

Школа **Инженерная школа новых производственных технологий**
 Направление подготовки **18.03.01. Химическая технология**
 Отделение школы (НОЦ) **Научно-образовательный центр Н.М. Кижнера**

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Расчет и проектирование ректификационной колонны для перегонки водного раствора этилового спирта

УДК 66.023.23:661.722

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Г8Б	Рогозинская Анастасия Сергеевна		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Тихонов В.В.	к.т.н., доцент		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Кашук И.В.	к.т.н., доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Черемискина М.С.	-		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ревва И.Б.	к.т.н., доцент		

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа Инженерная школа новых производственных технологий
Направление подготовки (специальность) 18.03.01. Химическая технология, Машины и аппараты химических производств
Отделение школы (НОЦ) Научно-образовательный центр Н.М. Кижнера

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель ООП

(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврская работ

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
4Г8Б	Рогозинская Анастасия Сергеевна

Тема работы:

Расчет и проектирование ректификационной колонны для перегонки водного раствора этилового спирта	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	18.01.2022, № 18-59/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i>	Расчет ректификационной колонны непрерывного действия для разделения водного раствора этилового спирта, производительность по исходной смеси 5000 л/смену = 803 кг/ч = 0.22 кг/с. Содержание легколетучего компонента в массовых %: в исходной смеси 16%;
---	---

	в дистилляте 80%; в кубе не более 2%. Исходная смесь питания поступает в колонну при температуре под атмосферным давлением. Расчетное давление в колонне примем – 0.1 МПа
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i>	1. Технологический расчет включает в себя: • построение схемы производственного процесса; • составление материального баланса колонны; • расчет оптимального флегмового числа, • числа теоретических и реальных тарелок; • расчет оптимального диаметра и высоты колонны; • расчет высоты светлого слоя жидкости на тарелке; • расчет гидравлического сопротивления тарелок; 2. Конструктивно-механический расчет: • выбор материала для конструктивных элементов колонны; • расчет толщины стенки цилиндрической обечайки, крышки и днища; • расчет штуцеров и фланцев; • расчет тарелок на прогиб; • расчет укрепления отверстий; • поверочный расчет; • расчет опорной обечайки. • расчет тепловой изоляции. 3. Социальная ответственность: • производственная безопасность; • экологическая безопасность; • безопасность при чрезвычайных ситуациях; 4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: • анализ рынка полипропилена в России; • поиск слабых и сильных сторон • предприятия (SWOT-анализ); • расчет основных экономических • показателей производства; • построение графика безубыточности.

Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	Лист 1 – Общий вид ректификационной колонны; Лист 2 – Выносные элементы ректификационной колонны.
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Кашук Ирина Владимировна
Социальная ответственность	Черемискина Мария Сергеевна

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	
---	--

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Тихонов В.В.	к.т.н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Г8Б	Рогозинская Анастасия Сергеевна		

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ ООП

Код компетенции	Наименование компетенции
Универсальные компетенции	
УК-1	Способна осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач
УК-2	Способна определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений
УК-3	Способна осуществлять социальное взаимодействие и реализовывать свою роль в команде
УК-4	Способна воспринимать межкультурное разнообразие общества в социально-историческом, этическом и философском контекстах
УК-5	Способна управлять своим временем, выстраивать и реализовывать траекторию саморазвития на основе принципов образования в течение всей жизни
УК-6	Способна поддерживать должный уровень физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и Профессиональные компетенции ессиональной деятельности
УК-7	Способна создавать и поддерживать безопасные условия жизнедеятельности, в том числе при возникновении чрезвычайных ситуаций
УК-8	Способна проявлять предприимчивость в профессиональной деятельности, в т.ч. в рамках разработки коммерчески перспективного продукта на основе научно-технической идеи
Общепрофессиональные компетенции	
ОПК(У)-1	Способна осуществлять поиск, обработку и анализ информации из различных источников и представлять ее в требуемом формате с использованием информационных, компьютерных и сетевых технологий
ОПК(У)-2	Способна применять соответствующий физико-математический аппарат, методы анализа и моделирования в теоретических и экспериментальных исследованиях при решении профессиональных задач
ОПК(У)-3	Способна вести инженерную деятельность, разрабатывать, оформлять и использовать техническую проектную и эксплуатационную документацию в соответствии с требованиями действующих нормативных документов
ОПК(У)-4	Способна учитывать свойства конструкционных материалов в теплотехнических расчетах с учетом динамических и тепловых нагрузок
ОПК(У)-5	Способна проводить измерения электрических и неэлектрических величин на объектах теплоэнергетики и теплотехники, использовать электронные приборы и устройства в производственной деятельности, осуществлять метрологическое обеспечение

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ
И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО		
4Г8Б	Рогозинская Анастасия Сергеевна		
Школа	Инженерная школа новых производственных технологий	Отделение Школа	Отделение химической инженерии
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	18.03.01 «Химическая технология»

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	<i>Стоимость материальных ресурсов и специального оборудования определены в соответствии с рыночными ценами г. Томска Тарифные ставки исполнителей определены штатным расписанием НИ ТПУ</i>
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	<i>Норма амортизационных отчислений на специальное оборудование</i>
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	<i>Отчисления во внебюджетные фонды 30 %</i>

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Анализ конкурентных технических решений (НИ)</i>	<i>Расчет конкурентоспособности SWOT-анализ</i>
2. <i>Формирование плана и графика разработки и внедрения (НИ)</i>	<i>Структура работ. Определение трудоемкости. Разработка графика проведения исследования</i>
3. <i>Составление бюджета инженерного проекта (НИ)</i>	<i>Расчет бюджетной стоимости НИ</i>
4. <i>Оценка ресурсной, финансовой, бюджетной эффективности (НИ)</i>	<i>Интегральный финансовый показатель. Интегральный показатель ресурсоэффективности. Интегральный показатель эффективности.</i>

Перечень графического материала

1. Оценка конкурентоспособности ИП
2. Матрица SWOT
3. Диаграмма Ганта
4. Бюджет НИ
5. Основные показатели эффективности НИ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
---	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Кашук Ирина Вадимовна	К.Т.Н доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Г8Б	Рогозинская Анастасия Сергеевна		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа		ФИО	
4Г8Б		Рогозинская Анастасия Сергеевна	
Школа	Инженерная школа новых производственных технологий	Отделение (НОЦ)	Н.М. Кижнера
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	18.03.01 «Химическая технология»

Тема ВКР:

Расчет и проектирование ректификационной колонны для перегонки водного раствора этилового спирта

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

Введение

- Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика) и области его применения.
- Описание рабочей зоны (рабочего места) при эксплуатации

Объект исследования: ректификация водного раствора этилового спирта

Область применения: нефтегазовая и химическая промышленность

Рабочая зона: производственное помещение

Размеры помещения: 25*10*10

Количество и наименование оборудования рабочей зоны: общее количество оборудования – 11: емкость с исходной смесью, два центробежных насоса, теплообменник-подогреватель, ректификационная колонна, кипятильник, дефлегматор, холодильник дистилята, емкость для сбора дистилята, холодильник кубовой жидкости, емкость для кубовой жидкости.

Рабочие процессы, связанные с объектом исследования, осуществляющиеся в рабочей зоне: подогрев исходной смеси до температуры кипения, её поступление с помощью насоса в колонну; кипение кубовой жидкости образует пар; орошение верхней части колонны флегмой, получаемой из дефлегматора; отбор конденсата из дефлегматора в виде готового продукта; непрерывный вывод кубовой жидкости для охлаждения в теплообменнике и направления в емкость.

Описание рабочей зоны при эксплуатации: безопасные условия и охрана труда, в соответствии с Федеральными законами, общее и местное освещение, установлены фильтры для воздуха, рабочее место оборудовано согласно нормам и правилам техники безопасности, установлена пожарная сигнализация и запасные выходы в доступе.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности при эксплуатации

- специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;
- организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.

- Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.02.2001 № 197-ФЗ (ред. от 27.12.2018)
- ГОСТ 12.2.033-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ стоя. Общие эргономические требования.
- ГОСТ 12.2.049-80 ССБТ. Оборудование производственное. Общие эргономические требования.

2. Производственная безопасность при эксплуатации:

- Анализ выявленных вредных и опасных производственных факторов

Вредные производственные факторы: воздействие шумов и вибраций на производстве, воздействие токсичных веществ, плохая освещённость рабочего места.

	Опасные производственные факторы: <u>отправление парами этанола, оборудование и трубопроводы, работающие под давлением, получение термических ожогов, поражение электрическим током, падение с высоты.</u> Требуемые средства коллективной и индивидуальной защиты от выявленных факторов: <u>индивидуальная защита - специальная рабочая одежда и обувь, перчатки, каски, респираторы, противошумные наушники и беруши, защитные очки, предохранительные пояса; коллективная защита – источники света, осветительные приборы, светофильтры, вентиляция для очистки воздуха, оградительные устройства и ограждения, автоматический контроль и сигнализация, изолирующие покрытия, знаки безопасности, защитные сетки</u>
3. Экологическая безопасность при разработке проектного решения/при эксплуатации	<i>Воздействие на селитебную зону: <u>выбросы химического производства</u></i> <i>Воздействие на литосферу: <u>промышленные отходы</u></i> <i>Воздействие на гидросферу: <u>сбросы: химическое загрязнение производством и транспортом</u></i> <i>Воздействие на атмосферу: <u>организованные и неорганизованные выбросы</u></i>
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях при разработке проектного решения/при эксплуатации	Возможные ЧС: <u>природного характера (землетрясения, лесные пожары, оползни, снежные заносы и обледенения), производственная авария техногенного характера, возникновение пожара или взрыва.</u> Наиболее типичная ЧС: <u>производственная авария техногенного характера (разрыв трубопровода), пожар</u>
Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Черемискина Мария Сергеевна	-		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Г8Б	Рогозинская Анастасия Сергеевна		

Реферат

В выпускной квалификационной работе рассчитана и спроектирована ректификационная колонная разделения водно-этилового раствора непрерывного действия с ситчатыми тарелками.

Проведен конструктивно- механический и технологический расчет проектируемого аппарата. Определены вредные и опасные производственные факторы и предложены способы снижения негативного воздействия на человека.

Опираясь на расчет, построены чертежи общего вида аппарата и дополнительные для конструктивных единиц.

ВКР содержит расчетно-пояснительную записку из 92 страниц, 10 рисунков, 24 таблицы и 37 источника.

Abstract

In the final qualifying work, a distillation column for the separation of a water-ethyl solution of continuous action with sieve plates was designed and designed.

Structural-mechanical and technological calculation of the designed apparatus was carried out. Harmful and dangerous production factors are identified and ways to reduce the negative impact on humans are proposed.

Based on the calculation, drawings of the general view of the apparatus and additional ones for structural units were built.

The WRC contains a settlement and explanatory note of 92 pages, 10 figures, 24 tables and 37 sources.

Оглавление

Обзор литературы. Основные характеристики процесса ректификации	12
1. Материальный баланс	16
1.1 Материальный баланс ректификационной колонны	16
1.2 Пересчет составов фаз из массовых в мольные.....	17
1.3 Определение рабочего флегмового числа.....	19
1.4 Массовые расходы жидкости и пара в различных частях колонны	23
2. Определение скорости пара и диаметра колонны	26
2.1 Расчет плотности компонентов	26
2.2 Скорость пара и диаметр колонны	27
3. Определение высоты колонны.....	30
3.1 Расчет коэффициентов массопередачи.....	30
3.2 Расчет коэффициента диффузии	31
3.3 Расчет высоты колонны	33
3.4 Расчет для построение кинетической кривой.	38
4. Конструктивный расчет.....	43
4.1 Расчет гидравлического сопротивления тарелок колонны	44
5. Механический расчет.....	47
5.1 Расчет толщины стенки обечайки.....	47
5.2 Расчет опоры аппарата	47
6. Расчет тепловой изоляции	49
7. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение..	50
7.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	51
7.1.1 Анализ конкурентных технических решений.....	51
7.1.2 SWOT-анализ	53
7.2 Планирование научно-исследовательских работ	57
7.2.1 Структура работ в рамках научного исследования.....	57
7.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ и разработка графика проведения	58
7.3 Бюджет научно-технического исследования	61
7.3.1 Расчет материальных затрат научно-технического исследования	62
7.3.2 Расчет амортизации специального оборудования.....	63
7.3.3 Основная заработная плата исполнителей темы	64
7.3.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления).....	67
7.3.5 Накладные расходы	67
7.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	69
Выводы по разделу:	73
8. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	75
8.1 Производственная безопасность	76
8.2 Выявление вредных и опасных факторов при эксплуатации ректификационной колонны	77
8.3 Экологическая безопасность	81
8.4 Безопасность при чрезвычайных ситуациях	81
Выводы по разделу	84
Заключение	85
Список использованной литературы	86
Приложение	90

Введение

В современном мире стали уделять все больше внимания использованию отработавших продуктов любой промышленности. Что может натолкнуть на мысль увеличения ресурсоэффективности ООО «Биолит» г.Томска, компании, которая производит создает продукты здоровья и красоты на основе растительного и органо-минерального сырья. От производственного процесса остаются отработавшие продукты, одним из которых является водно-спиртовой раствор этанола. Для его повторного использования можно использовать ректификацию, т.к. это самый распространенный способ разделения жидких смесей на чистые компоненты.

Ректификация является наиболее часто используемой технологией разделения жидкостей в химической промышленности. Усовершенствование оборудования и процессов дистилляции важно из-за их распространенности и огромных энергетических потребностей. В последнее время систематический синтез разделительных последовательностей получил значительное развитие.

Ректификационная колонна представляет собой систему с несколькими входами и выходами, особенно используемую в нефтехимической промышленности. Это многопараметрический контроль, используемый для разделения различных компонентов смеси. В результате дистилляции происходит почти полное разделение, что увеличивает концентрацию выбранных компонентов в смеси. В процессе используются различия в относительной фугитивности компонентов смеси. В промышленности является единичной операцией универсального назначения, это процесс физического разделения.

Принцип действия ректификационной колонны для лабораторий и промышленных производств одинаков.

Цель расчета ректификационных колонн — определение технологических характеристик аппарата конструктивно-механический и гидравлический расчет.

Обзор литературы. Основные характеристики процесса ректификации

Ректификационная колонна для перегонки бинарных смесей представляет собой вертикальную обечайку, либо несколько царг, внутри которых находятся тарелки. Тарелки ректификационной колонны – это горизонтальная перегородка, на которую сверху стекает разделяемая смесь, то есть слой орошающий колонну, сквозь который поднимаются пары. Для увеличения контакта разделяемой смеси используют насадки, они в основном делятся на два типа: правильно уложенная и засыпаемая в навал.

Существуют две основные категории дистилляционных колонн: периодического и непрерывного действия.

Периодическая установка это та, в которой есть один резервуар (называемый котлом, т.е. резервуар с источником тепла), который будет заполнен конечным количеством материала для перегонки, а затем закрыт. Чем лучше жидкость будет нагреваться, тем больше летучих продуктов будет собрано в верхней части колонны, а материал, остающийся в котле, содержит меньше более летучих продуктов. Периодическая дистилляция — это то, что инженеры-химики описывают как нестационарный процесс. Поскольку концентрация более летучего продукта в котле постоянно падает. Чтобы поддерживать постоянную чистоту продукта, необходимо изменять параметры во время цикла (увеличение флегмового числа), иначе чистота продукта будет продолжать падать.

Ректификационная колонна представляет собой цилиндрическую трубу, изолированную для предотвращения потерь тепла, которая в промышленности в основном состоит из стали или высоколегированных нержавеющей сталей, а в лабораториях в основном используется стекло. Из-за ограниченной термостойкости пластик используется только в редких исключениях. Высота корпуса колонны в основном определяется требуемым качеством разделения и потоком пара; диаметр через массовый расход разделяемой смеси. Из-за

обычно большой высоты столбцы делятся на сегменты, называемые «секциями».

Для испарения смеси имеется испаритель, также называемый отстойным котлом, на нижнем конце колонны (в отстойнике). Этот теплообменник может быть сконструирован по-разному в зависимости от свойств смеси и других граничных условий: в виде пучка труб, встроенного непосредственно в поддон, двойной рубашки, внешнего испарителя с естественной циркуляцией (как показано на диаграммах ниже) или испарителя с принудительной циркуляцией. В качестве рабочего тела могут быть использованы практически все мыслимые источники тепла. В большинстве случаев это будет пар, но с тем же успехом это может быть горячая вода, дым, электричество или микроволновая печь.

Конденсатор необходим для сжижения паров смеси в верхней части колонны. Как и испаритель, этот теплообменник также может быть встроен непосредственно в головку или выполнен как внешнее устройство рядом с колонной. Он также может работать с большим количеством возможных рабочих сред, таких как вода, охлаждающий рассол, хладагент или воздух.

Для интенсификации тепло- и массообмена между газовой и жидкой фазами корпус колонны снабжен внутренними устройствами, которые выбираются исходя из свойств смеси (например, сильное пенообразование) и режима работы колонны (например, вакуум). Поскольку они оказывают решающее влияние на гидравлику и, таким образом, непосредственно на поведение колонны при разделении, они также используются для характеристики типа колонны.

