Хроматографический №306 | Не нормируется | По требованию | Лаборатория |

Продолжение таблицы 2.7

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|--|--|---|--|---|---------------|-------------|
| 4.2 Изобутилен-сырец из отстойника Е-51 | Из трубопровода нагнетания насоса Н-52 | Массовая доля, % 1 Углеводородов 2 ТМК 3 Димеров | Хроматографический, № 309 Хроматографический, № 321 Хроматографический, № 309 | не нормируется не более 0,001 отсутствие | 1 раз в сутки | Лаборатория |
| 4.3 Изобутилен ректификат | Из трубопровода нагнетания Н-60 | Массовая доля, % 1 Изобутилена 2 Сумма α - и β -бутиленов | Хроматографический, № 309 | Не менее 99,9 Не более 0,07 | 1 раз в сутки | Лаборатория |

Продолжение таблицы 2.7

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|---|---|------------------------------------|---------------------------|-----------------|---------------|---|
| | | 3 Бутадиена | | | | |
| | | 4 Углеводородов | | Не более 0,02 | | |
| | | С-5 | | Не более 0,01 | | |
| | | 5 С-3, С-4 | | Не более 0,01 | | |
| | | 6 Димеры | | Отсутствие | | |
| | | 7 ТМК | Методика № 590 | Не более 0,001 | | |
| | | 8 Влага | Электромагнетический №211 | Не более 0,002 | | |
| | | 9 Карбонильных | Методика № 590 | Не более 0,0002 | 1 раз в сутки | |
| | | 10 Сумма спиртов (в том числе ТМК) | Методика № 590 | Не более 0,001 | 1 раз в сутки | |

3 БЕЗОПАСНОСТЬ И ЭКОЛОГИЧНОСТЬ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА

3.1 Конструктивно-технологическая характеристика объекта

Установка входит в мономерную группу цехов завода по производству бутилкаучука и предназначена для получения изобутилена высокой чистоты из изобутилен-содержащего углеводородного сырья на формованном катализаторе.

Таблица 3.1 - Технологический паспорт объекта

| Технологи- ческого процесс | Технологи- ческая операция вид выполняемых работ | Наименование должности работника, выполняющего технологический процесс, операцию | Оборудование, устройство | Матери- алы, вещества |
|----------------------------------|---|--|-----------------------------|-----------------------------|
| Емкость | Приём ИИФ из цеха Д-1 или Д-1А | Аппаратчик 5 разряда | Е-1 | ИИФ |
| Насос | Подача сырья в Р-5/І,ІІ | Аппаратчик 5 разряда | Н-2 | ИИФ |
| Гидрататор | Гидратация изобутилена в ТМК | Аппаратчик 5 разряда | Р-5/І,ІІ | ИИФ, ТМК |
| Колонна | Ректификация фракции С ₄ от димеров и ТМК | Аппаратчик 5 разряда | КТ-95 | Димеры, ТМК |
| Конденсатор | Конденсация фракции С ₄ | Аппаратчик 5 разряда | Т-96 | Оборотная вода |

Продолжение таблицы 3.1

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|-------------|--|-------------------------|---------|---------------------------|
| Емкость | Прием фракции С ₄ от Т-96 | Аппаратчик 5 разряда | Е-98 | ИИФ |
| Испаритель | Обогрева КТ-95 | Аппаратчик 5 разряда | Т-97 | Пар |
| Насос | Подача фракции С ₄ | Аппаратчик 5 разряда | Н-99 | ИИФ |
| Холодильник | Охлаждение фракции, выходящей с верха Р-5/І | Аппаратчик 5 разряда | Т-12/І | Оборотная вода, ИИФ |
| Холодильник | Охлаждение фракции, выходящей с верха Р-5/ІІ | Аппаратчик 5 разряда | Т-12/ІІ | Оборотная вода, ИИФ |
| Отстойник | Прием фракции, выходящей с верха Р-5/І,ІІ | Аппаратчик 5 разряда | Е-13 | ИИФ, Водный слой |
| Колонна | Ректификация С ₄ от димеров и триметилкарбинола | Аппаратчик 5 разряда | КТ-115 | ИИФ, Димеры, ТМК |
| Испаритель | Обогрева КТ-115 | Аппаратчик 5 разряда | Т-116 | Пар |
| Конденсатор | Конденсация фракции С ₄ верха КТ-115 | Аппаратчик 5 разряда | Т-119 | Оборотная вода |
| Емкость | Прием фракции С ₄ верха КТ-115 | Аппаратчик 5 разряда | Е-118 | ИИФ |

Продолжение таблицы 3.1

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---------------|---|-------------------------|-------|--------------------------|
| Насос | Подача фракции С ₄ | Аппаратчик 5 разряда | Н-117 | ИИФ |
| Емкость | Подогрев конденсата на гидратацию | Аппаратчик 5 разряда | Е-69 | ИИФ |
| Теплообменник | Подача конденсата на гидратацию | Аппаратчик 5 разряда | Т-63 | Пар |
| Насос | Отпарка триметилкарбинола от воды | Аппаратчик 5 разряда | Н-70 | ТМК |
| Колонна | Обогрев КТ-15 | Аппаратчик 5 разряда | КТ-15 | Азеотроп ТМК |
| Испаритель | Конденсация азеотропа триметилкарбинола с КТ-15 | Аппаратчик 5 разряда | Т-16 | Пар |
| Конденсатор | Прием азеотропа триметилкарбинола с верха КТ-15 | Аппаратчик 5 разряда | Т-18 | Фузельная вода ТМК |
| Сборник | Подача фузельной воды | Аппаратчик 5 разряда | Е-19 | Фузельная вода |
| Насос | Подача азеотропа триметилкарбинола в КТ-21 и КТ-15 | Аппаратчик 5 разряда | Н-17 | ТМК |
| Насос | Отгонка фракции С ₄ от триметилкарбинола | Аппаратчик 5 разряда | Н-20 | ИИФ ТМК |

Продолжение таблицы 3.1

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|-------------|---|-------------------------|-------|--------------------------|
| Колонна | конденсации азеотропа триметилкарбинола и фракции С ₄ | Аппаратчик 5 разряда | КТ-21 | ИИФ |
| Конденсатор | Прием триметилкарбинола | Аппаратчик 5 разряда | Т-23 | ТМК Оборотная вода |
| Отстойник | Подача азеотропа триметилкарбинола в КТ-21 | Аппаратчик 5 разряда | О-34 | ТМК |
| Насос | Испарение фракции С ₄ от азеотропа триметилкарбинола | Аппаратчик 5 разряда | Н-41 | ИИФ |
| Испаритель | Подогрев конденсата на гидратацию | Аппаратчик 5 разряда | Т-22 | Пар |

3.2 Идентификация производственно-технологических и эксплуатационных профессиональных рисков

Таблица 3.2 – Идентификация профессиональных рисков

| Производственно-технологическая и/или эксплуатационно-технологическая операция, вид выполняемых работ | Опасный и /или вредный производственный фактор | Источник опасного и /или вредного производственного фактора |
|---|--|---|
| Повышенная температура поверхностей оборудования | Физические | Технологическое оборудование, технологические трубопроводы |
| Движущиеся машины и механизмы, подвижные части производственного оборудования | Физические | Разрушение насоса |
| Повышенный уровень шума на рабочем месте | Физические | Технологическое оборудование |
| Недостаточная освещенность рабочей зоны | Физические | Лампы ДРЛ |
| Повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны | Физические | Утечки, пропуски |

Продолжение таблицы 3.2

| 1 | 2 | 3 |
|--|----------------------|---|
| Динамические перегрузки | Психофизиологические | Работа стоя, неудобная поза |
| Сменный график | Психофизиологические | - |
| По характеру воздействия на организм человека: токсические, раздражающие, сенсibiliзирующие, по пути проникания в организм человека: через органы дыхания, кожные покровы и слизистые оболочки | Химические | Технологические трубопроводы, насосное и технологическое оборудование |

3.3 Методы и технические средства снижения профессиональных рисков.