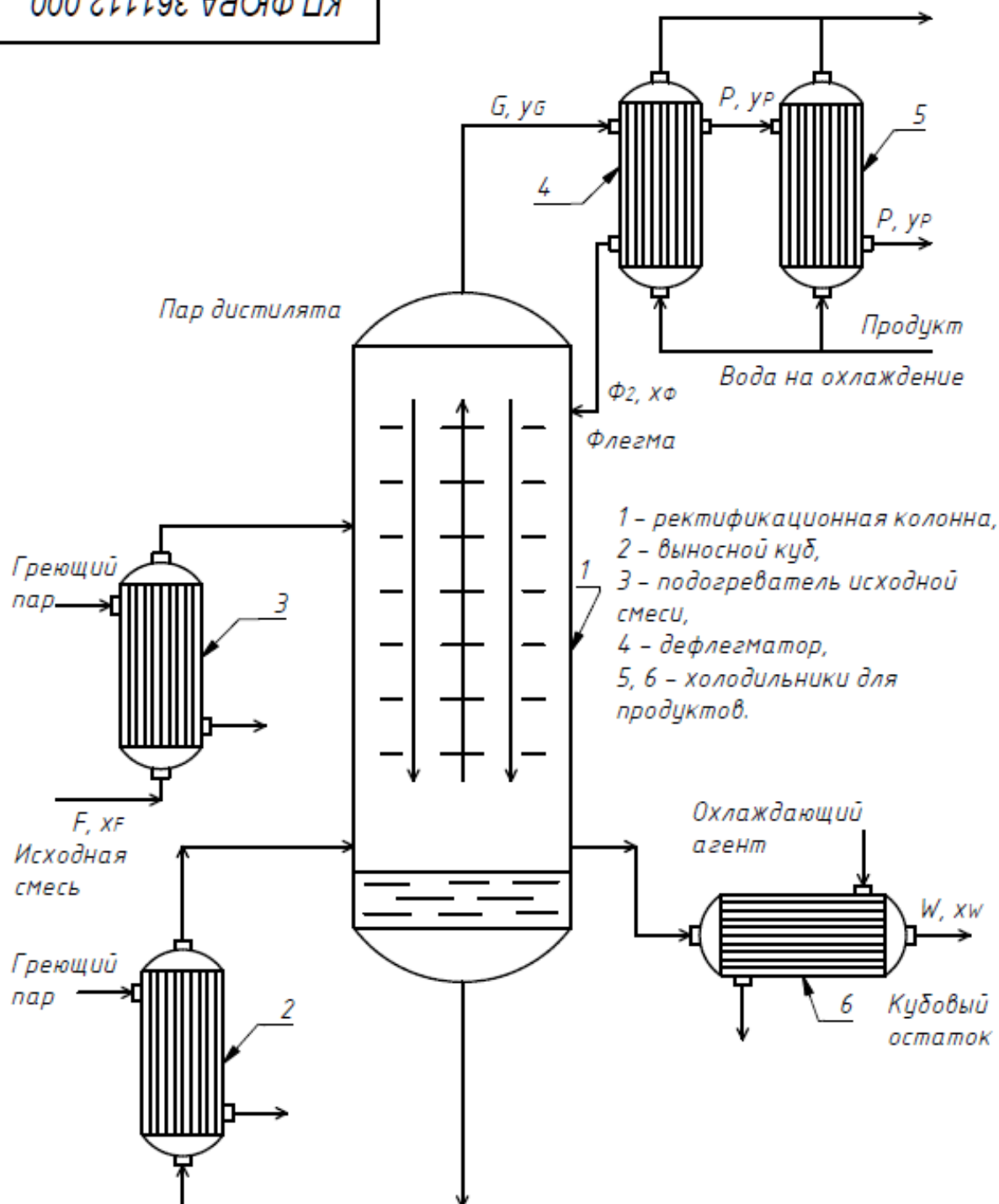
Системы непрерывной дистилляции могут работать 24 часа в сутки, 7 дней в неделю, для пополнения бака бойлера. Жидкость, называемая «подачей», которая представляет собой смесь двух или более жидкостей, подлежащих разделению (например, спирта и воды), постоянно перекачивается в дистилляционную колонну. Более летучий спирт будет собираться в верхней части колонны, а вода с более высокой температурой

кипения попадет в нижнюю часть колонны. Непрерывная перегонка способна обеспечить невероятно высокую производительность, промышленные заводы по производству этанола могут производить миллионы литров этанола в день, используя этот метод, без остановки. Крупные производители спиртных напитков, таких как водка Absolut и Grey Goose, используют непрерывную дистилляцию.

При периодической перегонке на кипячение смеси расходуется много тепла. Системы непрерывной дистиляции гораздо более энергоэффективны. Отработанную кипящую воду из нижней части дистиляционной колонны можно прокачивать с помощью теплообменника для восстановления большей части энергии. Простой теплообменник представляет собой трубу внутри трубы. Одна жидкость течет по внутренней трубе, а другая – по внешней. Более горячая жидкость нагревает другую жидкость. Следовательно, большая часть энергии, используемой для кипячения воды, может быть восстановлена за счет предварительного нагрева сырья.

Системы непрерывной дистиляции также получают бесплатную энергию от конденсатора. Когда пары спирта поднимаются по дистиляционной колонне, они подаются в другой теплообменник, на этот раз называемый конденсатором, который служит той же цели, что и теплообменник, описанный ранее. Холодная жидкость, обычно вода, подается по внешней трубе конденсатора, а пары спирта проходят по внутренней трубе. Это конденсирует пары спирта, превращая его в спиртовую жидкость. Вместо того, чтобы тратить воду или запускать систему водяного охлаждения, колонны непрерывной дистиляции пропускают спирт через внешнюю трубу конденсатора в качестве охлаждающей жидкости. Это служит нескольким целям - он конденсирует пары спирта, в основном бесплатно с точки зрения использования энергии. Он предварительно нагревает питающую жидкость до более высокой температуры, поэтому для его кипячения требуется еще меньше энергии.

КП ФЮРА 361112.000



КП ФЮРА 361112.000

Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата
Разраб.		Рогозинская А.С.		11.06.22
Пров.		Тихонов В.В.		
Т. контр.				
Нач.отд.				
Н. контр.				
Утв.				

Схема ректификационной установки
непрерывного действия

Лит.	Масса	Масштаб
у		
Лист 1	Листов	1

ТПУ ИШНПТ
Группа 4Г8Б

Копировал

Формат А4

1. Материальный баланс

1.1 Материальный баланс ректификационной колонны

Ректификационная колонна рассчитывается для заданных составов исходной смеси и рабочего давления в колонне. Расчет рекомендуется провести по методике предложенной в [1].

Общее уравнение материального баланса:

$$F = P + W \quad (1.1)$$

где F - массовый расход по исходной смеси, кг/с; P - массовый расход по дистилляту, кг/с; W - массовый расход по кубовому остатку, кг/с.

Уравнение материального баланса по низкокипящему компоненту:

$$F x_f = P x_p + W x_w \quad (1.2)$$

где x_f -массовая доля легколетучего компонента в исходной смеси % масс.; x_p -массовая доля легколетучего компонента в дистилляте, % масс.; x_w –массовая доля легколетучего компонента в кубе, % масс.

Качество спиртов зависит от разделительной способности колонны. Эту способность, или коэффициент возврата к выделенному спирту, принято называть флегмовым числом. Пары спирта поднимаются из колонны в дефлегматор, конденсируются и полностью превращаются в дистиллят. Часть фракций отводят в холодильник, а часть возвращают обратно в виде флегмы. Для вычисления опытного флегмового числа необходимо сначала найти коэффициент избытка флегмы [2]:

$$\beta = \frac{R}{R_{min}} \quad (1.3)$$

где R – флегмовое число; R_{min} – минимальное флегмовое число:

$$R_{min} = \frac{x_p - y_F^*}{y_F^* - x_F} \quad (1.4)$$

где x_F – мольная доля легколетучего компонента в исходной смеси, кмоль/кмоль смеси; x_p – мольная доля легколетучего компонента в дистилляте, кмоль/кмоль; y_F^* – концентрация легколетучего компонента в паре, находящегося в равновесии с исходной смесью, кмоль/кмоль смеси.

Для расчета флегмового числа пересчитывается состав фаз в мольные из массовых.

Выразим массовый расход в кг/с:

$$F = 5000 \frac{\text{л}}{\text{смену}} = 833.3 \frac{\text{л}}{\text{час}} = 803 \frac{\text{кг}}{\text{час}} = 0.22 \frac{\text{кг}}{\text{с}}$$

Объединяем уравнения (1.1) и (1.2) в систему уравнений:

$$\begin{cases} F = P + W \\ Fx_f = Px_p + Wx_w \end{cases}$$

Откуда выразим расход дистиллята равен 0.04 кг/с, расход кубового остатка 0.18 кг/с.

1.2 Пересчет составов фаз из массовых в мольные

По формуле пересчитываются доли:

$$x = \frac{\bar{x}/M_{нк}}{\frac{\bar{x}}{M_{нк}} + \frac{1 - \bar{x}}{M_{вк}}} \quad (1.5)$$

где $M_{\text{нк}}$ и $M_{\text{вк}}$ – молярные массы низкокипящего и высококипящего компонента соответственно, г/моль; $\bar{x}$ – мольная доля низкокипящего компонента соответственно.

Мольная масса воды равна $M_{\text{вк}} = 18 \frac{\text{кг}}{\text{кмоль}}$.

Мольная масса этанола равна $M_{\text{нк}} = 46.1 \frac{\text{кг}}{\text{кмоль}}$.

Мольные концентрации: в исходной смеси $x_f = 16\%$

в дистилляте $x_p = 80\%$

в кубовом остатке $x_w = 2\%$

Перевод массовых долей в мольные по формуле (1.5):

Исходная смесь:

$$x_F = \frac{\bar{x}_F / M_{\text{нк}}}{\frac{\bar{x}_F}{M_{\text{нк}}} + \frac{1 - \bar{x}_F}{M_{\text{вк}}}} = \frac{\frac{0.16}{46.1}}{\frac{0.16}{46.1} + \frac{1 - 0.16}{46.1}} = 0.069 \frac{\text{кмоль}}{\text{кмоль смеси}}$$

Дистиллят:

$$x_P = \frac{\bar{x}_P / M_{\text{нк}}}{\frac{\bar{x}_P}{M_{\text{нк}}} + \frac{1 - \bar{x}_P}{M_{\text{вк}}}} = \frac{\frac{0.80}{46.1}}{\frac{0.80}{46.1} + \frac{1 - 0.80}{46.1}} = 0.61 \frac{\text{кмоль}}{\text{кмоль смеси}}$$

Кубовой остаток:

$$x_W = \frac{\bar{x}_W / M_{\text{нк}}}{\frac{\bar{x}_W}{M_{\text{нк}}} + \frac{1 - \bar{x}_W}{M_{\text{вк}}}} = \frac{\frac{0.02}{46.1}}{\frac{0.02}{46.1} + \frac{1 - 0.02}{46.1}} = 0.008 \frac{\text{кмоль}}{\text{кмоль смеси}}$$

Расходный коэффициент:

$$f = \frac{F}{P} = \frac{0.22}{0.04} = 5.5$$

1.3 Определение рабочего флегмового числа

Для построения воспользуемся справочными данными x-y и t-x-y диаграммы, взятые из источника [3], заданной бинарной смеси (Таблица 1 и Таблица 2), дополнительно строится линия равновесия (Рисунок 1 и Рисунок 2) [4].

Таблица 1 - Данные для построения диаграммы x-y

t, °C	X, мол%	Y, мол%	t, °C	X, мол%	Y, мол%
100,00	0	0	81,50	0,554	0,781
95,50	0,047	0,343	80,70	0,626	0,801
89,00	0,165	0,619	79,80	0,725	0,830
86,70	0,214	0,665	79,70	0,734	0,832
85,30	0,265	0,694	79,30	0,774	0,847
84,10	0,337	0,726	78,74	0,842	0,878
82,70	0,438	0,753	78,41	0,883	0,901
82,10	0,499	0,763	78,15	0,955	0,955

Таблица 2 - Данные для построения диаграммы t-x-y

t, °C	100,0	90,5	86,5	83,2	81,7	80,8	80,0	79,4	79,0	78,6	78,4	78,4
X, мол%	0	5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Y, мол%	0	33,2	44,2	53,1	57,6	61,4	65,4	69,9	75,3	81,8	89,8	100

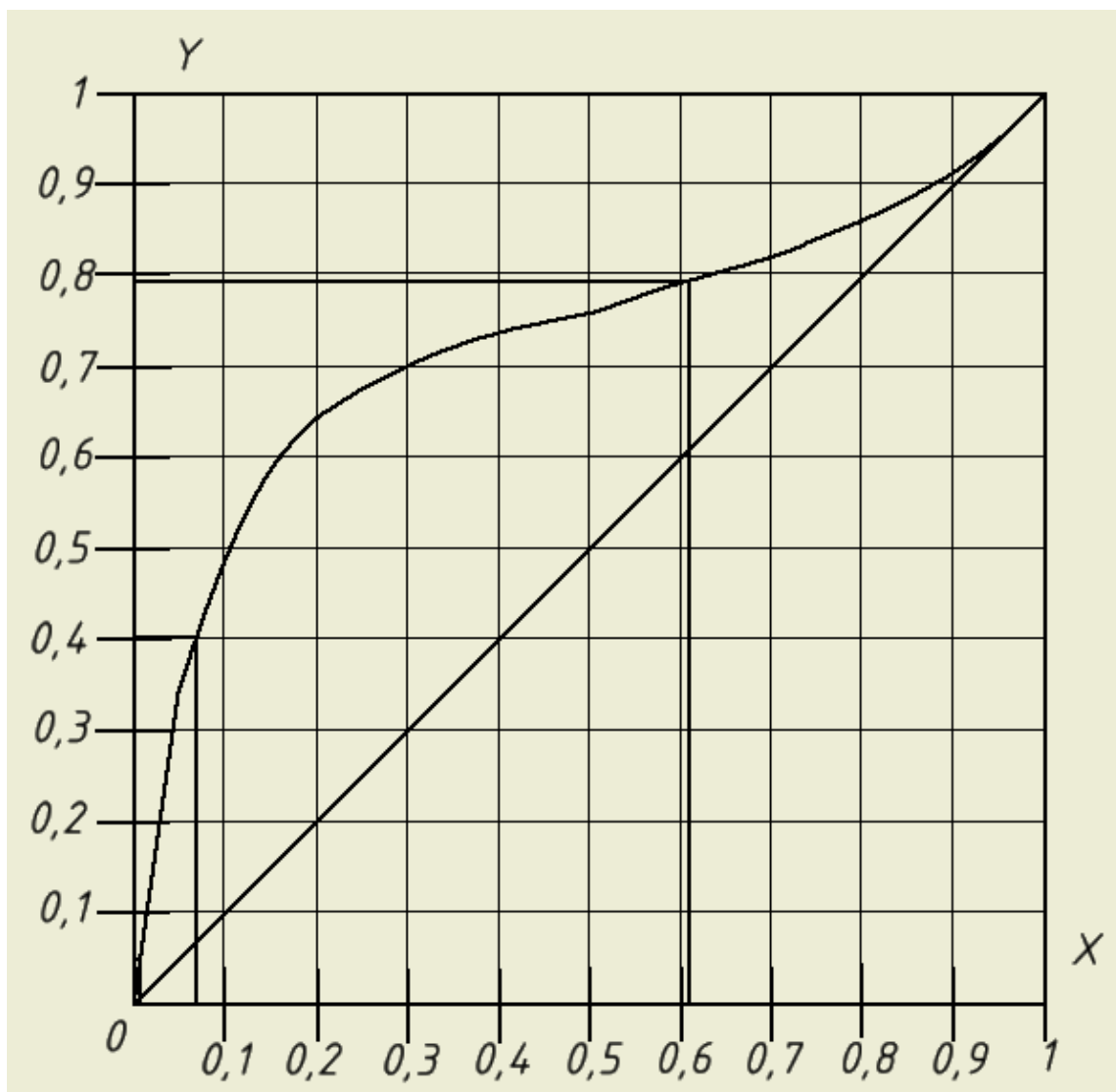


Рисунок 1 - Диаграмма x-y

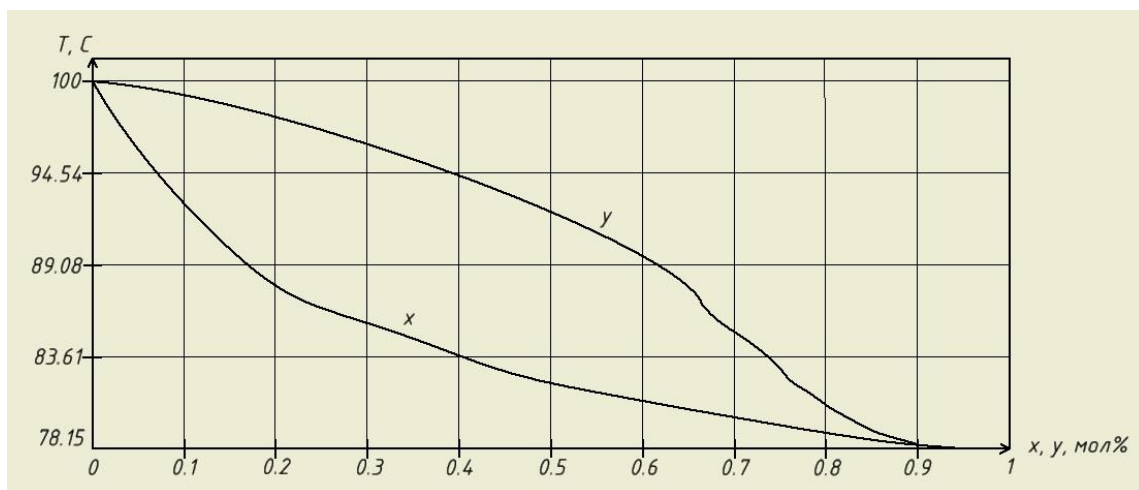


Рисунок 2 - Диаграмма t-x-y

Определение минимального флегмового числа по формуле (1.4):

$$R_{min} = \frac{x_P - y_F^*}{y_F^* - x_F} = \frac{0.61 - 0.41}{0.41 - 0.069} = 0.586$$

На рисунке 1 строятся рабочие линии укрепляющей и исчерпывающей частей колонны для каждого вычисленного значения R [2]:

для укрепляющей части колонны:

$$y = \frac{R}{R+1} * x + \frac{x_P}{R+1} \quad (1.8)$$

для исчерпывающей части колонны:

$$y = \frac{R+f}{R+1} * x + \frac{f-1}{R+1} * x_W \quad (1.9)$$

Одним из методов расчет флегмового числа является нахождение, через минимальное произведение $N*(R+1)$, которое пропорционально объему ректификационной колонны (где N – число ступеней изменения концентрации или количество теоретических тарелок; $R+1$ – расход паров) [1]. Для данного расчета необходимо, используя коэффициент избытка флегмы, который берется в пределах от 1,2 до 2,1, вычислить рабочие флегмовые числа R_n по формуле:

$$R_n = R_{min} * \beta \quad (1.6)$$

Число B рассчитывается по формуле:

$$B = \frac{x_P}{R_n + 1} \quad (1.7)$$

На диаграмме x - y откладывается значение B , затем строится рабочие линии исчерпывающей и укрепляющей части колонны и наносятся линии, обозначающие количество теоретических тарелок. Результаты расчетов занесутся в таблицу 3.

Таблица 3 - Определение оптимального рабочего флегмового числа

№ п/п	β	R	B	N	$N(R + 1)$
1	1.1	0.703	0.371	5	8.222
2	1.2	0.644	0.358	5	8.515
3	1.35	0.791	0.340	5	8.955
4	1.5	0.879	0.324	5	9.394
5	1.6	0.937	0.315	4	7.750
6	1.65	0.967	0.310	4	7.867
7	1.7	0.996	0.305	4	7.984
8	1.9	1.113	0.289	4	8.453

Пример расчета строки из таблицы 3 при $\beta = 1.7$:

Рабочее флегмовое число по формуле (1.6):

$$R_5 = 0.586 * 1.7 = 0.996$$

Рассчитываем число B по формуле (1.7):

$$B_5 = \frac{0.61}{0.996 + 1} = 0.305$$

По полученным данным строится график зависимости $N(R+1) = f(R)$.

График изображен на рисунке 3, его минимум соответствует $R_{\text{раб}} = 0.938$.

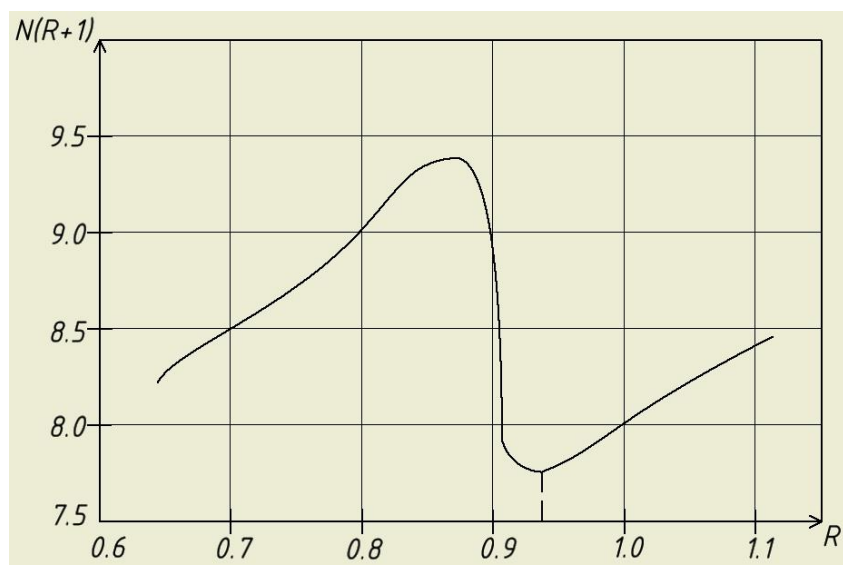


Рисунок 3 - Графическое определение рабочего флегмового числа

1.4 Массовые расходы жидкости и пара в различных частях колонны

Средние молярные массы жидкости частях колонны вычисляются по формуле [1]:

$$M_{\text{в}} = M_{\text{нк}} * X_{\text{ср.в}} + M_{\text{вк}}(1 - X_{\text{ср.в}}) \quad (1.10)$$

$$M_{\text{н}} = M_{\text{нк}} * X_{\text{ср.н}} + M_{\text{вк}}(1 - X_{\text{ср.н}}) \quad (1.11)$$

где $X_{\text{ср.н}}$ и $X_{\text{ср.в}}$ – среднемольный состав жидкости в верхней и нижней частях колонны:

$$X_{\text{ср.н}} = \frac{x_P + x_F}{2} = \frac{0.61 + 0.069}{2} = 0.339 \frac{\text{кмоль}}{\text{кмоль смеси}}$$

$$X_{\text{ср.в}} = \frac{x_F + x_W}{2} = \frac{0.069 + 0.008}{2} = 0.039 \frac{\text{кмоль}}{\text{кмоль смеси}}$$

Тогда молярная масса жидкости в верхней части проводится расчет по формуле (1.10):

$$M_{\text{в}} = 46.1 * 0.339 + 18 * (1 - 0.339) = 27.54 \frac{\text{кг}}{\text{кмоль}}$$

В нижней части колонны по формуле (1.11):

$$M_{\text{н}} = 46.1 * 0.039 + 18 * (1 - 0.039) = 19.08 \frac{\text{кг}}{\text{кмоль}}$$

Средние массовые расходы по жидкости для верхней и нижней частей колонны определяются соотношением [2]:

$$L_{\text{в}} = P * R * \frac{M_{\text{в}}}{M_P} \quad (1.12)$$

$$L_{\text{н}} = \frac{PRM_{\text{в}}}{M_P} + \frac{FM_{\text{н}}}{M_F} \quad (1.13)$$

где M_P и M_F – молярные массы дистиллята и исходной смеси, кг/кмоль.

$$M_P = M_{HK} * x_P + M_{BK}(1 - x_P) \quad (1.14)$$

$$M_F = M_{HK} * x_F + M_{BK}(1 - x_F) \quad (1.15)$$

По формулам (1.14) и (1.15) получим:

$$M_P = 46.1 * 0.61 + 18 * (1 - 0.61) = 35.13 \frac{\text{кг}}{\text{кмоль}}$$

$$M_F = 46.1 * 0.069 + 18 * (1 - 0.069) = 19.95 \frac{\text{кг}}{\text{кмоль}}$$

Полученные величины подставляются в формулы (1.12) и (1.13):

$$L_B = 0.04 * 0.938 * \frac{27.54}{35.13} = 0.22 \frac{\text{кг}}{\text{с}}$$

$$L_H = \frac{0.04 * 0.938 * 27.54}{35.13} + \frac{0.22 * 19.08}{19.95} = 0.24 \frac{\text{кг}}{\text{с}}$$

Массовые потоки пара в верхней и нижней частях колонны вычисляются по формулам [5]:

$$G_B = P(R + 1) \frac{\dot{M}_B}{M_P} \quad (1.16)$$

$$G_H = P(R + 1) \frac{\dot{M}_H}{M_P} \quad (1.17)$$

где $\dot{M}_B$ и $\dot{M}_H$ – средние мольные массы паров в верхней и нижней частях колонны.

$$\dot{M}_B = M_{HK} * y_{\text{ср.в}} + M_{BK}(1 - y_{\text{ср.в}}) \quad (1.18)$$

$$\dot{M}_H = M_{HK} * y_{\text{ср.н}} + M_{BK}(1 - y_{\text{ср.н}}) \quad (1.19)$$

где $y_{\text{ср.в}}$ и $y_{\text{ср.н}}$ – содержание спирта в паре исходной смеси в верхней и нижней частях.

$$y_{\text{ср.в}} = \frac{y_P + y_F}{2} = \frac{0.80 + 0.41}{2} = 0.605 \frac{\text{кмоль}}{\text{кмоль смеси}}$$

$$y_{\text{ср.н}} = \frac{y_W + y_F}{2} = \frac{0.05 + 0.41}{2} = 0.230 \frac{\text{кмоль}}{\text{кмоль смеси}}$$

Тогда по (1.18) и (1.19) получим:

$$\dot{M}_B = 46.1 * 0.605 + 18(1 - 0.605) = 35 \frac{\text{кг}}{\text{кмоль}}$$

$$\dot{M}_H = 46.1 * 0.230 + 18(1 - 0.203) = 24.46 \frac{\text{кг}}{\text{кмоль}}$$

Подставим численные значения в формулы (1.16) и (1.17):

$$G_B = 0.04 * (0.938 + 1) * \frac{35}{35.13} = 0.077 \frac{\text{кг}}{\text{с}}$$

$$G_H = 0.04 * (0.938 + 1) * \frac{24.46}{35.13} = 0.054 \frac{\text{кг}}{\text{с}}$$

Средний массовый поток равен:

$$G = \frac{G_B + G_H}{2} = 0.066 \frac{\text{кг}}{\text{с}}$$

2. Определение скорости пара и диаметра колонны

2.1 Расчет плотности компонентов

Начать расчет стоит с определения плотности пара, которые рассчитываются по формулам [5]:

$$\rho_{yb} = \frac{\dot{M}_B * T_0}{V_m * (T_0 + t_b)} \quad (2.1)$$

$$\rho_{yn} = \frac{\dot{M}_H * T_0}{V_m * (T_0 + t_n)} \quad (2.2)$$

где t_b и t_n – средние температуры паров вверху и внизу колонны соответственно, определяются по диаграмме t-x-y; V_m – молярный объем, равен для всех газов при н.у 22.4 л/моль, тогда по формулам (2.1) и (2.2):

$$t_b = 84 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$t_n = 90 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\rho_{yb} = \frac{35 * 273}{22.4 * (273 + 84)} = 1.195 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

$$\rho_{yn} = \frac{24.46 * 273}{22.4 * (273 + 90)} = 0.821 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

Средняя плотность паров:

$$\rho_{y.cp} = \frac{\rho_{yb} + \rho_{yn}}{2} = \frac{1.195 + 0.821}{2} = 1.008$$

Плотность жидкости определяется по формулам:

$$\rho_{xb} = \left(\frac{X_{\text{ср.в}}}{\rho_{\text{э}}} + \frac{1 - X_{\text{ср.в}}}{\rho_{\text{в}}} \right)^{-1} \quad (2.3)$$

$$\rho_{xn} = \left(\frac{X_{\text{ср.н}}}{\rho_{\text{э}}} + \frac{1 - X_{\text{ср.н}}}{\rho_{\text{в}}} \right)^{-1} \quad (2.4)$$

где $\rho_{\text{э}}$ – плотность жидкого этанола равная $790 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$; $\rho_{\text{в}}$ – плотность воды равная $1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$. По формулам (2.3) и (2.4) получаем:

$$\rho_{xb} = \left(\frac{0.339}{790} + \frac{1 - 0.339}{1000} \right)^{-1} = 917.24 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

$$\rho_{xn} = \left(\frac{0.039}{790} + \frac{1 - 0.039}{1000} \right)^{-1} = 989.85 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

2.2 Скорость пара и диаметр колонны

Предельно допустимая скорость для ситчатых тарелок ТС рассчитывается по формуле [2]:

$$\omega = 0.05 \sqrt{\frac{\rho_{xb}}{\rho_{yb}}} \quad (2.5)$$

Ориентировочный диаметр колонны определяют из уравнения расхода [2]:

$$d = \sqrt{\frac{4G}{\pi \omega_{\text{ср}} \rho_{\text{у.ср}}}} \quad (2.6)$$

Для корректности результата по формуле (2.5) проводится расчет скорости пара в верхней и нижней частях колонны и усредняется:

$$\omega_{\text{в}} = 0.05 \sqrt{\frac{917.24}{1.195}} = 1.385 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$\omega_B = 0.05 \sqrt{\frac{989.853}{0.821}} = 1.736 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$\omega_{\text{ср}} = \frac{\omega_B + \omega_H}{2} = 1.561 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Тогда ориентировочный диаметр по формуле (2.6) равен:

$$d_{\text{ор}} = \sqrt{\frac{4 * 0.066}{3.14 * 1.561 * 1.008}} = 0.23 \text{ м}$$

Выберем стандартный диаметр колонны $d=300$ мм. Тогда действительная рабочая скорость пара:

$$\omega_{\text{раб}} = \omega_{\text{ср}} \left(\frac{d_{\text{ор}}}{d} \right)^2$$

$$\omega_{\text{раб}} = \omega_{\text{ср}} \left(\frac{d_{\text{ор}}}{d} \right)^2 = 1.561 * \left(\frac{0.23}{0.3} \right)^2 = 0.921 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

В соответствии с рекомендациями выбираются следующие конструктивные размеры тип ТС ОСТ 26-805-73 [7]:

Таблица 4 - Технические характеристики ситчатых талелок ТС

Диаметр отверстий в тарелках	$d_0 = 0.003 \text{ м}$
Шаг между отверстиями	$t = 0.010 \text{ м}$
Свободное сечение колонны	$F_k = 0.126 \text{ м}^2$
Высота переливного порога	$F_{\text{отс}} = 0.0381$
Периметр слива	$L_c = 0.302 \text{ м}$
Сечение перелива	$F_{\text{сли}} = 0.004 \text{ м}^2$
Рабочее сечение тарелки	$F_a = 0.051 \text{ м}^2$
Расстояние между тарелками	$H_t = 0.200 \text{ м}$
Масса	$m = 8.2 \text{ кг}$
Расстояние между перегородками	$L = 0.215 \text{ м}$
Высота перегородки	$h_{\text{пер}} = 0.030 \text{ м}$

Скорость пара в рабочем сечении:

$$\omega_{\text{сеч}} = \frac{\omega_{\text{раб}} * F_k * d^2}{F_a} = 0.347 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

3. Определение высоты колонны

3.1 Расчет коэффициентов массопередачи

Расчет вязкости паров частей колонны проводится по формулам [5]:

$$\mu_{yb} = \frac{M'_b}{\frac{y_{ср.в} M_{нк}}{\mu_{в.э}} + \frac{(1 - y_{ср.в}) M_{вк}}{\mu_{в.в}}} \quad (3.1)$$

$$\mu_{yn} = \frac{M'_n}{\frac{y_n M_{нк}}{\mu_{н.э}} + \frac{(1 - y_n) M_{вк}}{\mu_{н.в}}} \quad (3.2)$$

где $\mu_{в.э}$ и $\mu_{в.в}$ – вязкость этанола и воды в верхней части колонны соответственно; $\mu_{н.э}$ и $\mu_{н.в}$ – вязкость этанола и воды в нижней части колонны соответственно.

Запишем справочные данные [3]:

$$\mu_{в.э} = 0.432 * 10^{-3} \text{ Па * с}; \mu_{в.в} = 0.359 * 10^{-3} \text{ Па * с} \text{ при } t_b = 84 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\mu_{н.э} = 0.345 * 10^{-3} \text{ Па * с}; \mu_{н.в} = 0.295 * 10^{-3} \text{ Па * с} \text{ при } t_n = 90 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Поверхностное натяжение жидкости и воды при $t_{ср}$ в колонне [3]:

$$\sigma_n = 1.654 * 10^{-9} \frac{\text{Н}}{\text{м}}$$

$$\sigma_b = 6.103 * 10^{-9} \frac{\text{Н}}{\text{м}}$$

Теперь вычислим вязкости паров по формулам (3.1) и (3.2):

$$\mu_{yb} = \frac{35}{\frac{0.605 * 46.1}{0.345 * 10^{-3}} + \frac{(1 - 0.605) * 18}{0.295 * 10^{-3}}} = 0.334 * 10^{-3} \text{ Па * с}$$

$$\mu_{yn} = \frac{24.463}{\frac{0.230 * 46.1}{0.432 * 10^{-3}} + \frac{(1 - 0.203) * 18}{0.359 * 10^{-3}}} = 0.387 * 10^{-3} \text{ Па * с}$$

Вязкость жидкости в верхней и нижней части колонны рассчитываются согласно следующим уравнениям [1]:

$$lg\mu_{yb} = X_{ср.в} * lg\mu_{в.э} + (1 - X_{ср.в})lg\mu_{в.в} \quad (3.3)$$

$$lg\mu_{yn} = X_{ср.н} * lg\mu_{н.э} + (1 - X_{ср.н})lg\mu_{н.в} \quad (3.4)$$

$$\mu_{xb} = \mu_{в.э}^{X_{ср.в}} * \mu_{в.в}^{1-X_{ср.в}} = 0.311 \text{ мПа * с}$$

$$\mu_{xn} = \mu_{н.э}^{X_{ср.н}} * \mu_{н.в}^{1-X_{ср.н}} = 0.362 \text{ мПа * с}$$

3.2 Расчет коэффициента диффузии

Справочные данные:

мольные объем этанола и воды в верхней и нижней частях колонны [3]:

$$v_{н.э} = 48 \frac{\text{см}^3}{\text{моль}}; v_{н.в} = 18.8 \frac{\text{см}^3}{\text{моль}}; v_{в.э} = 53.7 \frac{\text{см}^3}{\text{моль}}; v_{в.в} = 21 \frac{\text{см}^3}{\text{моль}}.$$

вязкость жидкости при температуре 20 °С [2]:

$$\mu_{x20} = 2.36 * 10^{-3} \text{ Па * с};$$

плотность жидкости при температуре 20 °С [2]:

$$\rho_{x20} = 965 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

Определение коэффициента диффузии в жидкости при средней температуре [2]:

$$D_x = D_{x20}[1 + b(t - 20)] \quad (3.5)$$

$$D_{x20} = \frac{10^{-6} \sqrt{\frac{1}{M_{нк}} + \frac{1}{M_{вк}}}}{A * B * \sqrt{\mu_{x20}} (v_{э}^{\frac{1}{3}} + v_{в}^{\frac{1}{3}})^2} \quad (3.6)$$

где t – температура, К.; v_3, v_B – мольные объемы этанола и воды; A, B – коэффициенты, которые зависят от свойств растворенного вещества и растворителя, в данном случае равны единице; b – температурный коэффициент, рассчитываемый по формуле:

$$b_k = 0.2 * \frac{\sqrt{\mu_{x20}}}{\sqrt[3]{\rho_{x20}}} = 0.2 * \frac{\sqrt{2.36 * 10^{-3}}}{\sqrt[3]{965}} = 0.983 * 10^{-3}$$

По формуле (3.5) и (3.6):

Для верха колонны:

$$D_{xb20} = \frac{10^{-6} \sqrt{\frac{1}{46.1} + \frac{1}{18}}}{1 * 1 * \sqrt{2.36 * 10^{-3}} (53.7^{\frac{1}{3}} + 21^{\frac{1}{3}})^2} = 13.41 * 10^{-6} \frac{\text{м}^2}{\text{с}}$$

$$D_{xb} = 13.41 * 10^{-6} [1 + 0.983 * 10^{-3} (90 - 20)] = 14.33 * 10^{-6} \frac{\text{м}^2}{\text{с}}$$

Для низа колонны:

$$D_{xn20} = \frac{10^{-6} \sqrt{\frac{1}{46.1} + \frac{1}{18}}}{1 * 1 * \sqrt{2.36 * 10^{-3}} (48^{\frac{1}{3}} + 18.8^{\frac{1}{3}})^2} = 14.45 * 10^{-6} \frac{\text{м}^2}{\text{с}}$$

$$D_{xn} = 14.45 * 10^{-6} [1 + 0.983 * 10^{-3} (84 - 20)] = 15.35 * 10^{-6} \frac{\text{м}^2}{\text{с}}$$

Коэффициент диффузии в паровой фазе рассчитывается по формуле [2]:

$$D_y = \frac{4.22 * 10^{-2} (T_0 + t) \sqrt{\frac{1}{M_{\text{НК}}} + \frac{1}{M_{\text{БК}}}}}{P (v_3^{\frac{1}{3}} + v_B^{\frac{1}{3}})^2} \quad (3.7)$$

где T_0 – температура 0 °С по Кельвину, К; P – абсолютное давление, Па.