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

| | | |
|---|--|--|
| Опасный или вредный производственный фактор | Организационные методы и технические средства защиты, снижения, устранения опасного или вредного производственного фактора | Средства индивидуальной защиты работника |
|---|--|--|

Продолжение таблицы 3.3

| 1 | 2 | 3 |
|---|---|--|
| Повышенная температура поверхностей оборудования | Восстановить теплоизоляцию в местах ее отсутствия | Спецодежда, рукавицы. |
| Движущиеся машины и механизмы, подвижные части производственного оборудования | Использование защитных ограждений, защитных устройств движущихся элементов оборудования | Спецодежда, рукавицы. |
| Повышенный уровень шума на рабочем месте | Использование вкладышей противозумных «Беруши» | Спецодежда, беруши, наушники. |
| Недостаточная освещенность рабочей зоны | Замена ламп ДРЛ на лампы ДРЛ большей мощности | Спецодежда. |
| Повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны | Модернизация производственной вентиляции | Спецодежда, респиратор, фильтр. противогазы БКФ, изолирующие противогазы «АДА» |
| Динамические перегрузки | Режим труда и отдыха | Спецодежда |
| Сменный график | Режим труда и отдыха | Спецпитание |

Продолжение таблицы 3.3

| 1 | 2 | 3 |
|--|--|--|
| По характеру воздействия на организм человека: токсические, раздражающие, сенсibiliзирующие, по пути проникания в организм человека: через органы дыхания, кожные покровы и слизистые оболочки | Модернизация производственной вентиляции | Спецодежда респиратор, фильтрующие противогазы БКФ, изолирующие противогазы «АДА», защитные очки, маски. |

3.4 Обеспечение пожарной и техногенной безопасности рассматриваемого технического объекта

Таблица 3.4 – Идентификация классов и опасных факторов пожара

| Участок, подразделение | Оборудование | Класс пожара | Опасные факторы пожара | Сопутствующие проявления факторов пожара |
|------------------------|-------------------------------------|--------------|---|--|
| Насосная № 1 | Насосное оборудование, трубопроводы | А | Пламя и искры. Повышенная концентрация токсичных продуктов | Опасные факторы взрыва, возникающие в следствии происшедшего |

Продолжение таблицы 3.4

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|------------------------|--|----------------|---|--|
| | | | горения | пожара. Разрушение оборудования изделий и иного имущества. |
| Насосная № 2 | Насосное оборудование, трубопроводы | А | Пламя и искры. Повышенная концентрация токсичных продуктов горения | Опасные факторы взрыва, возникающие в следствии прошедшего пожара. Разрушение оборудования изделий и иного имущества. |
| Наружная установка № 1 | Емкости, насосное оборудование, колонны, кипятильники, испарители, трубопроводы. | А _н | Пламя и искры. Повышенная концентрация токсичных продуктов горения. Тепловой поток. | Опасные факторы взрыва, возникающие в следствии прошедшего пожара. Разрушение оборудования |

Продолжение таблицы 3.4

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|------------------------------|--|-------|--|---|
| | | | | изделий и иного имущества. Разрушение строительных зданий. |
| Наружная установка № 2 | Емкости, насосное оборудование, колонны, кипятильники, испарители, трубопроводы. | A_H | Пламя и искры Повышенная концентрация токсичных продуктов горения. Тепловой поток. | Опасные факторы взрыва, возникающие в следствии происшедшего пожара. Разрушение оборудования изделий и иного имущества. Разрушение строительных зданий. |

Таблица 3.5 - Технические средства обеспечения пожарной безопасности

| Первичные средства пожаротушения | Мобильные средства пожаротушения | Стационарные установки средств пожаротушения | Средства пожарной автоматики | Пожарное оборудование | Средства индивид. защиты людей при пожаре | Пожарный Инструмент | Пожарные сигнализ. и связь |
|----------------------------------|----------------------------------|--|------------------------------|--|--|-----------------------------|---------------------------------|
| Вода, песок, асбестовое одеяло | Выездная пожарная бригада | Установка Пенопожаротушения | Пожарные извещатели | Огнетушители ОУ-2, ОУ-8, Оу-10, ОП-5, ОП-8 | Противогазы, респиратор, спецодежда, спецобувь | Пожарные ящики, лом, вёдра. | Телефон вызова пожарной бригады |
| Вода, песок, асбестовое одеяло | Выездная пожарная бригада | Установка Пенопожаротушения | Пожарные извещатели | Огнетушители ОУ-2, ОУ-8, Оу-10, ОП-5, ОП-8 | Противогазы, респиратор, спецодежда, спецобувь | Пожарные ящики, лом, вёдра | Телефон вызова пожарной бригады |
| Вода, песок, асбестовое одеяло | Выездная пожарная бригада | Лафетные стволы | Пожарные извещатели | Огнетушители ОУ-2, ОУ-8, | Противогазы, респиратор, | Пожарные ящики, лом, вёдра | Взрывозащищенн. сотовый |

Продолжение таблицы 3.5

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|--------------------------------------|---------------------------------|--------------------|------------------------|---|--|----------------------------------|--|
| | | | | Оу-10,ОП-5, ОП-8 | спецодежда, спецобувь | | телефон |
| Вода, песок, асбестовое одеяло | Выездная пожарная бригада | Лафетные стволы | Пожарные извещатели | Огнетушители ОУ-2,ОУ-8, Оу-10,ОП-5, ОП-8 | Противо- газы, распиратор, спецодежда, спецобувь | Пожарные ящики, лом, вёдра | Взрывоза- щищенн. сотовый телефон |

3.5 Организационные мероприятия по предотвращению пожара

Таблица 3.6 – Организационные (организационно-технические) мероприятия по обеспечению пожарной безопасности [4, с. 355-367]

| Наименование технологического процесса, оборудования технического объекта | Наименование видов реализуемых организационных (организационно-технических) мероприятий | Предъявляемые требования по обеспечению пожарной безопасности, реализуемые эффекты |
|---|---|--|
| Работа насосов в первой и второй насосной. | <p>При загорании электрических проводов, электродвигателей и электрических приборов необходимо, обесточить загоревшийся участок.</p> <p>При пожаре работа вентиляции в помещениях прекращается и возобновляется после ликвидации огня</p> | <p>При ремонте оборудования с собой иметь огнетушитель и асбестовое одеяло. Использовать специальные искрозащищенные инструменты. В насосных установлено стационарное устройство пенопожаротушения. Обеспечить насосные установки огнетушителями и пожарными ящиками с песком.</p> <p>В помещениях установлен внутренний</p> |

Продолжение таблицы 3.6

| 1 | 2 | 3 |
|---|--|--|
| | | <p>пожарный водопровод. Песок – для тушения небольших очагов огня Огнетушители ОП-5, ОП-8 – порошковые, для тушения загораний ЛВЖ, ГЖ, твердых веществ, электроустановок, находящихся под напряжением до 1000 В</p> |
| <p>Работа оборудования на наружных установках №1 и №2</p> | <p>Для тушения пожара на установке применяются следующие средства пожаротушения. При горении газов или жидкостей, выходящих из аппарата или трубопровода, необходимо перекрыть запорную арматуру, тем самым прекратить разлив горящих продуктов. Защищать аппараты и емкости, содержащие горючие вещества, от действия огня путем</p> | <p>Установлено на наружных установках стационарные лафетные стволы и кольца орошения. Запрещается тушить водой электрооборудование, горящие провода и разлитые углеводороды, так как они легче воды и, растекаясь с водой, увеличивают очаг пожара. Песок – для тушения небольших очагов огня.</p> |

Продолжение таблицы 3.6

| 1 | 2 | 3 |
|---|--|---|
| | <p>охлаждения поверхностей водой из пожарных стволов, лафетных стволов, колец орошения колонны Кт-15, Кт-115. Если есть возможность, то опасные места завесить асбестовыми одеялами и поливать водой</p> | <p>Асбестовое одеяло – для тушения небольших очагов загорания углеводородов, других горючих материалов и электрооборудования. Огнетушители ОУ-2, ОУ-5, ОУ-8 , ОУ-10, ОУ-20, ОУ-80–углекислотные для тушения электрооборудования , находящихся под напряжением до 1000 В и загораний различных веществ, за исключением тех, горение которых происходит без доступа воздуха. Азот, пар – применяются для тушения пожаров внутри аппаратов и помещений за счет вытеснения кислорода воздуха из зоны.</p> |

3.6 Обеспечение экологической безопасности рассматриваемого
технического объекта.