Тогда по формуле (3.7):

Для верха колонны:

$$D_{yb} = \frac{4.22 * 10^{-2} (273 + 90) \sqrt{\frac{1}{46.1} + \frac{1}{18}}}{10^5 (53.7^{\frac{1}{3}} + 21^{\frac{1}{3}})^2} = 0.185 * 10^{-6} \frac{\text{м}^2}{\text{с}}$$

Для низа колонны:

$$D_{yn} = \frac{4.22 * 10^{-2} (273 + 84) \sqrt{\frac{1}{46.1} + \frac{1}{18}}}{10^5 (48^{\frac{1}{3}} + 18.8^{\frac{1}{3}})^2} = 0.205 * 10^{-6} \frac{\text{м}^2}{\text{с}}$$

Плотность орошения в верхней и нижней части колонны [1]:

$$U = \frac{L}{\rho_x * 0.785 * d^2} \quad (3.8)$$

По формуле (3.8):

Для верхней части колонны:

$$U_{\text{в}} = \frac{0.022}{0.785 * 917.24 * 0.3^2} = 0.35 * 10^{-3} \frac{\text{м}^3}{\text{м}^2 \text{с}}$$

Для нижней части колонны:

$$U_{\text{н}} = \frac{0.24}{0.785 * 989.85 * 0.3^2} = 3.43 * 10^{-3} \frac{\text{м}^3}{\text{м}^2 \text{с}}$$

3.3 Расчет высоты колонны

Высоту колонны можно определить графоаналитическим методом, где число действительных тарелок ректификационной колонны определяется

через построение кинетической кривой. Для проводится расчет общей эффективности массопередачи на тарелке (к.п.д. по Мерфи) [1].

Эффективность тарелки по Мерфи учитывает продольное перемешивание и межтарельчатый унос жидкости по диффузионной модели, определяется по следующим уравнениям [1]:

$$B = \frac{\lambda(E_0 + \frac{e}{k})}{(1 - \theta)(1 + \frac{e\lambda}{k})} \quad (3.9)$$

$$E_{my} = \frac{E_{MY}}{1 + \frac{e\lambda E_{MY}}{k(1 - \theta)}} \quad (3.10)$$

$$E_{MY} = \frac{E_{\cdot MY}}{1 + \frac{e\lambda E_{\cdot MY}}{1 - \theta}} \quad (3.11)$$

$$E_{\cdot MY} = \frac{E_0}{B} \left(\left(1 + \frac{B}{S} \right)^S - 1 \right) \quad (3.12)$$

где E_{my} – эффективность по Мерфи без учета уноса; k – унос жидкости в долях от расхода жидкой фазы; λ – фактор массопередачи.

Локальная эффективность E_0 связана с общим числом единиц переноса по паровой фазу на тарелке следующим соотношением [1]:

$$n_{0y} = \frac{K_{yn} * \dot{M}_n}{\omega_{\text{раб}} * \rho_{yn}} \quad (3.13)$$

$$E_0 = 1 - e^{-n_{0y}} \quad (3.14)$$

где K_{yn} – коэффициент массопередачи, определяющийся по уравнению аддитивности фазовых диффузионных сопротивлений.

$$K_{yn} = \frac{1}{\frac{1}{\beta_{nyf}} + \frac{k}{\beta_{nxf}}} \quad (3.15)$$

где β_{nxf} и β_{nyf} - коэффициенты массоотдачи, которые отнесены к единице рабочей площади тарелки для жидкой и паровой фазы соответственно [1].

$$\beta_{nxf} = 6.24 * 10^5 * D_x^{0.5} * \left(\frac{U}{1 - \varepsilon}\right)^{0.5} h_0 \left(\frac{\mu_x}{\mu_y + \mu_x}\right)^{0.5} \quad (3.16)$$

$$\beta_{nyf} = 6.24 * 10^5 * F_{сеч} D_{yn}^{0.5} * \left(\frac{\omega_{\text{раб}}}{\varepsilon}\right)^{0.5} h_0 \left(\frac{\mu_y}{\mu_y + \mu_x}\right)^{0.5} \quad (3.17)$$

где h_0 – высота светлого слоя жидкости, ε – паросодержание барботажного слоя, D_x, D_y – коэффициенты молекулярной диффузии в жидкой и паровой фазах

$$h_0 = F_k q^{0.2} h_{\text{пер}}^{0.56} \omega_{\text{раб}}^k [1 - 0.31 \exp(-0.11 \mu_x)] * \left(\frac{\sigma_{\text{н}}}{\sigma_{\text{в}}}\right)^{0.09} \quad (3.18)$$

где $q = L/\rho x b$ – удельный расход жидкости на 1 м ширины переливной перегородки, b – ширина переливной перегородки, $k = 0.05 - 4.6 * h_{\text{пер}} = 0.375$ [1].

$$q_{\text{в}} = \frac{L_{\text{в}}}{\rho_{xb} * b} = \frac{0.24}{917.24 * 0.004} = 0.061 \frac{\text{м}^2}{\text{с}}$$

$$q_{\text{н}} = \frac{L_{\text{н}}}{\rho_{xn} * b} = \frac{0.24}{989.85 * 0.004} = 0.006 \frac{\text{м}^2}{\text{с}}$$

Высота светлого слоя жидкости на тарелке по формуле (3.18) и паросодержание барботажного слоя:

$$h_{0B} = 0.126 * 0.061^{0.2} * 0.030^{0.56} * 0.921^{0.375} * (1 - 0.31 \exp(-0.11 * 0.311 * 10^{-3})) * \left(\frac{1.654}{6.103}\right)^{0.09} = 3.794 * 10^{-3} \text{ м}$$

$$h_{0H} = 0.126 * 0.006^{0.2} * 0.030^{0.56} * 0.921^{0.375} * (1 - 0.31 \exp(-0.11 * 0.362 * 10^{-3})) * \left(\frac{1.654}{6.103}\right)^{0.09} = 6.003 * 10^{-3} \text{ м}$$

Паросодержание барботажного слоя ε находим по формуле [1]:

$$\varepsilon = \frac{\sqrt{Fr}}{1 + \sqrt{Fr}} \quad (3.19)$$

где $Fr = \omega_{\text{раб}}^2 / gh_0$

Для верхней части колонны по формуле (3.19):

$$Fr_B = \frac{\omega_{\text{раб}}^2}{g * h_{0B}} = \frac{0.921^2}{9.81 * 3.794 * 10^{-3}} = 22.797$$

$$\varepsilon_B = \frac{\sqrt{22.797}}{1 + \sqrt{22.797}} = 0.827$$

Для нижней части колонны по формуле (3.19):

$$Fr_H = \frac{\omega_{\text{раб}}^2}{g * h_{0H}} = \frac{0.921^2}{9.81 * 6.003 * 10^{-3}} = 14.407$$

$$\varepsilon_H = \frac{\sqrt{14.407}}{1 + \sqrt{14.407}} = 0.791$$

Высота барботажного слоя:

$$h_B = \frac{h_0}{1 - \varepsilon_B} = 0.028 \text{ м}$$

По формулам (3.16) и (3.17):

Коэффициент массоотдачи в жидкой фазе для верхней части колонны:

$$\begin{aligned}\beta_{\text{жв}} &= 6.24 * 10^5 * D_{xb}^{0.5} * \left(\frac{U_{\text{в}}}{1 - \varepsilon_{\text{в}}} \right)^{0.5} h_{0\text{в}} \left(\frac{\mu_{xb}}{\mu_{xb} + \mu_{yb}} \right)^{0.5} \\ &= 6.24 * 10^5 * (0.14 * 10^{-6})^{0.5} * \left(\frac{3.459 * 10^{-4}}{1 - 0.827} \right)^{0.5} * 3.794 * 10^{-3} \\ &\quad * \left(\frac{0.311 * 10^{-3}}{0.311 * 10^{-3} + 0.333 * 10^{-3}} \right)^{0.5} = 0.028 \frac{\text{м}}{\text{с}}\end{aligned}$$

Коэффициент массоотдачи в паровой фазе для верхней части колонны:

$$\begin{aligned}\beta_{\text{пв}} &= 6.24 * 10^5 * F_{\text{сеч}} * D_{yb}^{0.5} * \left(\frac{\omega_{\text{паб}}}{\varepsilon_{\text{в}}} \right)^{0.5} h_{0\text{в}} \left(\frac{\mu_{yb}}{\mu_{yb} + \mu_{xb}} \right)^{0.5} \\ &= 6.24 * 10^5 * 0.062 * (1.854 * 10^{-5})^{0.5} * \left(\frac{0.921}{1 - 0.827} \right)^{0.5} * 3.794 \\ &\quad * 10^{-3} * \left(\frac{0.333 * 10^{-3}}{0.311 * 10^{-3} + 0.333 * 10^{-3}} \right)^{0.5} = 0.48 \frac{\text{м}}{\text{с}}\end{aligned}$$

Коэффициент массоотдачи в жидкой фазе для нижней части колонны:

$$\begin{aligned}\beta_{\text{жн}} &= 6.24 * 10^5 * D_{xn}^{0.5} * \left(\frac{U_{\text{н}}}{1 - \varepsilon_{\text{н}}} \right)^{0.5} h_{0\text{н}} \left(\frac{\mu_{xn}}{\mu_{xn} + \mu_{yn}} \right)^{0.5} \\ &= 6.24 * 10^5 * (1.535 * 10^{-7})^{0.5} * \left(\frac{3.431 * 10^{-3}}{1 - 0.791} \right)^{0.5} * 6 * 10^{-3} \\ &\quad * \left(\frac{0.316 * 10^{-3}}{0.316 * 10^{-3} + 0.387 * 10^{-3}} \right)^{0.5} = 0.131 \frac{\text{м}}{\text{с}}\end{aligned}$$

Коэффициент массоотдачи в паровой фазе для нижней части колонны:

$$\begin{aligned}\beta_{\text{пн}} &= 6.24 * 10^5 * F_{\text{сеч}} * D_{\text{yn}}^{0.5} * \left(\frac{\omega_{\text{раб}}}{\varepsilon_{\text{н}}}\right)^{0.5} h_{0\text{н}} \left(\frac{\mu_{\text{yn}}}{\mu_{\text{yn}} + \mu_{\text{xn}}}\right)^{0.5} \\ &= 6.24 * 10^5 * 0.062 * (2.048 * 10^{-5})^{0.5} * \left(\frac{0.921}{1 - 0.827}\right)^{0.5} * 6 \\ &\quad * 10^{-3} * \left(\frac{0.387 * 10^{-3}}{0.387 * 10^{-3} + 0.362 * 10^{-3}}\right)^{0.5} = 0.815 \frac{\text{м}}{\text{с}}\end{aligned}$$

Пересчет коэффициентов массотдачи на кмоль/(м²*с):

Для верхней части колонны:

$$\beta_{\text{bxf}} = \beta_{\text{жв}} * \frac{\rho_{\text{xb}}}{M_{\text{в}}} = 0.028 * \frac{917.247}{27.54} = 0.927 \frac{\text{кмоль}}{\text{м}^2 * \text{с}}$$

$$\beta_{\text{byf}} = \beta_{\text{пв}} * \frac{\rho_{\text{yb}}}{M'_{\text{в}}} = 0.48 * \frac{1.195}{35} = 0.016 \frac{\text{кмоль}}{\text{м}^2 * \text{с}}$$

Для нижней части колонны:

$$\beta_{\text{nxf}} = \beta_{\text{жн}} * \frac{\rho_{\text{xn}}}{M_{\text{н}}} = 0.131 * \frac{989.853}{19.08} = 6.786 \frac{\text{кмоль}}{\text{м}^2 * \text{с}}$$

$$\beta_{\text{nyf}} = \beta_{\text{пн}} * \frac{\rho_{\text{yn}}}{M'_{\text{н}}} = 0.815 * \frac{0.821}{24.46} = 0.027 \frac{\text{кмоль}}{\text{м}^2 * \text{с}}$$

3.4 Расчет для построение кинетической кривой.

Для этого необходимо вычислить значения коэффициентов массопередачи в интервале изменения жидкости от $x_{\text{в}}$ до $x_{\text{р}}$ [1].

Расчет строки при $x=0.5$. Тогда коэффициент распределения равен:

$$k = \text{tg} \alpha = \frac{0.77}{0.5} = 1.54$$

Коэффициент массопередачи вычисляется по формуле (3.15) по коэффициентам массоотдачи в верхней части колонны:

$$K_{yn} = \frac{1}{\frac{1}{\beta_{nyf}} + \frac{k}{\beta_{nxf}}} = \frac{1}{\frac{1}{0.027} + \frac{1.54}{6.786}} = 0.012$$

Число единиц переноса на тарелку находим по формуле (3.13):

$$n_{0y} = \frac{K_{yn} * M'_H}{\omega_{\text{раб}} * \rho_{yn}} = \frac{0.027 * 24.26}{0.921 * 0.821} = 0.88$$

Локальная эффективность определяется по формуле (3.14):

$$E_0 = 1 - 2.72^{-n_{0y}} = 0.585$$

Фактор массопередачи для нижней части колонны:

$$\lambda = k \frac{R + 1}{R + f} = 1.54 \frac{0.938 + 1}{0.938 + 5.571} = 0.458$$

Далее определим величину B' :

$$B' = \frac{\lambda * E_0}{1 - \theta} = \frac{0.458 * 0.585}{1 - 0.1} = 0.298$$

где $\theta=0,1$ для ситчатых тарелок, унос при этом равен $e=0.006$ кг/кг.

Т.к. d колонный равен 300мм, то примем $L=200$ мм – длина пути жидкости. Определим длину пути жидкости l_T как расстояние между переливными устройствами:

$$l_T = \sqrt{d^2 - b^2} = 0.215 \text{ м}$$

Число ячеек полного перемешивания на тарелке равно:

$$S = \frac{l_T}{L} = 1.075$$

При этом унос рассчитывается по формуле:

$$e = 1.15 * 10^{-3} * \left(\frac{\sigma_H}{\rho_y}\right)^{0.295} * \left(\frac{\rho_x - \rho_y}{\mu_{H.B}}\right)^{0.425} = 6.155 * 10^{-3}$$

Тогда в уравнение (3.9) подставляются полученные значения:

$$B = \frac{0.458 * (0.585 + \frac{6.155 * 10^{-3}}{1.54})}{(1 - 0.1)(1 + \frac{6.155 * 10^{-3} * 0.458}{1.54})} = 0.662$$

Эффективность по Мерфи с учетом перемешивания на тарелке по (3.12):

$$E_{MY} = \frac{0.585}{0.662} \left(\left(1 + \frac{0.662}{2} \right)^2 - 1 \right) = 0.682$$

Эффективность по Мерфи с учетом балансирующего потока жидкости по формулам (3.10) и (3.11):

$$E_{MY} = \frac{0.682}{1 + \frac{0.458 * 0.1 * 0.682}{1 - 0.1}} = 0.659$$

$$E_{my} = \frac{0.659}{1 + \frac{0.458 * 6.155 * 10^{-3} * 0.659}{1.54(1 - 0.1)}} = 0.265$$

Зная эффективность по Мерфи, можно определить концентрацию пара на входе с тарелки:

$$y_{\text{ВЫХ}} = y_{\text{ВХ}} + E_{my}(y - y_{\text{ВХ}}) = 0.77 + 0.265(0.82 - 0.77) = 0.758$$

где $y = \frac{P_{\text{ЭТ}}}{P} x = 0.82$; P – нормальное атмосферное давление, мм.рт.ст.

Результаты расчета представлены в таблице 5:

Таблица 5 - Параметры для построение рабочей кинетической линии

x	0.05	0.15	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6
y	0.34	0.54	0.64	0.71	0.74	0.77	0.79
tg	6.8	3.6	3.2	2.37	1.85	1.54	1.32
T	95.2	90	87.4	84.6	83.1	82.1	81.0
P _{этанол}	1449.6	1186.5	1089.1	984.2	928.1	890.6	849.3
P _{пар}	647.4	525.5	481.1	433.4	407.8	390.7	371.9
K _{уп}	0.009	0.011	0.011	0.011	0.012	0.012	0.012
n _{0у}	0.303	0.350	0.357	0.372	0.383	0.389	0.394
λ	2.341	1.239	1.102	0.816	0.637	0.530	0.326
B'	0.679	0.407	0.368	0.282	0.225	0.190	0.164
B	0.888	0.747	0.727	0.683	0.653	0.635	0.622
E _{мy}	0.319	0.334	0.355	0.364	0.370	0.374	0.376
E _{мy}	0.295	0.248	0.340	0.352	0.361	0.366	0.369
E _{my}	0.226	0.248	0.251	0.258	0.262	0.265	0.267
y*	0.285	0.464	0.551	0.594	0.642	0.758	0.783

Строится кинетическая кривая (рисунок 4) по полученным данным и определяется количество действительных тарелок $N = 5$.