Таблица 3.7 – Идентификация экологических факторов технического объекта

| | | | | |
|---|--|---|---|---|
| <p>Наименование технического объекта, технологического процесса</p> | <p>Структурные составляющие технического объекта, технологического процесса (производственного здания или сооружения по функциональному назначению, технологические операции, оборудование), энергетическая установка транспортное средство и т.п.</p> | <p>Воздействие технического объекта на атмосферу (вредные и опасные выбросы в окружающую среду)</p> | <p>Воздействие технического объекта на гидросферу (образующие сточные воды, забор воды из источников водоснабжения)</p> | <p>Воздействие технического объекта на литосферу (почву, растительный покров, недра) (образование отходов, выемка плодородного слоя почвы, отчуждение земель, нарушение и загрязнение растительного покрова и т.д.)</p> |
|---|--|---|---|---|

Продолжение таблицы 3.7

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|--|--|--|--|--|
| Установка выделения концентрированного изобутилена БК-4. | Два насосных отделения и две наружные установки. | Характерно воздействие на окружающую среду Федеральный закон от 04.05.1999 № 96-ФЗ "Об охране атмосферного воздуха" | Сброс сточных вод. «Водный кодекс Российской Федерации» от 03.06.2006 № 74-ФЗ | Размещение не используемых отходов. Федеральный закон от 24.06.1998 № 89-ФЗ "Об отходах производства и потребления" |

Таблица 3.8 – Разработанные организационно-технические мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия технического объекта на окружающую среду [18]

| | |
|---|---|
| Наименование технического объекта | Установка выделения концентрированного изобутилена БК-4. |
| Мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия на атмосферу | В целях защиты окружающей среды от загрязнения в случае создания аварийной ситуации или при освобождении оборудования при остановке на ремонт предусмотрены следующие меры: - сброс газовой фазы |

Продолжение таблицы 3.8

| 1 | 2 |
|---|--|
| | <p>углеводородных продуктов из аппаратов при аварийной ситуации в цехе производится через емкости Е-103, Е-104 на факел,</p> <p>- стравливание инертных газов из аппаратов производится по линиям ручного стравливания через емкость Е-103 на факел.</p> |
| <p>Мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия на гидросферу</p> | <p>Для сбора атмосферных осадков в цехе имеются емкости Е-124/І,ІІ, освобождение которых производится периодически при наличии удовлетворительного анализа и по согласованию с отделом охраны природы в химзагрязненную канализацию</p> <p>- при подготовке оборудования к ремонту после предварительного освобождения аппаратов от продуктов и продувки азотом со сбросом на факел, производится пропарка их по закрытой схеме со сливом парового конденсата в заглубленные емкости Е-124/І,ІІ, откуда содержимое при наличии удовлетворительного анализа и по согласованию с отделом</p> |

Продолжение таблицы 3.8

| 1 | 2 |
|--|--|
| | <p>охраны природы откачивается насосами Н-124/І,ІІ в химзагрязненную канализацию и отправляется в цех 102 на БОС.</p> |
| <p>Мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия на литосферу</p> | <p>Выгрузка отработанного катализатора из аппаратов Р-5/І,ІІ производится вакуум-насосом Н-247 в бункер Пн-245. Отработанный катализатор загружается в мешки и отправляется потребителям. При отсутствии потребителей отработанный катализатор и ионообменная смола вывозятся самосвалом на захоронение.</p> |

В разделе «Безопасность и экологичность технического объекта» приведена характеристика технологического процесса получения изобутилена высокой степени чистоты, перечислены технологические операции, должности работников, производственно-техническое и инженерно-техническое оборудование, применяемые сырьевые технологические и расходные материалы, комплектующие изделия и производимые изделия.

Проведена идентификация профессиональных рисков по осуществляемому технологическому процессу получения изобутилена, выполняемым технологическим операциям, видам производимых работ. В качестве опасных и вредных производственных факторов идентифицированы

следующие повышенная температура, повышенный уровень шума, недостаточная освещенность и работа с вредными веществами.

Подобраны средства индивидуальной защиты для работников [40] такие как специальное защитное оборудование: респираторы, противогазы, спецодежда, спецобувь.

Разработаны мероприятия по обеспечению пожарной безопасности технического объекта. Проведена идентификация класса пожара и опасных факторов пожара и разработка средств, методов и мер обеспечения пожарной безопасности(таблица 3.4) Разработаны средства, методы и меры обеспечения пожарной безопасности(3.5). Разработаны мероприятия по обеспечению пожарной безопасности на техническом объекте(3.6).

4 ТЕХНИКО - ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ

4.1 Маркетинговый анализ

В данном дипломном проекте, при разработке технологии улучшения работы дегидрататора в производстве изобутилена, при выборе необходимого оборудования, учитывалась цена на изготовление ситчатых тарелок а также максимальный диаметр производимого изделия. Из ниже предложенных вариантов в таблице (4.1) из производителей ситчатых тарелок, выбран ООО «Химмаш-Аппарат».

Таблица 4.1- Виды предлагаемого оборудования

| Наименование производителя | D производимого изделия мм. | Цена оборудования, за ед., руб. |
|----------------------------|--|---------------------------------|
| ООО «Химмаш-Аппарат» | 1000, 1200, 1400, 1600, 1800, 2000, 2200, 2400, 2600, 2800, 3000, 3200, 3400, 3600 | 10000000 |
| ООО «ПромЭкс» | 1200, 1400, 1600, 1800, 2000, 2200, 2400, 2600, 2800, 3000, 3200, 3400, 3600 | 11000000 |
| ООО «Текса» | 1400, 1600, 1800, 2000, 2200, 2400, 2600, 2800, 3000, 3200, 3400, 3600 | 10500000 |

4.2 Расчёт годовой производственной мощности цеха

В данном разделе рассчитывается производственная мощность (М) проектируемого цеха. Производственная мощность определяется по

ведущему оборудованию, на котором осуществляется основной производственный процесс.

Таблица 4.2. - Краткая характеристика сравниваемых вариантов

| Краткая характеристика базового варианта | Краткая характеристика проектного варианта | Изменяющиеся показатели |
|--|---|---|
| <p>Изобутилен получают разложением триметилкарбинола на сульфокатионите в реакторе дегидратации реакционно-ректификационного типа. Один слой катализатора. Питание подается под слой катализатора.</p> | <p>Изобутилен получают разложением триметилкарбинола на сульфокатионите в реакторе дегидратации реакционно-ректификационного типа. Несколько слоев катализатора. Питание над слой катализатора.</p> | <p>Увеличивается производительность изобутилена. Снижается потребление пара и оборотной воды. Снижаются условно постоянные расходы.</p> |

Она рассчитывается в натуральных показателях: тоннах, штуках, кубометрах и т.п., и определяется по формуле:

$$M = Q_{\text{час}} * \Phi_{\text{эф}},$$

где M - годовая производительная мощность (по сырью или продукту), т/год;

$Q_{\text{час}}$ - часовая производительность, т/ч;

$\Phi_{эф}$ - эффективное время работы оборудования, час;

$$M = 6,721 * 8280 = 55650 \text{ т/год}$$

Годовой эффективный фонд времени работы оборудования ($\Phi_{эф}$, часов):

$$\Phi_{эф} = (D_k - D_{рем}) \cdot 24 = (365 - 20) \cdot 24 = 8280 \text{ часов,}$$

где D_k – календарная продолжительность года, сут;

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

Результаты расчётов по проектным вариантам сводятся в таблицу 4.3

Таблица 4.3 - Расчёт годовой производственной мощности основного оборудования

| Показатели | Количество | |
|--|------------|--------|
| | базовый | проект |
| Плановые простои оборудования, сут. | 20 | 20 |
| Эффективное время работы оборудования, сут. | 345 | 345 |
| Эффективное время работы оборудования, час. | 8280 | 8280 |
| Часовая производительность оборудования, т/час, м ³ /час, шт/час. | 4,700 | 6,721 |
| Годовая производственная мощность, т/год, м ³ /год, шт/год. | 38916 | 55650 |

4.3 Расчёт затрат на модернизацию оборудования

Проект может предусматривать модернизацию оборудования. В этом случае капитальные затраты на приобретение оборудования и строительство отсутствуют, а необходимо рассчитать затраты на модернизацию по формулам

$$K_{мод} = C_{вв} + (P_{сб} + P_{дем}) \cdot K_{нак},$$

где $K_{мод}$ – затраты на модернизацию оборудованию;

$C_{вв}$ – стоимость покупки или изготовления вновь вводимых узлов и приборов = 10000000 на приобретения 1 ситчатой тарелки руб.;

$C_{\text{дем}}$ – стоимость демонтируемых узлов и приборов по остаточной стоимости или по цене металлолома = 0;

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

$P_{\text{дем}}$ – расходы на демонтаж = 0;

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

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

где $T_{\text{сб}}$ – трудоёмкость сборки и монтажа вновь вводимых узлов и приборов в нормочасах = 80;

$Z_{\text{ср.м}}$ – средневзвешенная тарифная ставка рабочих бригады, выполняющей модернизацию = 40000;

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

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

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

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

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

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

$K_{\text{с}}$ – отчисления на страховые выплаты ($K_{\text{с}} = 0,3$).

$$P_{\text{сб}} = T_{\text{сб}} \cdot Z_{\text{ср.м}} \cdot (1 + K_{\text{пр}} + K_{\text{н}} + K_{\text{вн}} + K_{\text{у}} + K_{\text{пф}} + K_{\text{д}} + K_{\text{с}}) = 80 * 40000 * (1 + 0,45 + 0,1 + 0,12 + 0,15 + 0,08 + 0,3) = 6784000$$

$$K_{\text{мод}} = C_{\text{вв}} + (P_{\text{сб}} + P_{\text{дем}}) \cdot K_{\text{нак}} = 60000000 + 6784000 * 1,5 = 70176000$$

4.4 Расчёт численности рабочих и фонда оплаты труда

Штаты рабочих определяются в соответствии с принятыми формами организации труда отдельно по каждой из следующих групп:

- 1) производственные рабочие;
- 2) дежурный персонал;

3) ремонтный персонал.

График сменности производственных рабочих отображен в таблице 4.4

Таблица 4.4 - График сменности производственных рабочих («+» – рабочее время)

| Смена | Часы | Дни месяца | | | | | | | | | | | | | | |
|-------|---------------------------------------|------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
| А | 7 ⁰⁰ - 19 ⁰⁰ | + | | | | + | | | | + | | | + | | | |
| | 19 ⁰⁰ - 7 ⁰⁰ | | + | | | | + | | | | + | | | + | | |
| В | 7 ⁰⁰ - 19 ⁰⁰ | | | | + | | | | + | | | + | | | | |
| | 19 ⁰⁰ - 7 ⁰⁰ | + | | | | + | | | | + | | | + | | | |
| С | 7 ⁰⁰ - 19 ⁰⁰ | | + | | | | + | | | | + | | | + | | |
| | 19 ⁰⁰ - 7 ⁰⁰ | | | + | | | | + | | | | + | | | + | |
| D | 7 ⁰⁰ - 19 ⁰⁰ | | | + | | | | + | | | | + | | | + | |
| | 19 ⁰⁰ - 7 ⁰⁰ | | | | + | | | | + | | | | + | | | |
| | | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 |
| А | 7 ⁰⁰ - 19 ⁰⁰ | | + | | | | + | | | | + | | | | + | |
| | 19 ⁰⁰ - 7 ⁰⁰ | | | + | | | | + | | | | + | | | | + |
| В | 7 ⁰⁰ - 19 ⁰⁰ | + | | | | + | | | | + | | | | + | | |
| | 19 ⁰⁰ - 7 ⁰⁰ | | + | | | | + | | | | + | | | | + | |
| С | 7 ⁰⁰ - 19 ⁰⁰ | | | + | | | | + | | | | + | | | | + |
| | 19 ⁰⁰ - 7 ⁰⁰ | | | | + | | | | + | | | | + | | | |
| D | 7 ⁰⁰ - 19 ⁰⁰ | | | + | | | | + | | | | + | | | | |
| | 19 ⁰⁰ - 7 ⁰⁰ | + | | | + | | | | + | | | | + | | | |

Производственные рабочие – это рабочие занятые непосредственно в изготовлении продукции предприятия (товарного продукта). Дежурный персонал осуществляет аварийный ремонт оборудования.

Ремонтный персонал осуществляет плановый ремонт оборудования в соответствии с графиком планово-предупредительных ремонтов.

На химических предприятиях оборудование работает в круглосуточном, непрерывном режиме. Поэтому, производственные рабочие и дежурный персонал должны находиться на рабочем месте также круглосуточно. Для них принят двенадцатичасовой рабочий день и четырёх - бригадный принцип комплектования рабочих кадров. Ремонтный персонал не привязан к непрерывной работе оборудования, поэтому график работы ремонтных: восьмичасовой рабочий день при пятидневной рабочей неделе и однобригадный принцип комплектования.

При расчёте номинального фонда рабочего времени одного рабочего следует исходить из положений законодательства о труде, которое устанавливает в качестве базы для расчётов восьмичасовой рабочий день и пятидневную рабочую неделю (40 рабочих часов в неделю). Номинальный годовой фонд времени одного рабочего определяется по формуле

$$\Phi_{НР} = (D_K - D_{ПР} - D_{ВЫХ}) \cdot T_{СМ} - (D_{ПРЕД} \cdot T_{СОК}), \quad (5.1)$$

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

где D_K – количество календарных дней в году; $D_{ПР}$ – количество праздничных дней; $D_{ВЫХ}$ – количество выходных дней; $D_{ПРЕД}$ – количество предпраздничных дней; $T_{СМ}$ – продолжительность рабочей смены, (8 часов); $T_{СОК}$ – время, на которое сокращается предпраздничный день (1 час).

При расчёте действительного фонда рабочего времени одного рабочего воспользуемся графиком сменности (табл. 4.4), из которого следует, что половина дней месяца и года являются рабочими.

$$\Phi_{ДР} = \frac{D_K}{2} \cdot T_{ДСМ}, \quad (5.2)$$

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

$$\Phi_{ДР} = \frac{365}{2} \cdot 12 = 2190 \text{ часов},$$

Количество часов переработки сверх нормы рабочего времени

$$\Phi_{ПЕР} = \Phi_{ДР} - \Phi_{НР}, \quad (5.3)$$

$$\Phi_{ПЕР} = 2190 - 1987 = 203 \text{ часа},$$

За работу сверх нормы рабочего времени, в соответствии с КЗоТ РФ и с коллективным договором предприятия, выплачивается доплата к основному тарифу.

Действительный эффективный фонд времени одного рабочего, часов

$$\Phi_{ЭДР} = \Phi_{ДР} \cdot \left(1 - \frac{B_o}{100}\right), \quad (5.4)$$

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

$$\Phi_{ЭДР} = 2190 \cdot \left(1 - \frac{12}{100}\right) = 1927 \text{ сменный персонал.}$$

$$\Phi_{ЭДР} = 1987 \cdot \left(1 - \frac{12}{100}\right) = 1748 \text{ дневной персонал.}$$

Списочная численность рабочих в бригадах определена штатным расписанием цеха

$$Ч_{СП} = K_{подм} \cdot Ч_{Я};, \quad (5.5)$$

Для производственных рабочих:

$$Ч_{СП} = 1,136 \cdot 6 \approx 7;$$

Для дежурного персонала:

$$Ч_{СП} = 1,136 \cdot 2 \approx 2;$$

Для ремонтного персонала:

$$Ч_{СП} = 1,252 \cdot 3 \approx 4;$$

Коэффициент подмены рассчитываем по формуле

$$K_{подм} = \frac{\Phi_{ДР}}{\Phi_{ЭДР}}, \quad (5.6)$$

Для сменного персонала

$$K_{подм} = \frac{2190}{1927} = 1,136$$

Для дневного персонала

$$K_{подм} = \frac{2190}{1748} = 1,252$$

где $Ч_{сн}$ – списочная численность рабочих в бригаде, чел.;
 $Ч_{я}$ – явочное число рабочих в смену, чел.; $K_{подм}$ – коэффициент подмены.

В таблице 4.5 отображены данные расчетов тариф и явочное число рабочих в смену производственных рабочих, дежурного, ремонтантного и вспомогательного персонала.

Таблица 4.5 - Штаты рабочих

| Состав бригады | Кз | Явочное число рабочих в смену | Тариф | | Кол. смен | Списочная численность рабочих в бригадах |
|--------------------------------|-------|-------------------------------|-------|-----|-----------|--|
| | | | час | Зср | | |
| 1 Пр. рабочие | 1,136 | 2 | 120 | 120 | 4 | ΣЧСП = 7 |
| 1.1 Аппаратчик 5 разряда | | | | | | |
| 1.2 Аппаратчик 6 разряда | | | | | | |
| 1.3 Оператор 5 разряда | | 1 | 100 | | | |

Продолжение таблицы 4.5

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|---|-------|------------|----------------|-----|---|----------|
| 1.4 Оператор 6 разряда Всего 24 человека | | 1 | 110 | | | |
| 2 Дежурный персонал 2.1 Слесарь КИПиА 5 разряда 2.2 Слесарь 5 разряда Всего 8 человек | 1,136 | 1 1 | 100 100 | 100 | 4 | ΣЧСП = 2 |
| 3 Ремонтный персонал 3.1 Слесарь КИПиА 6 р. 3.2 Слесарь 5 разряда 3.3 Слесарь 6 разряда Всего 3 человека | 1,252 | 1 1 | 120 140 | 120 | 1 | ΣЧСП = 4 |
| 4 вспомога- тельный персонал 4.1 Лаборант | | | | | | |

Продолжение таблицы 4.5

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|------------------|---|---|----|----|---|----------|
| 5 разряда | | 1 | 80 | | | ΣЧСП = 2 |
| 4.2 Уборщик | | 1 | 60 | | | |
| Всего 2 человека | 1 | | | 70 | 1 | |

4.5 Расчет заработной платы рабочих

Рассчитаем оплату по тарифу по формуле

$$Z_{тар} = Z_{ср} \times \Phi_{здр} \times \sum Ч_{сн} \times K_3; \quad (5.7)$$

Расчет оформим в виде таблицы 4.6

Таблица 4.6 - Оплата по тарифу.

| Группы рабочих | Расчет по формуле (5.7) | Оплата по тарифу, руб. |
|--------------------------|-------------------------|------------------------|
| Производственные рабочие | 120*1927*7*1,136 | 1838820,48 |
| Дежурный персонал | 100*1927*2*1,136 | 437814,4 |
| Ремонтный персонал | 120*1748*4*1,252 | 1050478,08 |
| Вспомогательный персонал | 70*1748*2*1 | 244720 |

Рассчитаем премию по формуле:

$$Z_{прем} = Z_{тар} \times K_{пр}; \quad (5.8)$$

где $K_{пр}$ - коэффициент премирования ($K_{пр} = 0,3$).