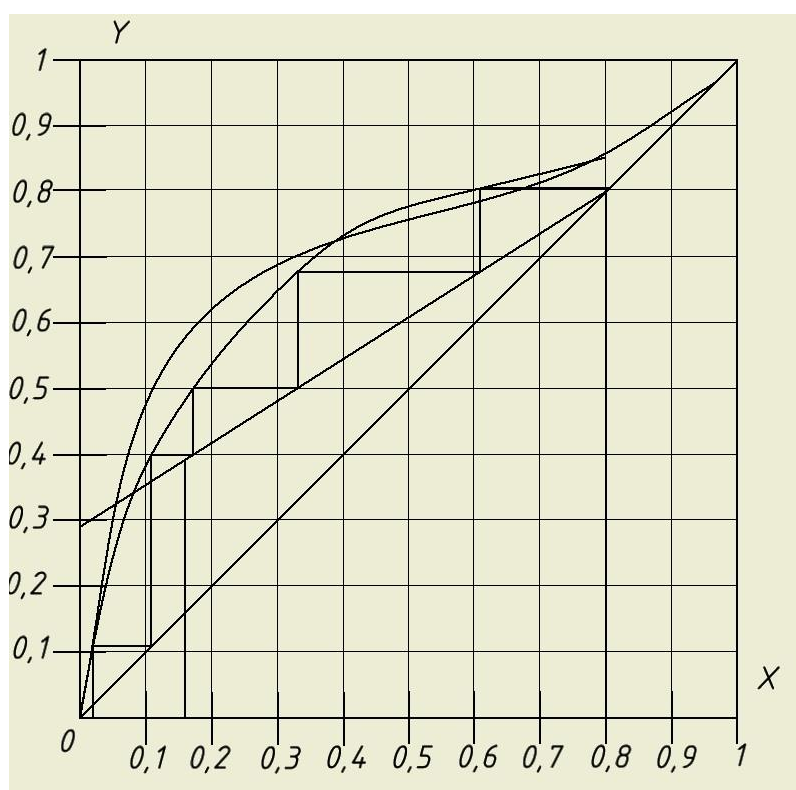


Рисунок 4 - Рабочая кинетическая кривая

Высота колонны определяется по формуле:

$$H = (N - 1)L + z_{\text{в}} + z_{\text{н}} \quad (3.20)$$

где $z_{\text{в}}$ и $z_{\text{н}}$ — это расстояние соответственно между верхней тарелкой и крышкой колонны и между дном колонны и нижней тарелкой, м. выбирается в соответствии с рекомендациями

$$z_{\text{в}} = z_{\text{н}} = 0.300$$

Тогда высота колонны по (3.20):

$$H = (5 - 1) * 0.2 + 0.3 + 0.3 = 1.4 \text{ м}$$

4. Конструктивный расчет

Фланец представляет собой выступающий гребень, кромку или обод, внешний или внутренний, который служит для повышения прочности (бывает в виде железной балки, двутавровый или тавровый); используется для удобного крепления/передачи контактного усилия с другим объектом (в качестве фланца на конце трубы, парового цилиндра и т. д.) [6].

$$d = \sqrt{\frac{4G}{\pi\rho\omega_{\text{раб}}}} \quad (4.1)$$

Диаметр штуцеров для подвода и отвода продуктов рассчитывается на основе уравнения массового расхода и округляется до ближайшего стандартного значения. Данные по расчету штуцеров для удобства сведены в таблицу 6:

Таблица 6 - Конструктивные размеры штуцеров

Назначение	D_y , мм	D_Y , мм	D_b , мм	D_n , мм	D_1 , мм	h , мм	d , мм	z	s , мм
Выход пара	80	100	110	89	150	16	M16	6	4
Вход флегмы	25	40	80	32	130	14	M12	4	
Вход пара	80	100	110	89	150	16	M16	6	6
Вход исходной смеси	50	65	80	57	18	16	M16	4	4
Вывод жидкости из куба	50	65	80	57	18	16	M16	4	4
Вывод кубового остатка	20	25	80	25	130	14	M12	4	4

Рациональная форма днища в цилиндрических аппаратах является эллиптическое. Поскольку имеет широкое применение в химическом аппаратостроении штампованных (из листового проката) эллиптических днищ. Согласно рекомендациям, выбираются стандартные размеры днища и крышки (таблица 7):

Таблица 7 - Конструктивные размеры днища и крышки

D, мм	s, мм	H, мм	h, мм	V	m
300	6	225	75	5.5	1.4

4.1 Расчет гидравлического сопротивления тарелок колонны

Гидравлическое сопротивление тарелок колонны определяется по форму [2]:

$$\Delta P_k = \Delta P_b N_b + \Delta P_n N_n \quad (5.1)$$

где ΔP_b и ΔP_n – гидравлическое сопротивление верхней и нижней части колонны соответственно, Па.

Гидравлическое сопротивление одной тарелки определяется по формуле [2]:

$$\Delta P = \Delta P_c + \Delta P_{ж} + \Delta P_{\sigma} \quad (5.2)$$

где ΔP_c – сопротивление сухой тарелки, Па; $\Delta P_{ж}$ – сопротивление слоя жидкости, Па; ΔP_{σ} – сопротивление за счет поверхности натяжения, Па.

Сопротивление сухой тарелки определяется по формуле:

$$\Delta P_c = \frac{\xi * \omega_{\text{раб}}^2 * \rho_y}{2 * F_k^2} \quad (5.3)$$

где ξ – коэффициент сопротивления сухих тарелок, принимается для ситчатых тарелок 1.82; ρ_y – средняя плотность пара в среднем сечении для соответствующей части колонны, кг/м³; F_k – относительная площадь для прохода пара, м².

Для верхней части колонны по формуле (5.3):

$$\Delta P_{cn} = \frac{1.82 * 0.921^2 * 1.195}{2 * 0.126^2} = 58.054 \text{ Па}$$

Для нижней части колонны по формуле (5.3):

$$\Delta P_{cn} = \frac{1.82 * 0.921^2 * 0.821}{2 * 0.126^2} = 39.905 \text{ Па}$$

Сопротивление слоя жидкости на тарелке определяется по формуле:

$$\Delta P_{ж} = \rho_x * g * h_0 \quad (5.4)$$

где ρ_x – плотность жидкости в сечении соответствующей части колонны, кг/м³; g – ускорение свободного падения, м/с²; h_0 – высота барботажного слоя на тарелке, м.

По формуле (5.4) вычисляется сопротивления слоя жидкости:

Для верха колонны:

$$\Delta P_{ж} = \rho_{xb} * g * h_{0в} = 917.237 * 9.81 * 0.028 = 254.28 \text{ Па}$$

Для низа колонны:

$$\Delta P_{ж} = \rho_{xn} * g * h_{0н} = 989.853 * 9.81 * 0.028 = 274.41 \text{ Па}$$

Гидравлическое сопротивление, обусловлено силами поверхностного натяжения:

$$\Delta P_{\sigma} = \frac{4\sigma_{\Pi}}{b} = \frac{4 * 22.39 * 10^{-3}}{0.004} = 22.39 \text{ Па}$$

где $\sigma_{\Pi} = 22.39 * 10^{-3} \frac{\text{Н}}{\text{м}}$ [2].

Полное сопротивление тарелки верхней и нижней частей колонны равны:

$$\Delta P_{\text{в}} = 58.054 + 254.281 + 22.39 = 334.725 \text{ Па}$$

$$\Delta P_{\text{н}} = 39.905 + 274.412 + 22.39 = 336.707 \text{ Па}$$

Полное гидравлическое сопротивление ректификационной колонны по формуле (5.1) равно:

$$\Delta P_k = 3 * \Delta P_{\text{н}} + 2 * \Delta P_{\text{в}} = 1680 \text{ Па.}$$

5. Механический расчет

5.1 Расчет толщины стенки обечайки

Наибольшее распространения в химическом аппаратостроении получили цилиндрические обечайки [11]. Материал выбираем СтЗсп ГОСТ 380-2005. Цилиндрическая обечайка представляет открытый цилиндрический элемент конструкции, ее толщина рассчитывается по формуле:

$$S = \frac{P * d}{2[\sigma]\varphi - P} + C \quad (6.1)$$

где P – давление в аппарате, равное 0.1 МПа; d – диаметр обечайки, мм; $[\sigma]$ – предельно допустимое напряжение для материала изготовления, равное 154 МПа, МПа; φ – коэффициент прочности сварного шва, примем равным; $C = C_1 + C_2 + C_3$ – прибавка; C_1 – прибавка на коррозию и эрозию, принимается 2 мм; C_2 – прибавка на минусовое отклонение по толщине листа, принимается 0.5 мм; C_3 – технологическая прибавка, принимается 1.3 мм.

Тогда толщина стенки обечайки по формуле (6.1) равна:

$$S = \frac{0.1 * 300}{2 * 154 * 1 - 0.1} + (2 + 0.5 + 1.3) = 3.897 \text{ мм}$$

Согласно рекомендациям, принимают толщину обечайки равной $s = 4$ мм.

5.2 Расчет опоры аппарата

Опоры для аппарата в химическом производстве выбираются из расчета максимальной нагрузки при испытании аппарата. Для опоры берем тот же материал, что и для цилиндрической обечайки.

Рассчитаем массу аппарата [10]:

где ρ – плотность материала равная 7850 кг/м³.

Масса корпуса:

$$M_k = H * \pi * d * s * \rho = 1.4 * 3.14 * 0.3 * 0.004 * 7850 = 41.431 \text{ кг}$$

Масса крышки и днища:

$$M_{кр} = 2 * d^2 * s * \rho = 2 * 0.3^2 * 0.004 * 7850 = 5.652 \text{ кг}$$

Масса тарелок:

$$M_t = N * m = 5 * 8.2 = 41 \text{ кг}$$

Масса воды при испытании:

$$M_{воды} = \frac{d^2 * \pi}{4} * H * \rho_{воды} = \frac{0.3^2 * 3.14}{4} * 1.4 * 1000 = 98.96 \text{ кг}$$

Масса аппарата:

$$M_a = M_k + M_{кр} + M_t + M_{воды} = 187.043 \text{ кг}$$

Переведем в МН:

$$Q = \frac{M_a * g}{10^6} = 1.833 \text{ кН}$$

Подберем опору согласно рекомендации, ОСТ 26-467-78 [13] (таблица 8):

Таблица 8 - Конструктивные размеры опоры

d, мм	D ₁ , мм	D ₂ , мм	D ₃ , мм	d ₂ , мм	s ₁ , мм	s ₂ , мм	s ₃ , мм	d _b , мм	z
300	250	420	500	16	6	20	16	M24	6

6. Расчет тепловой изоляции

Расчет проводится для определения толщины слоя материала для теплоизоляции, которая покрывает наружную поверхность корпуса ректификационной колонны для снижения тепловых потерь. Температура поверхности слоя изоляции не должна превышать 45 °С. По рекомендациям температура стенки аппарата работающего в закрытом помещении равна 40 °С [9]. Тогда по упрощенной схеме можно рассчитать теплоизоляционный слой по формуле:

$$\delta_{\text{из}} = \frac{\gamma_{\text{из}}(t_{\text{ст}} - t_{\text{из}})}{\alpha_{\text{н}}(t_{\text{из}} - t_{\text{окр}})} = 27.5 \text{ мм} \quad (7.1)$$

где $\gamma_{\text{из}}$ – коэффициент теплопроводности изоляционного слоя; $t_{\text{ст}}$ – температура стенки корпуса, равна 90 °С (принимается близкой к средней температуре в кубе колонны); $t_{\text{из}}$ – температура поверхности изоляционного слоя; $t_{\text{окр}}$ – температура окружающей среды; $\alpha_{\text{н}}$ – коэффициент теплоотдачи от внешней поверхности изоляционного материала в окружающую среду, равный:

$$\alpha_{\text{н}} = 9.3 + 0.058t_{\text{ст}2} = 9.3 + 0.058 * 10 = 9.88$$

$$\delta_{\text{из}} = \frac{0.030 * (90 - 45)}{9.8(45 - 40)} = 0.0275 \text{ м} = 27.5 \text{ мм}$$

Поскольку куб самая горячая часть колонны, то для остальных элементов колонны можно принять ту же толщину изоляционного слоя.

7. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Финансовый менеджмент, или управление финансовыми ресурсами и отношениями, охватывает систему принципов, методов, форм и приёмов регулирования рыночного механизма в области финансов с целью повышения конкурентоспособности хозяйствующего субъекта. Финансовый менеджмент направлен, прежде всего, на управление денежным потоком и оборотными средствами, поэтому сводить финансовый менеджмент только к инвестиционным решениям и рассматривать его только с позиции науки о принятии инвестиционного решения неправомерно. Ведь это специфическая система управления денежными потоками, движением финансовых ресурсов и соответствующей организацией финансовых отношений. Финансовый менеджмент надо рассматривать как интегральное явление, имеющее разные формы проявления. Так, с функциональной точки зрения финансовый менеджмент представляет собой систему экономического управления и часть финансового механизма. С институционной точки зрения финансовый менеджмент есть орган управления. С организационно-правовой точки зрения финансовый менеджмент - это вид предпринимательской деятельности [22].

Основная цель данного раздела – оценить перспективность развития и планировать финансовую и коммерческую ценность конечного продукта, представленного в рамках исследовательской программы. Коммерческая ценность определяется не только наличием более высоких технических характеристик над конкурентными разработками, но и тем, насколько быстро разработчик сможет ответить на следующие вопросы – будет ли продукт востребован на рынке, какова будет его цена, каков бюджет научного исследования, какое время будет необходимо для продвижения разработанного продукта на рынок.

Данный раздел, предусматривает рассмотрение следующих задач:

- Оценка коммерческого потенциала разработки.

- Планирование научно-исследовательской работы;
- Расчет бюджета научно-исследовательской работы;
- Определение ресурсной, финансовой, бюджетной эффективности исследования.

7.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

7.1.1 Анализ конкурентных технических решений

В связи с постоянным движением рынка анализ производства конкурента требуется проводить поэтапно. Исследуем предлагаемое технологическое решение с конкурентами, которые актуальны на ранке. В качестве конкурентных решений примем:

- 1) колонны ректификационные (ООО НПП "НОУПРОМ");
- 2) фракционирование нефтяных смесей (ООО "НПП Нефтехим").

Оценим разработки по выбранным техническим и экономическим критериям по пятибальной шкале. Результат анализа сведем в таблицу 9.

Таблица 9 – Оценочная карта конкурентных технических решений синтеза этилацетата

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкуренто- способность		
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1 Выход продукта	0,12	4	5	5	0,48	0,60	0,60
2 Качество продукта	0,12	4	4	5	0,48	0,48	0,60
3 Эффективность использования сырья и материалов	0,09	5	4	5	0,45	0,36	0,45
4 Энергоэкономичность	0,09	5	3	2	0,45	0,27	0,18
5 Износостойкость оборудования	0,08	3	5	4	0,24	0,40	0,32
6 Безопасность персонала	0,08	5	5	4	0,40	0,40	0,32
7 Экологичность	0,07	4	5	4	0,28	0,35	0,28
8 Простота реализации	0,05	5	3	2	0,25	0,15	0,10
Экономические критерии оценки эффективности							
1 Стоимость оборудования	0,09	4	4	2	0,36	0,36	0,18
2 Стоимость сырья	0,10	5	3	3	0,50	0,30	0,30
3 Предполагаемый срок эксплуатации	0,07	4	5	4	0,28	0,35	0,28
4 Уровень проникновения на рынок	0,04	5	2	1	0,20	0,08	0,04
Итого	1	53	48	41	4,37	4,10	3,65

Расчет конкурентоспособности, на примере стабильности срабатывания, определяется по формуле [22]:

$$K = \sum B_i \cdot B_j \quad (7.1)$$

где K – конкурентоспособность проекта;

B_i – вес показателя (в долях единицы);

B_j – балл показателя.

Таким образом, полученные данные свидетельствуют о том, что разработка более конкурентоспособна и ресурсоэффективна. Проведение проекта целесообразно, так как он обладает рядом преимуществ: универсальность, безопасность, быстрота и простота в эксплуатации.

7.1.2 SWOT-анализ

SWOT-анализ — метод стратегического планирования, заключающийся в выявлении факторов внутренней и внешней среды организации и разделении их на четыре категории:

- Strengths (сильные стороны),
- Weaknesses (слабые стороны),
- Opportunities (возможности),
- Threats (угрозы).

Для исследования внешней и внутренней среды проекта, в этой работе проведен SWOT-анализ с детальной оценкой сильных и слабых сторон исследовательского проекта, а также его возможностей и угроз. Сильные (S) и слабые (W) стороны являются факторами внутренней среды объекта анализа, (то есть тем, на что сам объект способен повлиять); возможности (O) и угрозы (T) являются факторами внешней среды (то есть тем, что может повлиять на объект извне и при этом не контролируется объектом) [22].

Первый этап, составляется матрица SWOT, в которую описаны слабые и сильные стороны проекта и выявленные возможности и угрозы для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде, приведены в таблице 10.

Таблица 10 – Матрица SWOT-анализа

Сильные стороны	Слабые стороны
C1. Эффективное использование сырья за счет замкнутого процесса.	Сл1. Дорогой конструкционный материал.
C2. Малое количество отходов за счет их вторичного использования.	Сл2. Быстрый износ оборудования.
C3. Качество продукта.	Сл3. Большое количество аналогичных технологий.
C4. Экономия энергии.	
C5. Экономия конструкционного материала.	
C6. Безопасность персонала за счет автоматизации.	
C7. Простота в разработке, эксплуатации и ремонте.	
C8. Процесс этиерификации хорошо изучен и описан в литературе	
Возможности	Угрозы
B1. Рост спроса на этилацетат.	У1. Рост импорта из других стран.
B2. Рост объемов производства на предприятиях-потребителях этилацетата.	У2. Конкурентные разработки.
B3. Прекращение импорта этилацетата из других стран.	У3. Отсутствие финансирования.
B4. Рост цены на другие растворители.	У4. Рост цен на реагенты и материалы.
B5. Финансирование проекта за счет государства.	У5. Поломка оборудования.
B6. Экспорт продукта.	У6. Производственная авария.

На втором этапе на основании матрицы SWOT строятся интерактивные матрицы возможностей и угроз, позволяющие оценить эффективность проекта, а также надежность его реализации. Соотношения параметров представлены в таблицах 3 – 6.

Таблица 11 – Интерактивная матрица проекта «Возможности проекта и сильные стороны»

Сильные стороны проекта									
Возможности проекта		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
	B1	+	+	+	-	-	-	+	+
	B2	-	-	-	+	-	-	-	-
	B3	+	-	-	-	-	-	-	-
	B4	+	+	-	-	-	-	-	-
	B5	-	-	-	-	-	-	-	-
	B6	+	-	-	-	-	-	-	+

Таблица 12 – Интерактивная матрица проекта «Возможности проекта и слабые стороны»

Слабые стороны проекта				
Возможности проекта		Сл.1	Сл.2	Сл.3
	B1	-	+	-
	B2	-	-	-
	B3	-	-	-
	B4	-	-	-
	B5	-	-	-
	B6	-	+	-

Таблица 13 – Интерактивная матрица проекта «Угрозы проекта и сильные стороны»

Сильные стороны проекта									
Угрозы проекта		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
	Y1	-	-	+	-	-	-	+	+
	Y2	-	-	-	+	-	-	-	-
	Y3	-	-	-	-	+	-	-	-
	Y4	-	+	-	-	-	-	+	-
	Y5	-	-	-	+	-	-	-	-
	Y6	-	-	-	-	-	-	-	+

Таблица 14 – Интерактивная матрица проекта «Угрозы проекта и слабые стороны»

Слабые стороны проекта				
Угрозы проекта		Сл.1	Сл.2	Сл.3
	B1	-	-	-
	B2	-	-	-
	B3	-	-	-
	B4	-	-	-
	B5	-	-	-
	B6	-	-	-

Результаты анализа представлены в итоговую таблицу 15.

Таблица 15 – Итоговая таблица SWOT-анализа

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта С1. Эффективное использование сырья за счет замкнутого процесса. С2. Малое количество отходов за счет их вторичного использования. С3. Качество продукта. С4. Экономия энергии. С5. Экономия конструкционного материала. С6. Безопасность персонала за счет автоматизации. С7. Простота в разработке, эксплуатации и ремонте. С8. Процесс этерификации хорошо изучен и описан в литературе.	Слабые стороны научно-исследовательского проекта Сл1. Дорогой конструкционный материал. Сл2. Быстрый износ оборудования. Сл3. Большое количество аналогичных технологий.
Возможности В1. Рост спроса на этилацетат. В2. Рост объемов производства на предприятиях-потребителях этилацетата. В3. Прекращение импорта этилацетата из других стран. В4. Рост цены на другие растворители. В5. Финансирование проекта за счет государства. В6. Экспорт продукта.	Направления развития В1С3С1. Качество продукта ведет к росту спроса на этилацетат, эффективное использование сырья за счет замкнутого процесса. В2С3В5В3В6. Качество продукта позволяет увеличивать рост объемов производства на предприятиях-потребителях, что влечет за собой финансирование проекта за счет государства, следовательно прекращение импорта этилацетата из других стран, в следствие экспорта продукта за рубеж. С3С8. Качество продукта благодаря хорошо изученному и описанному в литературе.	Сдерживающие факторы Сл2В1У3. Рост спроса на этилацетат предполагает наращивание производственных мощностей. Это предвещает быстрый износ оборудования. Возможен недостаток финансов на дорогие материалы.
Угрозы У1. Рост импорта из других стран. У2. Конкурентные разработки. У3. Отсутствие финансирования. У4. Рост цен на реагенты и материалы.	Угрозы развития С1У3В5. Отсутствие финансирования, роста цен на сырье и материалы, в связи с этим преобладает эффективное использование сырья за счет замкнутого процесса.	Уязвимости: У3У2. Проекту угрожают альтернативные разработки отечественных и иностранных производителей. Существует угроза нехватки финансов на

У5. Поломка оборудования. У6. Производственная авария.		дорогие материалы, на ремонт оборудования.
---	--	--

7.2 Планирование научно-исследовательских работ

7.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

Для выполнения научных исследований формируется рабочая группа, в состав которой могут входить научные сотрудники и преподаватели, инженеры, техники и лаборанты, численность групп может варьироваться. По каждому виду запланированных работ устанавливается соответствующая должность исполнителей [22]. В данном разделе необходимо составить перечень этапов и работ в рамках проведения научного исследования, провести распределение исполнителей по видам работ.

Планирование комплекса научно-исследовательских работ осуществляется в порядке:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение количества исполнителей для каждой из работ;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований.

Для оптимизации работ удобно использовать классический метод линейного планирования и управления.

Результатом такого планирования является составление линейного графика выполнения всех работ. Порядок этапов работ и распределение исполнителей для данной научно-исследовательской работы, приведен в таблице 16.

Таблица 16 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания, утверждение плана-графика	Научный руководитель
	2	Календарное планирование выполнения работ	Инженер, научный руководитель
Выбор способа решения поставленной задачи	3	Обзор научной литературы	Инженер
	4	Выбор методов исследования	Инженер
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Планирование эксперимента	Инженер, научный руководитель
	6	Подготовка образцов для эксперимента	Инженер
	7	Проведение эксперимента	Инженер
Обобщение и оценка результатов	8	Обработка полученных данных	Инженер
	9	Оценка правильности полученных результатов	Инженер, Научный руководитель
Оформление отчета по НИР (комплекта документации по ОКР)	10	Составление пояснительной записки	Инженер

7.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ и разработка графика проведения

Трудоемкость – это показатель, который позволяет проанализировать соотношение трат ресурсов и времени. Значение отображает время, которое нужно потратить на производство единицы товара. Расчет его потребуется для планирования деятельности. Показатель поможет определить возможный уровень производительности в определенных условиях. Он обеспечивает повышение эффективности деятельности организации. Формула трудоемкости служит для оценки итогов работы сотрудников за конкретный период. Исходя из значения можно вычислить производительность одного специалиста. При проведении научных исследований основную часть стоимости разработки составляют трудовые затраты [22].

Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости использована следующая формула:

$$t_{\text{ож}i} = \frac{3t_{\text{mini}} + 2t_{\text{max}i}}{5},$$

где $t_{\text{ож}i}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы, человеко-дни;

t_{mini} – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы, человеко-дни;

$t_{\text{max}i}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы, человеко-дни.

Зная величину ожидаемой трудоемкости, можно определить продолжительность каждой i -ой работы в рабочих днях T_{pi} , при этом учитывается параллельность выполнения работ разными исполнителями. Это позволяет определить величину заработной платы [22].

$$T_{pi} = \frac{t_{\text{ож}i}}{Ч_i},$$

где T_{pi} – продолжительность одной работы, рабочие дни;

$t_{\text{ож}i}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, человеко-дни;

$Ч_i$ – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

Для перевода длительности каждого этапа из рабочих в календарные дни, необходимо воспользоваться формулой:

$$T_{ki.кал} = T_{pi} \cdot k_{кал},$$

где T_{ki} – продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях;

T_{pi} – продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях;

$k_{\text{кал}}$ – календарный коэффициент.

Календарный коэффициент определяется по формуле:

$$k_{\text{кал.инж}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{365}{365 - 104 - 14} = 1,48$$

где $T_{\text{кал}}$ – общее количество календарных дней в году; $T_{\text{вых}}$ – общее количество выходных дней в году; $T_{\text{пр}}$ – общее количество праздничных дней в году.

Расчеты временных показателей проведения научного исследования обобщены в таблице 17.

Таблица 17 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоёмкость работ						Длительность работ в рабочих днях T _{pi}	Длительность работ в календарных днях T _{ki}
	t _{min} , чел-дни		t _{max} , чел- дни		t _{ож} , чел-дни			
	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1. Составление и утверждение технического задания, утверждение плана-графика	2	-	4	-	2,8	-	2,8	4
2. Календарное планирование выполнения работ	1	3	3	4	1,8	3,4	2,6	4
3. Обзор научной литературы	-	6	-	10	-	7,6	7,6	11
4. Выбор методов исследования	-	3	-	5	-	3,8	3,8	6
5. Планирование эксперимента	2	6	4	8	2,8	6,8	4,8	7
6. Подготовка образцов для эксперимента	-	5	-	7	-	5,8	5,8	9

7. Проведение эксперимента	-	15	-	20	-	17	17	25
8. Обработка полученных данных	-	10	-	15	-	12	12	18
9. Оценка правильности полученных результатов	2	3	4	5	2,8	3,8	3,3	5
10. Составление пояснительной записки		8		10	-	8,8	8,8	13
Итого:	7	59	15	84	13,5	68,5	68,5	102

Примечание: Исп. 1 – научный руководитель, Исп. 2 – инженер.

Далее приведен календарный план-график с диаграммой Ганта на основе календарного плана проекта (рисунок 7). График строится для максимального по длительности исполнения работ в рамках выпускной квалификационной работы с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени дипломирования.

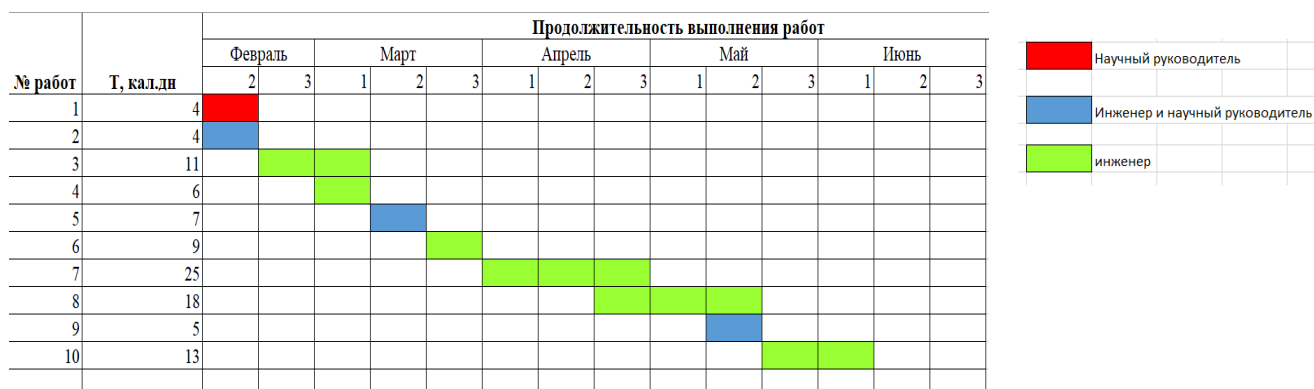


Рисунок 5 – Диаграмма Ганта на основе календарного плана проекта

Общее число календарных дней, в течении которых выполнялась работа – 102.

7.3 Бюджет научно-технического исследования

При планировании бюджета научного исследования должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов планируемых расходов, необходимых для его выполнения и учитываются все виды

расходов, связанных с его выполнением. В этой работе использовать следующую группировку затрат по следующим статьям:

- материальные затраты научно-исследовательской работы;
- затраты на специальное оборудование;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- накладные расходы.

7.3.1 Расчет материальных затрат научно-технического исследования

Затраты на проведение исследовательских и опытных работ являются предпроизводственными и складываются из следующих составляющих:

- затраты на постановку задачи исследования (литературный обзор, изучение патентов и т. п.);
- затраты на лабораторные исследования;
- затраты на опытное производство (проектирование и сооружение опытной установки), получение и испытание опытной партии продукта, изучение отходов производства и технико-экономическая оценка процесса;
- затраты на промышленное проектирование.

Как правило, дипломные выпускные работы, носящие фундаментальный и поисковый характер, охватывают только две первые стадии исследования. Поэтому в смете затрат на выполнение ВКР учитываются затраты на

материалы, электроэнергию, заработную плату и единый социальный налог, прочие расходы.

Материальные затраты — это затраты организации на приобретение сырья и материалов для создания готовой продукции [22].

Данная часть включает затрат всех материалов, используемых при расчете и проектировании ректификационной колонны для перегонки водного раствора этилового спирта. Результаты расчета затрат представлены в таблице 10. Стоимость израсходованных в процессе исследования основных и вспомогательных материалов и реактивов рассчитывается, исходя из их фактического расхода и цен. Расчет рекомендуется представить в следующей таблице.

Таблица 18 – Затраты при расчете и проектировании ректификационной колонны для перегонки водного раствора этилового спирта

Наименование материалов	Цена за ед., руб.	Кол-во, ед.	Сумма, руб.
Комплекс канцелярских принадлежностей	340	4	1 200
Картридж для лазерного принтера	3 490	1	3 490
Итого:			4290

7.3.2 Расчет амортизации специального оборудования

Расчет сводится к определению амортизационных отчислений, так как оборудование было приобретено до начала выполнения данной работы и эксплуатировалось ранее, поэтому при расчете затрат на оборудовании учитываем только рабочие дни по данной теме. Чтобы рассчитать сумму амортизационных отчислений по оборудованию организации нужно знать не только его первоначальную стоимость и выбрать способ начисления амортизации, но и установить срок его полезного использования [22].

Расчет амортизации проводится следующим образом:

Норма амортизации: рассчитывается по формуле:

$$H_A = \frac{1}{n},$$

где n – срок полезного использования в количестве лет.

Амортизация оборудования рассчитывается по формуле:

$$A = \frac{H_A I}{12} \cdot m,$$

где I – итоговая сумма, тыс. руб.; m – время использования, мес.

Таблица 19 – Затраты на оборудование

№ п/п	Наименование оборудования	Дни эксплуатации	Срок службы, лет	Стоимость оборудования, тыс.руб.	Амортизационные отчисления, руб.
1	Персональный компьютер фирмы ASUS	55	2	141	11750
Итого:					11750

7.3.3 Основная заработная плата исполнителей темы

Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20 -30 % от тарифа или оклада [26].

В данном разделе рассчитывается заработная плата инженера и руководителя, помимо этого необходимо рассчитать расходы по заработной плате, определяемые трудоемкостью проекта и действующей системой оклада [22]. Основная заработная плата $З_{осн}$ одного работника рассчитывается по следующей формуле:

$$З_{осн} = З_{он} \cdot T_p,$$

где $З_{\text{он}}$ – среднедневная заработная плата, руб.; T_p – продолжительность работ, выполняемых работником, раб.дн..

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

Для шестидневной рабочей недели (рабочая неделя руководителя):

$$З_{\text{он}} = \frac{З_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}} = \frac{51285 \cdot 10,3}{246} = 2147,3 \text{ руб.},$$

где $З_{\text{м}}$ – месячный должностной оклад работника, руб.; $F_{\text{д}}$ – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дней; M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

- при отпуске в 28 раб. дня – $M = 11,2$ месяца, 5-дневная рабочая неделя;
- при отпуске в 56 раб. дней – $M = 10,3$ месяца, 6-дневная рабочая неделя.

Для пятидневной рабочей недели (рабочая неделя инженера):

$$З_{\text{он}} = \frac{З_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}} = \frac{33150 \cdot 11,2}{213} = 1743,1 \text{ руб.}.$$

Должностной оклад работника за месяц:

– для руководителя:

$$З_{\text{м}} = З_{\text{мс}} \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) k_p = 26300 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 51285 \text{ руб.}$$

– для инженера:

$$З_{\text{м}} = З_{\text{мс}} \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) k_p = 17000 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 33150 \text{ руб.},$$

где $Z_{мс}$ – заработная плата, согласно тарифной ставке, руб.; k_{np} – премиальный коэффициент, равен 0,3; k_{∂} – коэффициент доплат и надбавок, равен 0,2; k_p – районный коэффициент, равен 1,3 (для г. Томска) [26].

Баланс рабочего времени исполнителей представлен в таблице 12.

Таблица 20 – Баланс рабочего времени исполнителей

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней - выходные дни - праздничные дни	52/14	104/14
Потери рабочего времени - отпуск - невыходы по болезни	48/5	24/10
Действительный годовой фонд рабочего времени	246	213

Расчет основной заработной платы исполнителей представлен в таблице 21.

Таблица 21 – Расчет основной заработной платы исполнителей

Исполнители НИ	$Z_{мс}, руб$	$k_{гр}$	k_{∂}	k_p	$Z_m, руб$	$Z_{\partialн}, руб$	$T_p, раб.дн.$	$Z_{осн}, руб$
Руководитель	26300	0,3	0,2	1,3	51285	2147,3	13,5	28988,6
Инженер	17000	0,3	0,2	1,3	33150	1743,1	68,5	119402,4
Итого:								148391

Дополнительная заработная плата определяется по формуле:

– для руководителя:

$$Z_{\partialоп} = k_{\partialоп} \cdot Z_{осн} = 0,15 \cdot 28988,6 = 4348,3 \text{ руб.}$$

– для инженера:

$$Z_{\partialоп} = k_{\partialоп} \cdot Z_{осн} = 0,15 \cdot 119402,4 = 17910,4 \text{ руб.},$$

где $k_{доп}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимаем равным 0,15) [25].

7.3.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

В данном разделе отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников. Отчисления во внебюджетные фонды определяется по формуле:

– для руководителя:

$$З_{внеб} = k_{внеб} (З_{осн} + З_{доп}) = 0,3 \cdot (28988,6 + 4348,3) = 10001,1 \text{ руб.}$$

– для инженера:

$$З_{внеб} = k_{внеб} (З_{осн} + З_{доп}) = 0,3 \cdot (119402,4 + 17910,4) = 41193,8 \text{ руб.},$$

где $k_{внеб}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд ОМС и социальное страхование). Общая ставка взносов составляет в 2022 году – 30%, согласно Постановлению Правительства РФ от 16.11.2021 № 1951.

7.3.5 Накладные расходы

Не все затраты в производстве переходят непосредственно в продукт и могут быть напрямую запланированы и учтены в его себестоимости, тем не менее затраченные средства оказываются абсолютно необходимыми для изготовления продукции, ее реализации, продвижения на рынке, а также управления самой организацией. Этот тип затрат не выделяется отдельной

статьей в Налоговом кодексе РФ, естественно, там не прописана и их структура [25]. При бухучете их также невозможно однозначно дифференцировать. Законом закреплён перечень накладных расходов только в отраслях строительства и медицины. Все остальные предприятия должны определять накладные расходы самостоятельно, закрепляя это в своей учетной политике.

Принятое в бизнесе понятие накладных расходов подразумевает траты, которые нельзя отнести непосредственно к технологическим процессам производства, сопровождающие процесс производства, но не входящие в стоимость работы и сырья. Другое название накладных расходов – косвенные издержки. Из указывают при планировании и составлении смет как фирмы в целом, так и отдельных структурных подразделений.

Накладные расходы включают в себя следующие расходы: печать ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи и т.д. Сумма 5 статьи затрат, рассчитанных выше, приведена в таблице ниже и используются для расчета накладных расходов. Группировка затрат по статьям представлена в таблице 22.

Таблица 22 – Группировка затрат по статьям

Статьи					
1	2	3	4	5	6
Амортизация	Сырье, материалы	Основная заработная плата	Дополнительная заработная плата	Отчисления на социальные нужды	Итого без накладных расходов
11750	4290	148391	22258,7	51194,9	237884,6

Величина накладных расходов определяется по формуле:

$$З_{накл} = (\text{сумма статей } 1 \div 5) \cdot k_{нр},$$

где $k_{нр}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы. Величина коэффициента принимается равной 0,2.

На основании полученных данных по отдельным статьям затрат составляется калькуляция плановой себестоимости научно-исследовательской работы по форме, приведенной в таблице 15. В таблице также представлено определение бюджета затрат двух конкурирующих научно-исследовательских проектов.

Таблица 23 – Группировка затрат по статьям

№	Наименование статьи	Сумма, руб.		
		Текущий Проект	Исп.2	Исп.3
1	Материальные затраты НИР	4290	9700	15945
2	Затраты на специальное оборудование	11750	32959,8	43453
3	Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	148391	148391	148391
4	Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	22258,7	22258,7	22258,7
5	Отчисления во внебюджетные фонды	51194,9	51194,9	51194,9
6	Накладные расходы	47576,92	52900,88	49776,6
Бюджет затрат НИР		285461,52	317405,28	331019,2

7.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности [22].

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получают в ходе оценки бюджета затрат трех (или более)

вариантов исполнения научного исследования. Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принимается за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения. Для определения эффективности исследования рассчитан интегральный показатель эффективности научного исследования путем определения интегральных показателей финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получен в процессе оценки бюджета затрат трех вариантов исполнения научного исследования. Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принят за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

В качестве аналогов данной НИР рассмотрены:

- 1) колонны ректификационные (ООО НПП "НОУПРОМ");
- 2) фракционирование нефтяных смесей (ООО "НПП Нефтехим").

Интегральный финансовый показатель разработки рассчитывается как:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{ri}}{\Phi_{\text{max}}},$$

где $I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i}$ – интегральный финансовый показатель разработки;

Φ_{ri} – стоимость i -го варианта исполнения;

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения.