Расчет оформим в виде таблицы 4.7

Таблица 4.7 - Расчет премии

| Группы рабочих | Расчет по формуле (5.8) | Премия, руб. |
|--------------------------|-------------------------|--------------|
| Производственные рабочие | 1838820,48*0,3 | 551646,144 |
| Дежурный персонал | 437814,4*0,3 | 131344,32 |
| Ремонтный персонал | 1050478,08*0,3 | 315143,424 |
| Вспомогательный персонал | 244720*0,3 | 73416 |

Размер доплат доплату за работу в праздничные дни определим по формуле

$$Z_{\text{празд}} = Z_{\text{ср}} \times t_{\text{см}} \times n_{\text{см}} \times Ч_{\text{я}} \times D_{\text{пр}} \times K_{\text{з}}; \quad (5.9)$$

где $t_{\text{см}}$ - продолжительность смены (12 часов); $n_{\text{см}}$ - число смен в сутки.

Расчет оформим в виде таблицы 4.8

Таблица 4.8 - Доплата за работу в праздничные дни.

| Группы рабочих | Расчет по формуле (5.9) | Доплата, руб. |
|--------------------------|-------------------------|---------------|
| Производственные рабочие | 1220*12*1*6*12*1,136 | 117780,48 |
| Дежурный персонал | 100*12*1*2*3*1,136 | 8179,2 |
| Ремонтный персонал | 0 | 0 |
| Вспомогательный персонал | 0 | 0 |

Размер доплат за работу сверх нормы рабочего времени определим по формуле

$$Z_{\text{св.н.}} = Z_{\text{ср}} \times \Phi_{\text{нгр}} \times Ч_{\text{сн}} \times K_{\text{св.н.}} \times K_{\text{з}}; \quad (5.10)$$

где $K_{\text{св.н.}} = 0,5$.

Расчет оформим в виде таблицы 4.9

Таблица 4.9 - Доплата за работу сверх нормы рабочего времени

| Группы рабочих | Расчет по формуле (5.10) | Доплата, руб. |
|--------------------------|-----------------------------|---------------|
| Производственные рабочие | $120*203*7*0,5*1,136$ | 96855,36 |
| Дежурный персонал | $100*203*2*0,5*1,136$ | 23060,8 |
| Ремонтный персонал | 0 | 0 |
| Вспомогательный персонал | 0 | 0 |

Определим основной фонд заработной платы по формуле

$$Z_{осн} = Z_{тар} + Z_{прем} + Z_{празд} + Z_{ноч} + Z_{св.н.}; \quad (5.11)$$

где $Z_{тар}$ - оплата по тарифу; $Z_{прем}$ - премия; $Z_{празд}$ - доплата за работу в праздничные дни; $Z_{ноч}$ - доплата за работу в ночное время; $Z_{св.н.}$ - доплата за работу сверх нормы рабочего времени.

Расчет оформим в виде таблицы 4.10

Таблица 4.10 - Основная заработная плата

| Группы рабочих | Расчет по формуле (5.11) | Основная зарплата, руб. |
|--------------------------|--|-------------------------|
| Производственные рабочие | $1838820,48+551646,144+117780,48+96855,36$ | 2605102,464 |
| Дежурный персонал | $437814,4+131344,32+8179,2+23060,8$ | 600398,72 |
| Ремонтный персонал | $1050478,08+315143,424$ | 1365621,504 |

Продолжение таблицы 4.10

| 1 | 2 | 3 |
|--------------------------|--------------|--------|
| Вспомогательный персонал | 244720+73416 | 318136 |

Размер оплаты дней отпуска определим по формуле

$$Z_{отп} = \frac{Z_{осн} \times (\Phi_{др} - \Phi_{здр})}{\Phi_{здр}}; \quad (5.12)$$

Расчет оформим в виде таблицы 4.11

Таблица 4.11 - Оплата дней отпуска

| Группы рабочих | Расчет по формуле (5.12) | Оплата дней отпуска, руб. |
|--------------------------|-----------------------------------|---------------------------|
| Производственные рабочие | 2605102,464* *(2190-1927)/1927 | 355548,494 |
| Дежурный персонал | 600398,72*(2190-1927)/1927 | 81943,36 |
| Ремонтный персонал | 1365621,504* *(2190-1748)/1748 | 345311,616 |
| Вспомогательный персонал | 318136*(2190-1748)/1748 | 80444 |

Дополнительный фонд заработной платы определим по формуле

$$Z_{дон} = Z_{отп} + Z_{уч} + Z_{гос};$$

где $Z_{отп}$ - оплата дней отпуска; $Z_{уч}$ - оплата ученических отпусков;
 $Z_{гос}$ - оплата дней за выполнение государственных обязанностей.

Так как $Z_{уч} = 0$ и $Z_{гос} = 0$, то

$$Z_{дон} = Z_{отп}; \quad (5.13)$$

Расчет оформим в виде таблицы 4.12

Таблица 4.12 – Дополнительная заработная плата

| Группы рабочих | Расчет по формуле (5.12) | Оплата дней отпуска, руб. |
|--------------------------|-----------------------------------|---------------------------|
| Производственные рабочие | 2605102,464* *(2190-1927)/1927 | 355548,494 |
| Дежурный персонал | 600398,72*(2190-1927)/1927 | 81943,36 |
| Ремонтный персонал | 1365621,504* *(2190-1748)/1748 | 345311,616 |
| Вспомогательный персонал | 318136*(2190-1748)/1748 | 80444 |

Годовой фонд заработной платы определяется по формуле

$$Z_{год} = Z_{осн} + Z_{доп}; \quad (5.14)$$

где $Z_{осн}$ - основной фонд заработной платы; $Z_{доп}$ - дополнительный фонд заработной платы.

Расчет оформим в виде таблицы 4.13

Таблица 4.13 - Годовой фонд заработной платы

| Группы рабочих | Расчет по формуле (5.14) | Годовой фонд зарплаты, руб. |
|--------------------------|--------------------------|-----------------------------|
| 1 | 2 | 3 |
| Производственные рабочие | 2605102,464+355548,494 | 2960650,958 |
| Дежурный персонал | 600398,72+81943,36 | 682342,08 |
| Ремонтный персонал | 1365621,504+345311,616 | 1710933,12 |
| Вспомогательный персонал | 318136+80444 | 398580 |

Расчет отчислений на социальные выплаты

$$OCB = Z_{год} * Kc; \quad (5.15)$$

где K_c - отчисления на страховые выплаты ($K_c = 0,3$).

Расчет оформим в виде таблицы 4.14

Таблица 4.14 - Единый социальный налог

| Группы рабочих | Расчет по формуле (5.15) | ОСВ, руб. |
|-----------------------------|-----------------------------|-------------|
| Производственные рабочие | $2960650,958 * 0,3$ | 888195,2874 |
| Дежурный персонал | $682342,08 * 0,3$ | 204702,624 |
| Ремонтный персонал | $1710933,12 * 0,3$ | 513279,936 |
| Вспомогательный персонал | $398580 * 0,3$ | 119574 |

Результаты всех расчетов по заработной плате сведем в таблицу 4.15

Таблица 4.15 - Результаты расчетов

| Группа Работников | Средний тариф | Число рабочих | Оплата по тарифу | Доплаты | | | Основной фонд зарплаты | Дополнительный фонд зарплаты | Годовой фонд зарплаты | Социальные выплаты |
|--------------------------|---------------|---------------|------------------|-----------|-------------|-------------|------------------------|------------------------------|-----------------------|--------------------|
| | | | | Премия | Праздничные | Сверх нормы | | | | |
| Производственные рабочие | 120 | 24 | 1838820,5 | 551646,14 | 117780,5 | 96855,4 | 2605102,5 | 355548,5 | 2960651 | 888195,29 |
| Дежурные рабочие | 100 | 8 | 437814,4 | 131344,32 | 8179,2 | 23060,8 | 600398,7 | 81943,4 | 682342,1 | 204702,6 |
| Ремонтный персонал | 120 | 3 | 1050478,1 | 315143,42 | 0 | 0 | 1365621,5 | 345311,6 | 1710933,1 | 513279,9 |
| Вспомогательный персонал | 70 | 2 | 244720 | 73416 | 0 | 0 | 318136 | 80444 | 398580 | 119574 |
| ИТОГО | 410 | 37 | 3571833 | 1071549,9 | 125959,7 | 119916,2 | 4889258,7 | 863247,5 | 5752506,2 | 1725751,8 |

4.6 Организация управления производством

Расчёт годового фонда заработной платы ИТР и служащих производится по формуле

$$З_{\text{год.ИТР}} = T_{\text{ок}} \cdot 12 \cdot Ч_{\text{сп.ИТР}}, \quad (5.16)$$

где $T_{\text{ок}}$ – размер месячного оклада; 12 – количество месяцев в году.