$\Phi_{\text{текущ.проект}} = 285461,52$ руб, $\Phi_{\text{исп.1}} = 317405,28$ руб, $\Phi_{\text{исп.2}} = 331019,2$ руб.

$$I_{\text{финр}}^{\text{тек.пр.}} = \frac{\Phi_{\text{тек.пр.}}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{285461,52}{331019,2} = 0,87;$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.2}} = \frac{\Phi_{\text{исп.2}}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{317405,28}{331019,2} = 0,96;$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.3}} = \frac{\Phi_{\text{исп.3}}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{331019,2}{331019,2} = 1.$$

В результате расчета консолидированных финансовых показателей по трем вариантам разработки вариант 1 (текущий проект) с меньшим перевесом признан считается более приемлемым с точки зрения финансовой эффективности. В целом, данный проект является перспективным с точки зрения ресурсопотребления, так как в отличие от аналогов в проекте предусмотрены меньшие затраты на себестоимость будущей продукции за счет использования местных недорогих сырьевых материалов и возможное достижение требуемых характеристик

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов выполнения НИР (I_{pi}) определен путем сравнительной оценки их характеристик, распределенных с учетом весового коэффициента каждого параметра (таблица 1.16).

Таблица 24 – Сравнительная оценка характеристик вариантов НИР

Объект исследования Критерии	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Исп.2	Исп.3
1. Безопасность при использовании установки	0,15	4	4	4
2. Стабильность работы	0,2	4	4	5
3. Технические характеристики	0,2	5	3	3
4. Механические свойства	0,3	5	4	3
5. Материалоёмкость	0,15	5	5	5
ИТОГО	1	4,65	3,95	3,85

Расчет интегрального показателя для разрабатываемого проекта:

$$I_{p1} = 0,15 \cdot 4 + 0,2 \cdot 4 + 0,2 \cdot 5 + 0,3 \cdot 5 + 0,15 \cdot 5 = 4,65;$$

$$I_{p2} = 0,15 \cdot 4 + 0,2 \cdot 4 + 0,2 \cdot 3 + 0,3 \cdot 4 + 0,15 \cdot 5 = 3,95;$$

$$I_{p3} = 0,15 \cdot 4 + 0,2 \cdot 5 + 0,2 \cdot 3 + 0,3 \cdot 3 + 0,15 \cdot 5 = 3,85.$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки вычисляется на основании показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{исп.i} = \frac{I_{p-исп.i}}{I_{финр}^{исп.i}}. \quad (20)$$

$$I_{исп.1} = \frac{4,65}{0,87} = 5,34 \quad I_{исп.2} = \frac{3,95}{0,96} = 4,11, \quad I_{исп.3} = \frac{3,85}{1} = 3,85.$$

Далее интегральные показатели эффективности каждого варианта сравнивались с интегральными показателями эффективности других вариантов с целью определения сравнительной эффективности проекта (таблица 24).

Таблица 24 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Текущий проект	Исп.2	Исп.3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,87	0,96	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,65	3,95	3,85
3	Интегральный показатель эффективности	5,34	4,11	3,85
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	0,82	0,77

Сравнение среднего интегрального показателя сопоставляемых вариантов позволило сделать вывод о том, что наиболее финансово- и ресурсоэффективным является вариант 1 (текущий проект). Разработка, представленная в текущей работе, является более эффективной по сравнению с конкурентами.

Выводы по разделу:

В результате выполнения целей раздела можно сделать следующие выводы:

Анализ конкурентных технических решений помог внести коррективы в проект, чтобы успешнее противостоять соперникам. При проведении данного анализа была проведена оценка сильных и слабых сторон конкурентов. В результате был проведен выбор одного из вариантов реализации выпускной квалификационной работы как наиболее конкурентоспособного и оптимального по сравнению с другими.

Важнейшая составляющая часть работы над проектом – построение подробного плана предстоящих работ. В ходе планирования для руководителя и инженера был разработан график реализации этапа работ, который позволяет оценивать и планировать рабочее время исполнителей. Определено следующее: общее количество календарных дней для выполнения работ составляет 102 дней; общее количество дней, в течение которых работал инженер, составляет 98 дней; общее количество дней, в течение которых работал руководитель, составляет 20 дней;

Управление стоимостью (затратами) проекта объединяет процессы, выполняемые в ходе планирования, разработки бюджета и контролирования затрат, обеспечивающие завершение проекта в рамках утвержденного бюджета. Для оценки затрат на реализацию проекта разработан проектный бюджет, который составляет 285461,52 руб;

Результат оценки эффективности ИР показывает следующие выводы:

Сравнение значений интегральных показателей эффективности позволяет понять и выбрать более эффективный вариант решения поставленной технической задачи с позиции финансовой и ресурсной эффективности. Значение интегрального финансового показателя составляет 0,87, что является

показателем того, что проект является финансово выгодной по сравнению с аналогами.

Значение интегрального показателя ресурсоэффективности ВКР составляет 4,65, по сравнению с 3,95 и 3,85 двух других конкурентноспособных вариантов;

Значение интегрального показателя эффективности составляет 5,34, по сравнению с 4,11 и 3,85, и является наиболее высоким, что означает, что техническое решение, рассматриваемое в ВКР, является наиболее эффективным вариантом исполнения.

8. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

В соответствии с Федеральным законом «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» от 21.07.97 г. № 116-ФЗ разрабатываемая ректификационная колонна относится к категории опасных производственных объектов:

- получение, переработка легковоспламеняющихся и горючих жидкостей.

В соответствии со статьей 37 второй главы Конституцией Российской Федерации: «Каждый имеет право на труд в условиях, отвечающих требованиям безопасности ...». Согласно статье 7, п.2: «В РФ охраняется труд и здоровье людей, устанавливается гарантированный минимальный размер оплаты труда, обеспечивается гос. поддержка семьи, материнства, отцовства и детства, инвалидов и пожилых граждан». Согласно статье 41, п.1: «Каждый имеет право на охрану здоровья и медицинскую помощь». Согласно статье 42: «Каждый имеет право на благоприятную окружающую среду, достоверную информацию о ее состоянии и на возмещение ущерба, причиненного его здоровью или имуществу экологическим правонарушением», [25].

Все рабочие и служащие, поступающие на работу, подлежат предварительному медицинскому освидетельствованию. Все трудящиеся на рабочих местах, где возможно присутствие в воздухе рабочей зоны вредных газов и паров, а также возможен непосредственный контакт с опасными реагентами и продуктами производства, обеспечиваются средствами индивидуальной защиты, спецодеждой и обувью в соответствии с нормами трудового законодательства.

Оплата труда работников, занятых на работах с вредными и (или) опасными условиями труда, устанавливается в повышенном размере. [26, Статья 147]. Каждый час работы в ночное время оплачивается в повышенном размере по сравнению с работой в нормальных условиях, но не ниже размеров,

установленных трудовым законодательством и иными нормативными правовыми актами, содержащими нормы трудового права [26, Статья 154].

При работе с ректификационной колонной, а также нахождение рядом с оборудованием запрещено без допуска к работе с вредными и токсичными веществами, без спецодежды и других защитных средств. Средства защиты перед началом работы должны быть проверены.

8.1 Производственная безопасность

Для обеспечения производственной безопасности необходимо выявить и обезопасить от опасных и вредных производственных факторов работников. К опасным производственным факторам производства относятся:

1. отравление парами углеводородов и иных токсичных веществ;
2. поражение электрическим током;
3. наличие оборудования и трубопроводов, работающих под давлением;
4. опасность получения термических ожогов;
5. опасность возникновения взрыва и пожара.

К вредным производственным факторам производства относятся:

1. недостаточная освещенность;
2. воздействие вибрации и различных шумов на производстве;
3. повышенная температура воздуха рабочей зоны, изменение микроклимата рабочей зоны;
4. воздействие паров углеводородов, продуктов сгорания углеводородов;
5. воздействие компьютера;

В соответствии с рекомендациями на предприятии должны быть соблюдены санитарно-гигиенические нормы по метеоусловиям. Особое внимание следует уделить освещению, отоплению и вентиляции цеха [27].

8.2 Выявление вредных и опасных факторов при эксплуатации ректификационной колонны

1. Рациональное освещение производственных помещений в светлое время суток осуществляется за счет естественного освещения через оконные проемы в наружных стенах. В темное время суток применяется общее местное и комбинированное искусственное освещение. Предусмотрено также аварийное и дежурное освещение. Это обеспечивает безопасные и здоровые условия труда. Освещение, соответствующее санитарным нормам, является главнейшим условием гигиены труда и культуры производства. При хорошем освещении устраняется напряжение зрения, ускоряется темп работы. Недостаточное освещение рабочих мест отрицательно влияет на хрусталик глаза, что может привести к близорукости.
В целях сохранения работоспособности в течение рабочей смены необходимым условием является рациональное освещение помещений и рабочих мест, которое обеспечивается естественным и искусственным освещением согласно СНиП 23-05-095 [28].
2. Источниками шума в производственном помещении являются вентиляторы и электродвигатели рабочих механизмов, уровень шума которых при установке в соответствие с техническими требованиями не должен превышать допустимых норм. Если число колебаний в секунду не превышает 16, то они воспринимаются человеком как сотрясения и называются вибрацией. Частота колебаний от 16 до 20000 в секунду воспринимается органами слуха как шум, колебания

с частотой выше этого предела не ощущаются человеком, и называются ультразвуками. Вибрация приводит к преждевременному износу деталей, механизмов, может вызвать аварию, вредно действует на сердечно-сосудистую и нервную системы организма, вызывает снижение слуха и даже стойкую глухоту, является причиной снижения работоспособности, ослабления памяти, внимания, остроты зрения, что увеличивает возможность травматизма [29].

3. Микроклимат - климатические условия, созданные в ограниченном пространстве искусственно в закрытых помещениях или обусловленные природными особенностями. Он определяется действующими на организм человека сочетаниями температуры, влажности и скорости движения воздуха, а также температурой окружающих поверхностей. Поддержание оптимального микроклимата возможно только в том случае, если предприятие оснащено установкам кондиционирования микроклимата. В остальных случаях следует обеспечивать допустимые микроклиматические условия, т.е. такие, при которых хотя и могут возникать напряжения терморегуляции организма, но не выходят за пределы его физиологических приспособительных возможностей. При этом не возникают нарушения состояния здоровья, но может наблюдаться ухудшение самочувствия и понижение работоспособности. Микроклимат производственных помещений определяется назначением помещения и характером технологического процесса [29]. В целях исключения вредного влияния микроклиматических факторов на организм человека и создания нормальных условий труда в рабочей зоне параметры воздушной среды должны соответствовать СанПин 2.2.4.548-96 [30].
4. Воздействие вредных и опасных веществ напрямую связано с любым химическим производством. При проведении различных

технологических процессов в воздух выделяются твердые и жидкие частицы, а также пары и газы. Пары и газы образуют с воздухом смеси, а твердые и жидкие частицы – аэродисперсные системы – аэрозоли. Существуют различные классификации вредных веществ, в основу которых положено их действие на человеческий организм. В соответствии с наиболее распространенной (по Е.Я. Юдину и С.В. Белову) классификацией, вредные вещества делятся на шесть групп: общетоксические, раздражающие, сенсibiliзирующие, канцерогенные, мутагенные, влияющие на репродуктивную (детородную) функцию человеческого организма.

5. Вредное воздействие компьютера при работе оператора по контролю рабочих параметров процессов оказывает следующие воздействия: проблемы с мышцами, длительное сидячее положение негативно сказывается на циркуляции крови в теле и на положение позвоночника; негативное воздействие на зрение человека при длительной работе; нарушение внимания и усталость при поиске информации; воздействие на нервную систему. В целях уменьшения пагубного влияния компьютера необходимо сокращение времени компьютерной работы, увеличение числа перерывов в соответствии с рекомендацией СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 [31].
6. При работе с электрическими установками на производстве, приборами в быту следует соблюдать требования электробезопасности. Они представляют собой систему организационных и технических мероприятий и средств, которые обеспечивают защиту людей от вредного и опасного действия электрического тока. Действие электрического тока на организм человека носит многообразный характер. Проходя через организм человека, электрический ток вызывает термическое, электролитическое и биологическое действие. Термическое действие тока проявляется в ожогах тела, нагреве до высокой температуры

внутренних органов человека (кровеносных сосудов, сердца, мозга). Электролитическое действие тока проявляется в разложении органических жидкостей тела (воды, крови) и нарушении их физико-химического состава. Биологическое действие тока проявляется в раздражении и возбуждении живых тканей организма и сопровождается непроизвольными судорожными сокращениями мышц (сердца, лёгких) [29]. Основные способы и средства электрозащиты: изоляция токопроводящих частей и ее непрерывный контроль; установка оградительных устройств; предупредительная сигнализация и блокировки; использование знаков безопасности и предупреждающих плакатов; использование малых напряжений; электрическое разделение сетей; защитное заземление; выравнивание потенциалов; зануление; защитное отключение; средства индивидуальной электрозащиты [32].

7. Противопожарные мероприятия на производстве выполняются в соответствии с "Правилами пожарной безопасности в Российской Федерации" [33], СНиП 2.04.09-84 "Пожарная автоматика зданий и сооружений" [34], справочником руководителя тушения пожара (под ред. Иванникова); СНиП 2.04.01-85 "Внутренний водопровод и канализация" [35], и СНиП 2.04.02-84 "Водоснабжение. Наружные сети и сооружения" [36] обеспечение пожарной безопасности и пожаротушения возлагается на руководителя предприятия. Так же местоположение первичных средств пожаротушения и пожарного инвентаря должно быть согласовано с органами пожарного надзора. Пожарные щиты с набором инвентаря (огнетушителями ОХП-10, ОУ-5 для тушения электрооборудования, ведра, лопаты, топор), и ящиками для песка $V=1,0 \text{ м}^3$ предусматриваются на выходе из помещений и здания цеха таким образом, чтобы не препятствовать вынужденной эвакуации людей.

8.3 Экологическая безопасность

Функционирование проектируемой ректификационной колонны оказывает негативное влияние на качество окружающей среды. При работе с ректификационной колонной отвод сточных вод отсутствует, как и отходы в литосферу, ввиду ненужности. Решения по обеспечению экологической безопасности, охрана окружающей среды достигается комплексом мероприятий, направленных на предотвращение утечек и сокращение потерь от испарения. Комплекс проектных мероприятий, направленных на уменьшение воздействия объектов на окружающую среду должен включать:

1. принятие герметичных схем приема-откачки продуктов;
2. обеспечение сбора утечек с оборудования с дальнейшим возвратом в технологический процесс;
3. подъём на оптимальную высоту труб выбросов организованных источников для улучшения рассеивания;
4. закрытый дренаж трубопроводов и оборудования;
5. сбор проливов продуктов из отбортованных площадок в дренажные ёмкости с последующим возвратом на переработку;
6. лабораторный контроль за соблюдением нормативов выбросов вредных веществ в атмосферу.

8.4 Безопасность при чрезвычайных ситуациях

В результате реализации принятых в ходе работы над ВКР проектных решений на производстве могут возникнуть следующие чрезвычайные ситуации:

1. возникновение пожара и взрыва (ввиду пожаро- и взрывоопасности разделяемой фракционной смеси);

2. возникновение производственных аварий техногенного характера (нарушение герметичности оборудования, разрыв трубопроводов);

Мероприятия по предотвращению воздействия ветровой нагрузки и сейсмических сил в данном проектом расчете обусловлено расчетом проектируемой колонны на действие ветровой и сейсмической нагрузки в разделе: "конструктивно-механический расчет".

Механизм ликвидации последствий возникновения производственных аварий техногенного характера состоит из эвакуации персонала из зоны поражения, локализации источника аварии, ремонтных работ и устранения причин аварии. В связи, с чем за наиболее типичную и опасную ЧС, защиту от которой необходимо предусмотреть, на данном производстве примем: возникновение пожара. Причинами возникновения пожара и взрыва могут служить:

1. технические неполадки, в результате которых происходит отклонение технологических параметров от регламентных значений, вплоть до разрушения оборудования;

2. неосторожное обращение с огнем при производстве ремонтных работ;

3. события, связанные с человеческим фактором: неправильные действия персонала, неверные организационные или проектные решения, постороннее вмешательство (диверсии) и т.п.;

4. внешнее воздействие техногенного или природного характера: аварии на соседних объектах, ураганы, землетрясения, наводнения, пожары.

Меры по предотвращению ЧС включают в себя соблюдение техники безопасности, оснащение производственных зданий и территории промплощадки первичными средствами пожаротушения и мероприятия по

пожарной безопасности в соответствии с Приказом МЧС РФ от 18.06.2003 N 313. Об утверждении правил пожарной безопасности в российской Федерации (ППБ 01-03). [37]. Местоположение первичных средств пожаротушения и пожарного инвентаря должно быть согласовано с органами пожарного надзора.

Последовательность и механизмы действия при пожаре приведены в соответствии с действующими нормативно-правовыми актами и инструкциями. При возникновении пожара необходимо отключить ректификационную колонну от сети, вентиляцию, убрать огнеопасные предметы в безопасное место, одновременно, по возможности, ликвидировать очаг. Средства тушения применять с учетом того, что является источником пожара. Для тушения горячей одежды использовать воду, для горящих электроустановок - углекислые огнетушители, для тушения воспламененных установок, закрепленных штативом - асбестовое одеяло.

Выводы по разделу

Любая компания существует в обществе и оказывает влияние на него через производство товаров и услуг, экологического, экономического воздействия. Корпоративная социальная ответственность позволяет компаниям делать индивидуальный выбор программ, отражающий цели и видение компании. Разработка программы корпоративной социальной ответственности позволит компаниям ответственно подходить к своей деятельности, рассматривать ее воздействие на общество в перспективе, предвидя проблемы и решая их. Именно поэтому так важно проводить анализ не только всего производства, как единое целое, но еще и аппаратов по отдельности.

В данной работе был проведен анализ обеспечения безопасности на рабочем месте, экологической безопасности и безопасности в чрезвычайных ситуациях. Выявлен ряд мероприятий для того, чтобы обезопасить производственный процесс.

Заключение

В ходе выпускной квалификационной работы был проведен расчет ректификационной колонны для перегонки водного раствора этилового спирта непрерывного действия по заданным параметрам (производительность, содержанию легколетучего компонента в исходной смеси).

В ходе технологического расчета составлен материальный баланс и рассчитано оптимальное флегмовое число колонны (равное 0.928). Графическим методом Мерфи было найдено оптимальное значения числа теоретических тарелок.

Рассчитаны следующие данные:

- Расход дистиллята – 0.04 кг/с;
- Расход кубового остатка – 0.18 кг/с;
- Рабочее флегмовое число – 0.938;
- Диаметр колонны – 300 мм;
- Число действительных тарелок – 5 штук: 3 нижних и 2 верхних;
- Высота колонны – 1400 мм;
- Толщина цилиндрической обечайки, эллиптического днища и крышки – 6 мм;
- Толщина тепловой изоляции – 27.5 мм;

В качестве горизонтальной перегородки в колонне, где барботируют поднимающиеся снизу пары принята тарелка ТС по ОСТ 26-805-73.