Доплаты за работу в ночную смену, в праздничные дни и сверх нормы рабочего времени рассчитываются по формулам для расчёта аналогичных показателей для рабочих. Премии для ИТР и руководителей устанавливаются премиальными положением предприятия: $K_{\text{пр.ИТР}} = 0,5$, руководителей 0,4.

В таблице 4.16 отображен расчет по формуле (1.17)

$$З_{\text{прем}} = З_{\text{тар}} \cdot K_{\text{пр}}, \quad (5.17)$$

Таблица 4.16 - Расчёт премии

| Группы рабочих | Расчёт по формуле (4.23) | Премия; руб. |
|-----------------------|--------------------------|--------------|
| 1.ИТР | | |
| 1.1 нач. установки | $40000 * 0,5$ | 20000 |
| 1.2 механик установки | $28000 * 0,5$ | 14000 |
| 1.3 нач. отделения | $30000 * 0,5$ | 15000 |
| 2.Руководители | | |
| 2.1 мастер | $24000 * 0,4$ | 9600 |

$$З_{\text{сп}} = 24000 * 1/4 = 6000$$

В таблице 4.17 отображен расчет по формуле (5.9)

Таблица 4.17 - Доплата за работу в праздничные дни

| Группы рабочих | Расчёт по формуле (5.9) | Доплата в праздники; руб |
|------------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 1.Руководители 1.1 мастер | 6000* 12 *1 * 1 * 14 * 1 | 1008000 |

В таблице 4.18 отображен расчет по формуле 1.18

$$Z_{ноч} = \frac{Z_{тар} \cdot (1 + K_H)}{3}, \quad (5.18)$$

Таблица 4.18 - Доплата за работу в ночное время

| Группы рабочих | Расчёт по формуле (5.18) | Доплата за ночное время; руб |
|------------------------------|--------------------------|------------------------------|
| 1.Руководители 1.1 мастер | 24000*(1+0,1)/3 | 8800 |

В таблице 4.19 отображен расчет по формуле (1.10)

Таблица 4.19 - Доплата за работу сверх нормы рабочего времени

| Группы рабочих | Расчёт по формуле (5.10) | Доплата сверх рабочего времени; руб |
|------------------------------|--------------------------|-------------------------------------|
| 1.Руководители 1.1 мастер | 6000 * 203 * 4 * 0,1 * 1 | 487200 |

В таблице 4.20 отображен расчет по формуле (1.19)

$$Z_{год} = T_{ок} R \cdot 12 \cdot Ч_{сп.}, \quad (5.19)$$

Таблица 4.20 - Годовой фонд заработной платы

| Группы рабочих | Расчёт по формуле (5.19) | Годовой фонд заработной платы; руб. |
|-------------------------------|-----------------------------|--|
| 1.1 нач. установки | $40000 * 12 * 1$ | 480000 |
| 1.2 механик установки | $28000 * 12 * 1$ | 336000 |
| 1.3 нач. отделения | $30000 * 12 * 1$ | 360000 |
| 2. Руководители 2.1 мастер | $24000 * 12 * 4$ | 1152000 |
| | | Итого: 2328000 |

В таблице 4.21 отображен расчет по формуле (5.15)

Таблица 4.21 - Отчисления на страховые выплаты

| Группы рабочих | Расчёт по формуле (5.15) | ОСВ; руб. |
|-------------------------------|-----------------------------|---------------|
| 1.1 нач. установки | $480000 * 0,3$ | 144000 |
| 1.2 механик установки | $336000 * 0,3$ | 100800 |
| 1.3 нач. отделения | $360000 * 0,3$ | 108000 |
| 2. Руководители 2.1 мастер | $1152000 * 0,3$ | 345600 |
| | | Итого: 698400 |

В таблице 4.22 отображен расчет по формуле (5.11)

Таблица 4.22 - Основная заработная плата

| Группы рабочих | Расчёт по формуле (5.11) | Основная заработная плата; руб. |
|----------------|--------------------------------------|---------------------------------|
| ИТР | 98000 + 49000 | 147000 |
| Руководители | 24000+9600+1008000+8800+ + 487200 | 1537600 |

В таблице 4.23 отображен расчет по формуле (5.20)

$$Z_{доп} = \frac{Z_{осн} \cdot (\Phi_{ДР} - \Phi_{ЭДР})}{\Phi_{ЭДР}}; \quad (5.20)$$

Таблица 4.23 - Дополнительная заработная плата

| Группы рабочих | Расчёт по формуле (5.20) | Дополнительная заработная плата; руб |
|----------------|--|--------------------------------------|
| ИТР | $\frac{147000 \cdot (1987 - 1748)}{1748}$ | 20099 |
| Руководители | $\frac{1537600 \cdot (1987 - 1748)}{1748}$ | 210232,5 |

В таблицу 4.24 сведены результаты всех расчетов по заработной плате ИТР и руководителей.

Таблица 4.24 - Заработная плата ИТР и руководителей

| Категории Работников | K_3 | $Ч_{сн}$ | Оклад | Премии (0,5) | Доплаты (сумма) | Годовой фонд з/пл | ОСВ |
|-----------------------------|-------|----------|-------|--------------|-----------------|-------------------|--------|
| 1 ИТР 1.1 нач. установки | 1 | | 40000 | 20000 | празд-ники | 480000 | 144000 |

Продолжение таблицы 4.24

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|--------------------------|---|---|--------|-------|----------------------------|---------|--------|
| 1.2 механик установки | 1 | 1 | 28000 | 14000 | 1008000 | 336000 | 100800 |
| 1.3 нач. отделения | 1 | 1 | 24000 | 12000 | 8800 | 360000 | 108000 |
| 2.Руководители | | | | | ночные перера- ботка | | |
| 2.1 мастер | 1 | 1 | 30000 | 15000 | 487200 | 1152000 | 345600 |
| Итого: | | 3 | 122000 | 58600 | 1504000 | 2328000 | 698400 |

4.7 Расчёт себестоимости продукции

Основой для расчёта себестоимости продукции являются: калькуляция себестоимости продукции предприятия, данные технической части дипломного проекта и результаты расчётов по организации труда и заработной платы рабочих, специалистов, служащих и руководителей.

Расчёт ведётся по базовому и проектному варианту по каждой статье калькуляции.

4.7.1 Расчёт расходов на сырьё и полуфабрикаты

Сначала определим расходы на сырьё и вспомогательные материалы. Поскольку проект предусматривает изменение технологического процесса, поэтому расходные нормы отличаются от базового. Расход на сырьё и материалы представлены в таблице 4.25

Таблица 4.25 - Расход сырья на одну тонну продукции

| Вид сырья, материалов, полуфабрикатов | Ед. изм. | Расход на одну тонну продукции | | Цена за единицу измерения (руб.) | Сумма; руб. | |
|---|-------------|-----------------------------------|-----------|---|----------------|--------|
| | | базовый | проектный | | Базовый | проект |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |

Продолжение таблицы 4.25

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|-------|----|--------|--------|----|-------|-------|
| ТМК | кг | 1402,9 | 1392,9 | 30 | 42087 | 41787 |
| Итого | | | | | 42087 | 41787 |

Годовой расход сырья, материалов и полуфабрикатов определяется по формуле

$$P_{с.год} = P_{час} \times \Phi_{эф}, \quad (5.21)$$

где $P_{год}$ – годовой расход сырья и полуфабрикатов; $P_{час}$ – часовой расход сырья и полуфабрикатов.

Расход сырья на одну тонну продукции

$$P_{с.уд} = \frac{P_{с.год}}{M}, \quad (5.22)$$

4.26 Расчёт расходов на топливо и энергию

Таблица 4.26 - Расчёт топлива и энергии на одну тонну продукции

| Вид топлива, Энергии | Ед. изм. | Расход на одну тонну продукции, $P_{т.уд}$ | | Цена за единицу измерения (руб.) | Сумма, руб. | |
|----------------------|----------|--|-----------|----------------------------------|-------------|-----------|
| | | базовый | проектный | | базовый | проектный |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 1. Электроэнергия | кВт/ч | 90 | 90 | 3 | 270 | 270 |
| 2. Пар | Гкал | 1,298 | 0,900 | 2400 | 3115,2 | 2160 |
| 3. Обратная вода | м3 | 40 | 10 | 6 | 240 | 60 |
| Итого | | | | | 3625,2 | 2490 |

4.7.2 Расчёт по заработной плате

Затраты на заработную плату определяются, исходя из рассчитанного фонда заработной платы всех групп работников: основных производственных рабочих, ремонтного персонала, дежурного персонала, вспомогательных рабочих, инженерно-технических работников, служащих и руководителей.

Основная заработная плата на одну тонну продукции

$$З_{Осн.уд} = \frac{З_{осн}}{M} \quad (5.23)$$

Дополнительная заработная плата на одну тонну продукции.

$$З_{Доп.уд} = \frac{З_{доп}}{M} \quad (5.24)$$

Отчисления на страховые выплаты.

$$ОСВ_{уд} = \frac{ОСВ}{M} \quad (5.25)$$

Результаты расчетов по формулам 5.23 - 5.25 отображены в таблице 4.27

Таблица 4.27 - Расчёты по заработной плате

| Группы Работников | Основная заработная плата | | Дополнительная заработная плата | | Единый социальный налог | |
|-----------------------------|--|-------|--|------|---|-------|
| | Расчёт | Руб. | Расчёт | Руб. | Расчёт | Руб. |
| Производственные рабочие | $z_{Осн.уд} = \frac{z_{осн}}{M}$ $= \frac{2605102}{55650}$ $= 46,8$ | 46,8 | $z_{Доп.уд} = \frac{z_{доп}}{M}$ $= \frac{355548}{55650}$ $= 6,39$ | 6,39 | $OCB_{уд.} = \frac{OCB}{M}$ $= \frac{888195,2874}{55650}$ $= 15,96$ | 15,96 |
| Дежурный персонал | $z_{Осн.уд} = \frac{z_{осн}}{M}$ $= \frac{600398}{55650}$ $= 10,8$ | 10,8 | $z_{Доп.уд} = \frac{z_{доп}}{M}$ $= \frac{81943}{55650}$ $= 1,47$ | 1,47 | $OCB_{уд.} = \frac{OCB}{M}$ $= \frac{204702,624}{55650}$ $= 3,68$ | 3,68 |
| Ремонтный персонал | $z_{Осн.уд} = \frac{z_{осн}}{M}$ $= \frac{1365621}{55650}$ $= 24,54$ | 24,54 | $z_{Доп.уд} = \frac{z_{доп}}{M}$ $= \frac{345311}{55650}$ $= 6,2$ | 6,2 | $OCB_{уд.} = \frac{OCB}{M}$ $= \frac{513279,936}{55650}$ $= 9,22$ | 9,22 |
| Вспомогательный персонал | $z_{Осн.уд} = \frac{z_{осн}}{M}$ $= \frac{318136}{55650}$ $= 5,72$ | 5,72 | $z_{Доп.уд} = \frac{z_{доп}}{M}$ $= \frac{80444}{55650}$ $= 1,4$ | 1,4 | $OCB_{уд.} = \frac{OCB}{M}$ $= \frac{119574}{55650}$ $= 2,15$ | 2,15 |

Продолжение таблицы 4.27

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|---------------------------------|--|--------|--|-------|---|-------|
| ИТР, служащие и руководители | $z_{\text{Осн.уд}} = \frac{z_{\text{осн}}}{M}$ $= \frac{2328000}{55650}$ $= 41,83$ | 41,83 | $z_{\text{Доп.уд}} = \frac{z_{\text{доп}}}{M}$ $= \frac{1504000}{55650}$ $= 27,02$ | 27,02 | $OCB_{\text{уд.}} = \frac{OCB}{M}$ $= \frac{698400}{55650}$ $= 12,55$ | 12,55 |
| Итого: | | 129,69 | | 42,52 | | 43,56 |

4.7.3 Расчёт цеховых расходов

По данной статье учитываются следующие затраты:

- 1) амортизация зданий по данным базового предприятия;
- 2) содержание зданий по данным базового предприятия);
- 3) затраты на научно-исследовательские, опытно-конструкторские работы и рационализацию - 2% от общей заработной платы всех работников;
- 4) затраты на охрану труда – 5% от зарплаты всех работающих;
- 5) прочие расходы – 0,5% от зарплаты всех работающих.

$$P_{ц.уд} = \frac{P_{ц}}{M}; \quad (5.26)$$

Результаты расчётов сводятся в таблицу 4.28

Таблица 4.28 - Расчёт расходов установки

| Наименование статей расхода | Сумма, руб., $P_{ц}$ | |
|---------------------------------|----------------------|-----------|
| | базовый | проектный |
| 1. Амортизация зданий | 100000 | 100 000 |
| 2. Содержание зданий | 300 000 | 300 000 |
| 3. Затраты на НИОКР | 144345,14 | 144345,14 |
| 4. Затраты на охрану труда | 360862,85 | 360862,85 |
| 5. Прочие расходы | 36086,28 | 36086,28 |
| Итого | 941293 | 941293 |
| Расходы на одну тонну продукции | 24,19 | 16,91 |

4.7.4 Сравнительный анализ себестоимости одной тонны продукции базового и проектного вариантов

В таблице 4.29 отображен сравнительный анализ себестоимости одной тонны продукции базового и проектного вариантов

Таблица 4.29 - Сравнительный анализ себестоимости

| Наименование статей | Базовый Вариант руб. | Проект- ный Вариант руб. |
|---|----------------------------|-----------------------------------|
| 1 Сырьё и материалы | 42087 | 41787 |
| 2 Топливо и энергия | 3625,2 | 2490 |
| 3 Основная заработная плата | 129,69 | 129,69 |
| 4 Дополнительная заработная плата | 42,52 | 42,52 |
| 5 Отчисления ОСВ для рабочих | 43,56 | 43,56 |
| 6 Цеховые расходы | 24,19 | 16,91 |
| 7 Цеховая себестоимость $C_{ц} = P_{с.уд} + P_{т.уд} + 3_{осн.уд} + 3_{доп.уд} + ОСВ_{уд} + P_{роб.уд} + P_{ц.уд}$ | 45952,16 | 44509,68 |
| 8 Общезаводские расходы $P_{зав} = 3_{осн.уд} \cdot K_{зав}; (K_{зав} = 2,5).$ | 324,25 | 324,25 |
| 9 Производственная себестоимость $C_{пр} = C_{ц} + P_{зав};$ | 46276,41 | 44833,93 |
| 10 Внепроизводственные расходы: $P_{внепр} = C_{пр} \cdot K_{внепр}; (K_{внепр} = 0,05).$ | 2313,82 | 2241,69 |
| 11 Полная себестоимость: $C_n = C_{пр} + P_{внепр};$ | 48590,23 | 47075,63 |

4.8 Расчёт экономической эффективности проекта

Определим ожидаемую прибыль (условно-годовую экономию) от снижения себестоимости продукции по формуле

$$Pr_{ож} = (C_{н.баз} - C_{н.пр}) \cdot M_{пр}, \quad (5.27)$$

где $C_{н.баз}$ – себестоимость одной тонны продукции по базовому варианту; $C_{н.пр}$ – себестоимость одной тонны продукции по проекту.

$$Pr_{ож} = (48590,23 - 47075,63) \cdot 55650 = 1514,6 \cdot 55650 = 84287490 \text{ руб.}$$

Определим налог на прибыль

$$H_{np} = \frac{Pr_{ож} \cdot K_{нал}}{100}, \quad (5.28)$$

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

$$H_{np} = \frac{84287490 \cdot 20}{100} = 16857498 \text{ руб}$$

Чистая ожидаемая прибыль:

$$Pr_{чист} = Pr_{ож} - H_{np}, \quad (5.29)$$

$$Pr_{чист} = 84287490 - 16857498 = 67429992 \text{ руб}$$

После определения чистой прибыли определяем расчётный срок окупаемости капитальных вложений (инвестиций), необходимых для осуществления проектируемого варианта

$$T_{ок} = \frac{K_{н.общ}}{Pr_{чист}} = \frac{K_{общ} + K_{кон}}{Pr_{чист}} = \frac{70176000}{67429992} \approx 1,04 \text{ года} \quad (5.30)$$

4.9 Выводы и заключения

Табл. 4.30 Техничко-экономические показатели дипломного проекта

| Показатели | Значение показателя |
|---------------------------|---------------------|
| Производственная мощность | 55650 т/год |
| Себестоимость продукции | 47075,63 |
| Капитальные вложения | 70176000 руб. |
| Чистая прибыль | 67429992 руб. |
| Срок окупаемости | 1,04 года |

Вывод:

Проводимая модернизация технологии получения триметилкарбинола выгодна, так как окупается (за 1,04года), приносит ежегодную чистую прибыль в размере 67429992 руб. и не увеличивает себестоимости продукции.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данном проекте предложенные и обоснованные изменение схемы подачи исходного раствора ТМК и монтаж трех ситчатых тарелок над основным объемом катализатора в дегидрататорах Р-28/І,ІІ. На ситчатые тарелки загружают дополнительное количество формованного катализатора КУ-2-23ФПП, который находится в жидкой фазе.