Так же был произведен выбор исполнительной марки стали – В Ст3 сп. Рассчитаны размеры фланцев. Все расчетные единицы имеют стандартные размеры, что позволит снизить затраты при сборке, эксплуатации и ремонте.

Список использованной литературы

1. Дытнерский Ю.И. Процессы и аппараты химической технологии. Учебник для вузов. Часть 1. - М.:Химия, 1995 - С. 400
2. Павлов К.Ф. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии: Учебное пособие для вузов под ред. чл.-корр. / П.Г. Романков., А.А. Носков/ Репринтное воспроизведение издания 1987 г. – М.: Альянс, 2013. – 576 с.
3. Дж. Перри. Справочник инженера-химика, т. 1. Перевод с англ. под ред. акад. Жаворонкова Н.М.: Издат: Химия, 1969 - с. 640
4. Коган В.Б. Равновесия между жидкостью и паром/ В.М. Фридман, В.В. Кафаров. - Книга первая, справочное пособие. Часть 2 – Издательство "Наука", Москва, Ленинград, 1966 г. - 641 с.
5. Александров И.А. Ректификационные и адсорбционные аппараты. Методы расчета и основы конструирования - 1971 - с.138
6. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии: Учебник для вузов. - 1973 г. - М.: Альянс, 2014 - 752 с.
7. ОСТ 26-805-73 Тарелки ситчатые колонных аппаратов. Типы и параметры. Конструкция и размеры
8. Кулешев В.П. Охрана труда в нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности: Учебник для вузов.-М.:Химия, 1983.- 472 с.
9. Фролов К.В. Требования предъявляемые к конструкционным материалам// Конструкционные материалы - 1999 - С. 37-71
10. Дытнерский Ю.И. Основные процессы и аппараты химической технологии: Пособие по проектированию /Г.С.Борисов, В.П.Брыков, Ю.И. Дытнерский и др. 2-е изд., перераб. и доп. М.:Химия, 1991. – 452 с.
11. Дытнерский Ю.И. Процессы и аппараты химической технологии. Учебник для вузов. Часть 2. - М.:Химия, 1995 - С. 395.

- 12.ГОСТ 52857.4-2007 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет на прочность и герметичность фланцевых соединений.
- 13.ГОСТ 24306-80 Сосуды и аппараты стальные сварные. Технические требования.
- 14.ГОСТ 6533-68 Днища эллиптические отбортованные стальные для сосудов, аппаратов и котлов.
- 15.ГОСТ 6533-68 Днища эллиптические отбортованные стальные для сосудов, аппаратов и котлов.
- 16.ГОСТ 22356-77 Болты и гайки высокопрочные и шайбы. Общие технические условия.
- 17.ОСТ 26-373-78 Нормы и методы расчета на прочность фланцевых соединений сосудов и аппаратов.
- 18.ГОСТ 15180-86 Прокладки плоские эластичные. Основные параметры и размеры.
- 19.Семакина О.К., Машины и аппараты химических производств: учебное пособие / Томский политехнический университет. - Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. - 127 с.
- 20.ГОСТ Р 51273-99 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Определение расчетных усилий для аппаратов колонного типа от ветровых нагрузок и сейсмических воздействий.
- 21.АТК 26.200.04-90 Опоры цилиндрические и конические вертикальных аппаратов. Типы и основные размеры.
- 22.Рыжакина Т Г. Экономический расчет предприятия: Методические указания, 2003.- 30 с.
- 23.СНиП 2.09.04-85 Административные и бытовые здания.
- 24.Коротков Э.М. Корпоративная социальная ответственность: учебник для бакалавров / Э. М. Коротков, О. Н. Александрова, С. А. Антонов [и др.] ; под ред. Э. М. Короткова. - М. : Издательство Юрайт, 2017. - 445 с. - Серия : Бакалавр. Базовый курс.

25. Конституция Российской Федерации (принята всенародным голосованием 12.12.1993) (с учетом поправок, внесенных Законами РФ о поправках к Конституции РФ от 30.12.2008 N 6-ФКЗ, от 30.12.2008 N 7-ФКЗ, от 05.02.2014 N 2-ФКЗ, от 01.07.2020 N 11-ФКЗ) // Собрание законодательства РФ, 01.07.2020, N 31, ст. 4398.
26. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 25.02.2022) (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.03.2022) [Электронный ресурс] — URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_law_34683
27. Кушелев В.П. Основы техники безопасности на предприятиях химической промышленности. - Л.: Химия, 1977 - 279 с.
28. Строительные нормы и правила: СНиП 23-05-95. Естественное и искусственное освещение: нормативно-технический материал. - Москва: 1996. - 79 с.
29. Крепша Н.В. Безопасность жизнедеятельности: учебное пособие для иностранных студентов / Н.В. Крепша; Национальный исследовательский Томский политехнический университет - Томск: изд-во Томского политехнического университета, 2014. - 198 с.
30. Строительные нормы и правила: СанПин 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. - Москва: 1996. - 12 с.
31. Строительные нормы и правила: СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы. - Москва: 2003. - 32 с.
32. Правила устройства электроустановок: ПУЭ от 01.01.2003. Общие правила.- Москва: 2003. - 14 с.
33. Приказ Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий

стихийных бедствий: Правила пожарной безопасности в РФ от 18 июня 2003 г. № 313 - Москва: [б.и.], 2003. - 138 с.

- 34. Строительные нормы и правила: СНиП 2.04.09-84 Пожарная автоматика зданий и сооружений.- Москва: [б.и.], 1998. - 24 с.
- 35. Строительные нормы и правила: СНиП 2.04.01-85 Внутренний водопровод и канализация.- Москва: [б.и.], 1996. - 63 с.
- 36. Строительные нормы и правила: СНиП 2.04.02-84 Водоснабжение. аружные сети и сооружения.- Москва: [б.и.], 1996. - 177 с.
- 37. Приказ МЧС РФ от 18.06.2003 313. Об утверждении Правил пожарной безопасности в Российской Федерации (ППБ 01-03). - 94 с.

Приложение

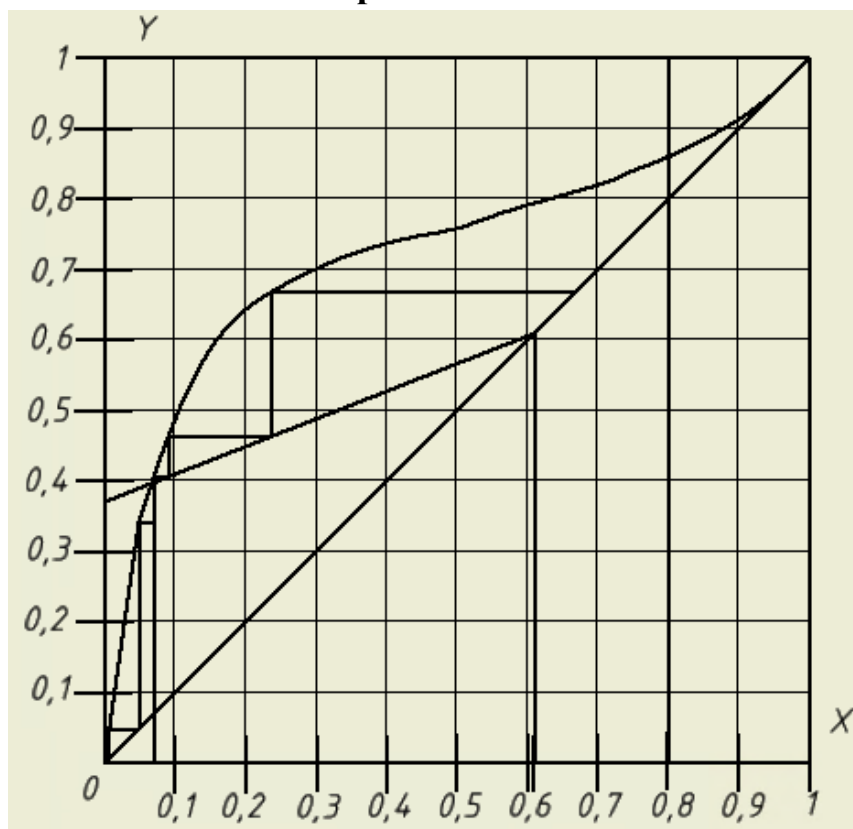


Рисунок 6 - Теоретические тарелки для $\beta = 1,1$

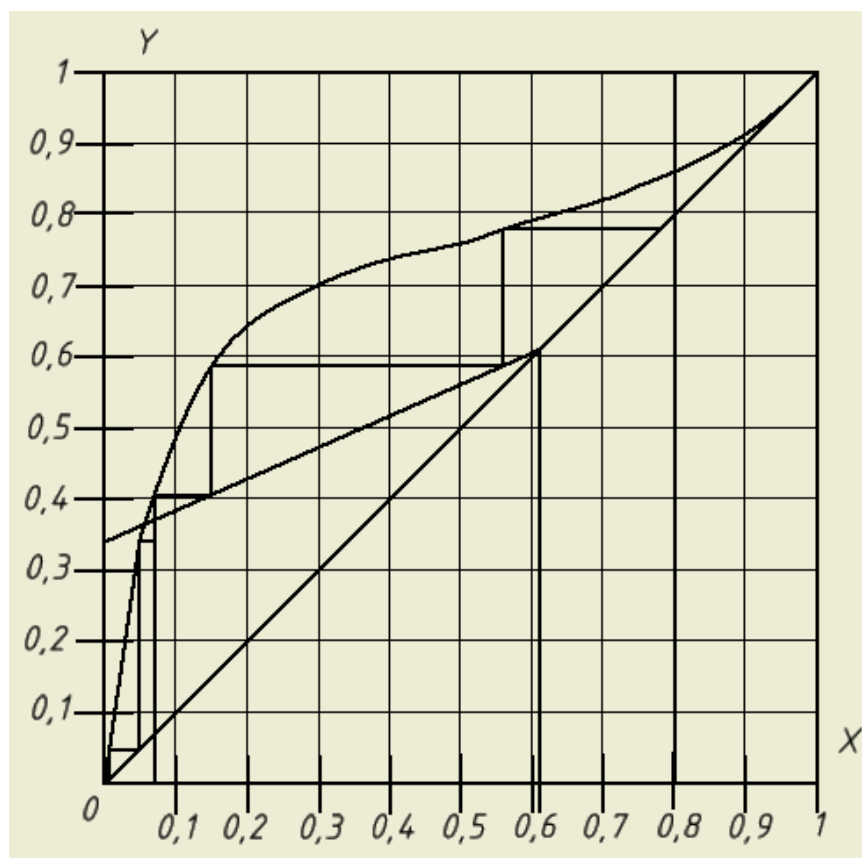


Рисунок 7 - Теоретические тарелки $\beta = 1,35$

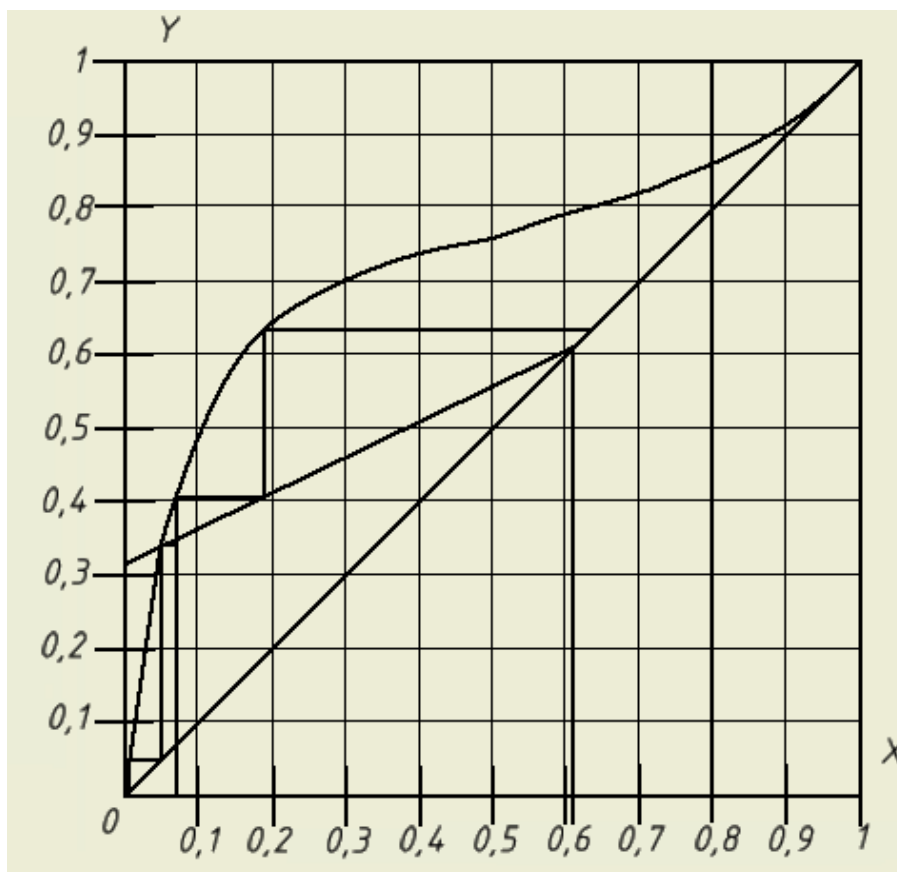


Рисунок 8 - Теоретическое количество тарелок $\beta = 1,6$

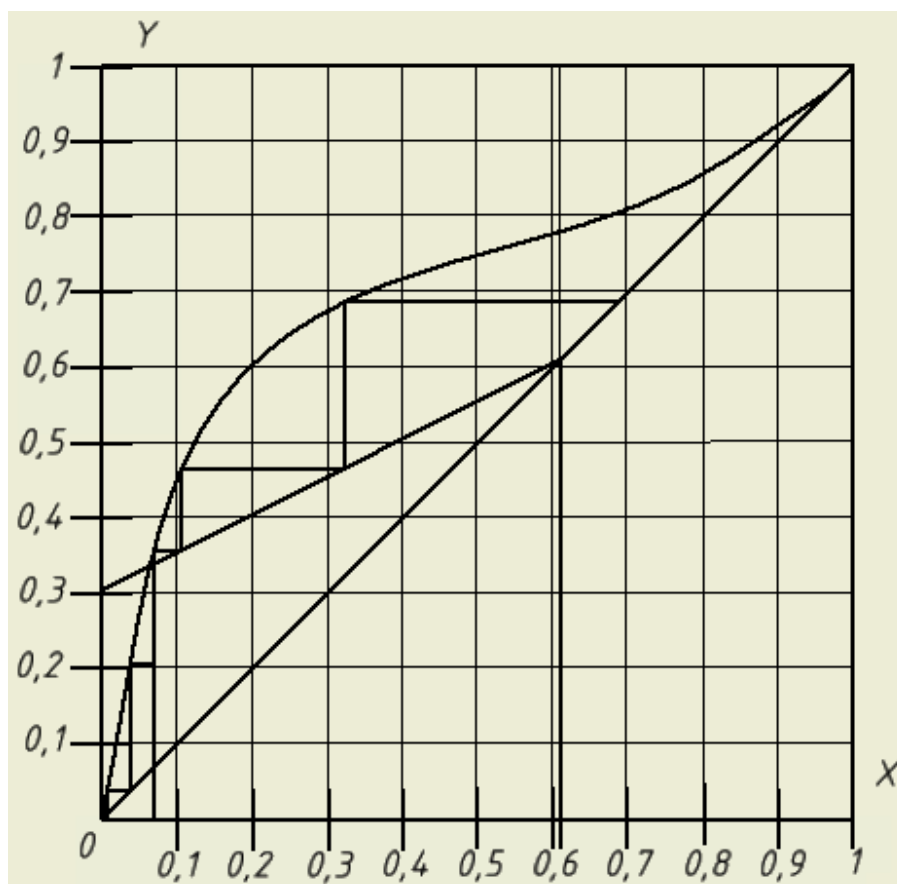


Рисунок 9 - Теоретические тарелки для $\beta = 1,65$

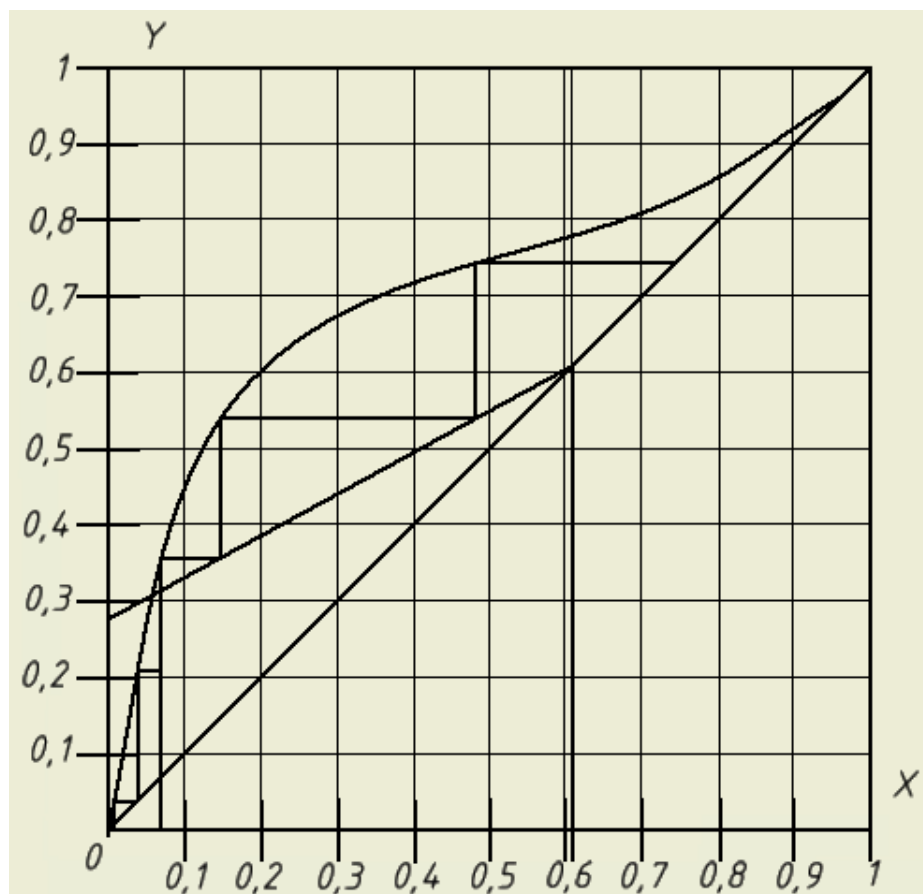


Рисунок 10 - Теоретические тарелки для $\beta = 1,9$