Выполнение данных мероприятий позволяет повысить эффективность работы катализатора и снизить прокок паров тяжелых компонентов. Что в свою очередь повышает производительность узла получения изобутилена-ректификата с 40000 т/г до 55650 т/г (на 39%,) и снизить себестоимость за счет снижения затрат исходного сырья и энергозатрат. Данная технология может использоваться на установке изобутилена-ректификата ООО “Тольяттикаучук”, поскольку за счет изменения технологи работы реакторного блока с использованием основного технологического оборудования можно получить значительный экономический эффект.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Александров, А.И. Ректификационные и абсорбционные аппараты [Текст] / А.И. Александров. – М. : Химия, 1978. – 280 с.
2. Амелин, А.Г. Общая химическая технология [Текст] / А.Г. Амелин. – М. : Химия, 1977. – 400 с.
3. Багатуров, С.А. Основы теории и расчёта перегонки и ректификации [Текст] / С.А. Багатуров. – М. : Химия, 1974. – 440 с.
4. Бесков, В.С., Сафронов, В.С. Общая химическая технология и основы промышленной экологии [Текст] : учебник для вузов / В.С. Бесков, В.С. Сафронов. – М. : Химия, 1999. – 472 с. : ил.
5. Бурдун Г.Д. Справочник по международной системе единиц [Текст] / Г.Д. Бурдун. – М. : Стандартов, 1971. – 232 с.
6. Варгафтик, Н.Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей [Текст] / Н.Б. Варгафтик. – 2-е изд., допол. и перераб. – М. : Наука, 1972. – 721 с.
7. Гельперин, Н.И. Основные процессы и аппараты химической технологии. В двух книгах [Текст] / Н. И. Гельперин. – М. : Химия, 1981. – 812 с.
8. Гельперин, Н.И., Пибалк, В.Л., Костянян, А.Е. Структура потоков и эффективность колонных аппаратов химической промышленности [Текст] / Н.И. Гельперин, В.Л. Пибалк, А.Е. Костянян. – М. : Химия, 1977. – 262 с.
9. Доманский, И.В. Машины и аппараты химических производств: Примеры М38 и задачи [Текст] : учеб. пособие для студентов втузов, обучающихся по специальности «Машины и аппараты химических производств» / И.В. Доманский, В.П. Исаков, Г.Н. Островский и др. ; Под общ. ред. В.Н. Соколова – Л. : Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1982. – 384 с.

10. Касаткин, А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии [Текст] / А.Г. Касаткин. – 7-е изд. – М. : Госхимиздат, 1961. – 830 с.
11. Коган, В.Б. Азеотропная и экстрактивная ректификация [Текст] / В.Б. Коган. – М. : Химия, 1971.
12. Мухленов, И.П., Добкина, Е.И., Дерюжкина, В.И. и др. Технология катализаторов [Текст] / И.П. Мухленов, Е.И. Добкина, В.И. Дерюжкина и др. – 2-е изд. – М. – Л. : Химия, 1979.
13. Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков А.А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии [Текст] / К.Ф. Павлов, П.Г. Романков, А.А. Носков. – Л. : Химия, 1987.
14. Петровский, Ю.В., Фастовский, В.Г. Современные эффективные теплообменники [Текст] / Ю.В. Петровский, В.Г. Фастовский. – М. : Госэнергоиздат, 1962. – 256 с.
15. Перри, Дж. Справочник инженера-химика [Текст] / Дж. Перри. – М. : Химия, 1969.
16. Плановский, А.Н., Рамм, В.М., Каган, С.З. Процессы и аппараты химической технологии [Текст] / А.Н. Плановский, В.М. Рамм, С.З. Каган. – 2-е изд., допол. и перераб. – М. : Государственное научно-техническое издательство химической литературы, 1962. – 844 с.
17. Романков, П.Г., Фролов, В.Ф., Флисюк, О.М., Курочкина М.И. Методы расчета процессов и аппаратов химической технологии [Текст] / П.Г. Романков, В.Ф. Фролов, О.М. Флисюк, М.И. Курочкина. – СПб. : Химия, 1993. – 496 с.
18. Стадницкий, Г.В., Родионова, А.И. Экология [Текст] / Г.В. Стадницкий., А.И. Родионова. – М. : Высшая школа, 1988. – 272 с.
19. Туболкин, А.Ф., Тумаркина, Е.С., Румянцева, Е.С. и др. Расчеты химико-технологических процессов [Текст] / А.Ф. Туболкин, Е.С. Тумаркина, Е.С. Румянцева и др. – 2-е изд. – Л. : Химия, 1982.

20. Флореа, О., Смигельский, О. Расчеты по процессам и аппаратам химической технологии О. Флореа, О. Смигельский ; перевод с румынского З.М. Хаимского ; под ред. С.З. Кагана. – М. : Химия, 1971. – 450 с.
21. Краткий справочник по химии [Текст] / Под общ. ред. О.Д. Курилко. – 4-е изд., исправл. и доп. – К. : Наукова Думка, 1974. – 991 с.
22. Новый справочник химика и технолога [Текст] / Под ред. А.В. Москвина. - СПб. : НПО «Профессионал», 2006г. – 1464 с. : ил.
23. Основные процессы и аппараты химической технологии [Текст] : пособие по проектированию / Г.С. Борисов, В.П. Брыков, Ю.И. Дытнерский и др. ; под редакцией Ю.И. Дытнерского. – 2-е изд., перераб. и дополн. – М. : Химия, 1991. – 496 с.
24. Авт. свид. СССР №122746, подано 1958, опубл. "Бюлл. изобр.", 1959, №18.
25. Авт. свид. СССР №343573, подано 13.03.1970 г., опубл. 30.05.1986 г.
26. Разложение трет-бутилового спирта [Текст] : US Patent №4155945, заявл. 24.07.1978 г., опубл. 22.05.1979 г.
27. Разложение трет-бутилового спирта в жидкой фаза [Текст] : US Patent №4165343, заявл. 28.07.1978 г., опубл. 21.08.1979 г.
28. Способ получения изобутена [Текст] : Патент СССР №1132787 / Бернд, Фритц, Бернгард, Гейнрих; опубл. "Бюлл. изобр.", 1984, №48.
29. Способ получения изобутилена разложением трет-бутилового спирта [Текст] : US Patent №4873391 / Kazutaka Inoue, Toshihiro Sato, Masao Kobayashi; заявлен 17 авг 1988; опубл. 10.10.1989 г.
30. Continuous process for dehydration of tertiary butyl alcohol [Текст] : US Patent №3510538 / Rudolph Rosenthal; заявл. 15.12.1967 г., опубл. 05.05.1970 г.
31. Use of reactive distillation in the dehydration of tertiary butyl alcohol [Текст] : US Patent №5811620 / John Frederick Knifton, John Ronald Sanderson, Melvin Ernest Stockton; заявл. 03.07.1996 г., опубл. 22.09.1998 г.

32. Винник М.И., Образцов П.А. Изучение кинетики реакции дегидратации трет-бутанола импульсным газохроматографическим методом [Текст] / М.И. Винник, П.А. Образцов // Кинетика и катализ. – М. : Наука, 1978. – том XIX, вып. 1, с. 239-243.

33. Винник М.И., Образцов П.А. Механизм дегидратации спиртов и гидратации олефинов в растворах кислот [Текст] / М.И. Винник, П.А. Образцов // Успехи химии / Российская академия наук. – 1990. – т. 59, вып. 1, с. 106-131.

34. Руденко А.П., Эсам Эззо. Ускорение реакции дегидратации триметилкарбинола на окиси алюминия при понижении давления [Текст] / А.П. Руденко, Эззо Эссам // Кинетика и катализ. – М. : Наука, 1970. – том XI, вып. 4, с. 1064-1067.

35. Соловей О.М., Покровская А.И., Шункевич А.А., Макатун В.Н. Влияние воды на каталитическую активность волокнистых и гранульных сульфокатионитов в реакциях превращения триметилкарбинола [Текст] / О.М. Соловей, А.И. Покровская, А.А. Шункевич, В.Н. Макатун // Кинетика и катализ. – М. : Наука, 1991. – том XXXII, вып. 1, с. 198-202.

36. Чаплиц Д.Н., Самохвалова К.Д., Тюрязев И.Я. Кинетика дегидратации трет-бутилового спирта на ионообменной смоле КУ-1 [Текст] / Д.Н. Чаплиц, К.Д. Самохвалова, И.Я. Тюрязев // Промышленность СК. – М. : ЦНИИТЭнефтехим, 1965. – №6, с. 14-18.

37. Gates B.C., Rodriguez William. General and Specific Acid Catalysis in Sulfonic Acid Resin [Текст] / B.C. Gates, William Rodriguez // Journal of Catalysis. – 1973, Volume 31, Number 1, s. 27-31.

38. Thornton R., Gates B.C. Catalysis by Matrix-Bound Sulfonic Acid Groups: Olefin and Paraffin Formation from Butyl Alcohols [Текст] / R. Thornton, B.C. Gates // Journal of Catalysis. – 1974, Volume 32, Number 8, s. 275-287.

39. Технологический регламент производства изобутилена ТР-БК-4-35-09.

40. Инструкция о мерах пожарной безопасности И-БК-4-34-12.