

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

Школа Инженерная школа природных ресурсов
 Направление подготовки 18.03.01. Химическая технология
 ООП/ОПОП Химическая технология переработки нефти и газа / специализация
«Технология нефтегазохимии и полимерных материалов»
 Отделение школы Отделение химической инженерии

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА БАКАЛАВРА

Тема работы
Проект узла гидрирования бензола

УДК 547.532:66.094.25.023.2

Обучающийся

Группа	ФИО	Подпись	Дата
з-2Д8А	Ларина Оксана Дмитриевна		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Сорока Людмила Станиславовна	К.Х.Н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Рыжакина Татьяна Гавриловна	К.Э.Н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Сечин Андрей Александрович	К.Т.Н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП/ОПОП/должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Волгина Татьяна Николаевна	К.Х.Н.		

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

Школа Инженерная школа природных ресурсов
 Направление подготовки 18.03.01. Химическая технология
 ООП/ОПОП Химическая технология переработки нефти и газа / специализация
«Технология нефтегазохимии и полимерных материалов»
 Отделение школы Отделение химической инженерии

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
выполнения выпускной квалификационной работы

Обучающийся

Группа	ФИО
3-2Д8А	Ларина Оксана Дмитриевна

Тема работы

Проект узла гидрирования бензола

Срок сдачи обучающимся выполненной работы:	01.06.2023
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
17.10.2022	Обзор литературы: технико-экономическое обоснование проекта, физико-химические основы процесса, выбор конструкции основного аппарата, выбор технологической схемы производства	15
26.12.2022	Исходные данные для проектирования: характеристика продуктов, исходного сырья, полупродуктов и материалов, описание технологической схемы производства	10
13.03.2023	Инженерные расчеты: материальный расчет, тепловой расчет, технологический расчет основного аппарата, механический расчет основного аппарата	25
03.04.2023	Графическая часть: чертеж общего вида реактора	15
17.04.2023	Инженерные расчеты: подбор вспомогательного оборудования, контроль производства и управления	5
02.05.2023	Графическая часть: чертеж сборочных единиц реактора, чертеж технологической схемы	10
22.05.2023	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение / Социальная ответственность	20
01.06.2023	Сдача готовой работы	



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

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Сорока Людмила Станиславовна	к.х.н.		03.10.2022

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП/ОПОП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Волгина Татьяна Николаевна	к.х.н.		03.10.2022

Обучающийся

Группа	ФИО	Подпись	Дата
з-2Д8А	Ларина Оксана Дмитриевна		03.10.2022

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

	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Инженерные расчеты (материальный и тепловой баланс, конструкционный расчет, подбор вспомогательного оборудования, контроль и управление производства) ▪ Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение ▪ Социальная ответственность
Перечень графического материала	<ol style="list-style-type: none"> 1. Технологическая схема 2. Реактор. Вид общий 3. Реактор. Сборочные единицы
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Рыжакина Т.Г.
Социальная ответственность	Сечин А.А.
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском языке:	
обзор литературы, исходные данные для проектирования, инженерные расчеты, финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение, социальная ответственность	
Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	03.10.2022

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Сорока Людмила Станиславовна	к.х.н.		03.10.2022

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-2Д8А	Ларина Оксана Дмитриевна		03.10.2022

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ ООП/ОПОП

Код компетенции	Наименование компетенции
Универсальные компетенции	
УК(У)-1	Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач
УК(У)-2	Способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений
УК(У)-3	Способен осуществлять социальное взаимодействие и реализовывать свою роль в команде
УК(У)-4	Способен осуществлять деловую коммуникацию в устной и письменной формах на государственном языке Российской Федерации и иностранном(-ых) языке(-ах)
УК(У)-5	Способен воспринимать межкультурное разнообразие общества в социально-историческом, этическом и философском контекстах
УК(У)-6	Способен управлять своим временем, выстраивать и реализовывать траекторию саморазвития на основе принципов образования в течение всей жизни
УК(У)-7	Способен поддерживать должный уровень физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности
УК(У)-8	Способен создавать и поддерживать в повседневной жизни и в профессиональной деятельности безопасные условия жизнедеятельности для сохранения природной среды, обеспечения устойчивого развития общества, в том числе при угрозе и возникновении чрезвычайных ситуаций и военных конфликтов
УК(У)-9	Способен проявлять предприимчивость в практической деятельности, в т.ч. в рамках разработки коммерчески перспективного продукта на основе научно-технической идеи
УК(У)-10	Способен принимать обоснованные экономические решения в различных областях жизнедеятельности
УК(У)-11	Способен формировать нетерпимое отношение к коррупционному поведению
Общепрофессиональные компетенции	
ОПК(У)-1	Способность и готовность использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности
ОПК(У)-2	Готовность использовать знания о современной физической картине мира, пространственно-временных закономерностях, строении вещества для понимания окружающего мира и явлений природы
ОПК(У)-3	Готовность использовать знания о строении вещества, природе химической связи в различных классах химических соединений для понимания свойств материалов и механизма химических процессов, протекающих в окружающем мире
ОПК(У)-4	Владение пониманием сущности и значения информации в развитии современного информационного общества, осознанием опасности и угрозы, возникающих в этом процессе, способностью соблюдать основные требования информационной безопасности, в том числе защиты государственной тайны

ОПК(У)-5	Владение основными методами, способами и средствами получения, хранения, переработки информации, навыками работы с компьютером как средством управления информацией
ОПК(У)-6	Владения основными методами защиты производственного персонала и населения от возможных последствий аварий, катастроф, стихийных бедствий
Профессиональные компетенции	
ПК(У)-1	Способность и готовность осуществлять технологический процесс в соответствии с регламентом и использовать технические средства для измерения основных параметров технологического процесса, свойств сырья и продукции
ПК(У)-2	Готовность применять аналитические и численные методы решения поставленных задач, использовать современные информационные технологии, проводить обработку информации с использованием прикладных программных средств сферы профессиональной деятельности, использовать сетевые компьютерные технологии и базы данных в своей профессиональной области, пакеты прикладных программ для расчета технологических параметров оборудования
ПК(У)-3	Готовность использовать нормативные документы по качеству, стандартизации и сертификации продуктов и изделий, элементы экономического анализа в практической деятельности
ПК(У)-4	Способность принимать конкретные технические решения при разработке технологических процессов, выбирать технические средства и технологии с учетом экологических последствий их применения
ПК(У)-5	Способность использовать правила техники безопасности, производственной санитарии, пожарной безопасности и нормы охраны труда, измерять и оценивать параметры производственного микроклимата, уровня запыленности и загазованности, шума, и вибрации, освещенности рабочих мест
ПК(У)-6	Способность наладивать, настраивать и осуществлять проверку оборудования и программных средств
ПК(У)-7	Способность проверять техническое состояние, организовывать профилактические осмотры и текущий ремонт оборудования, готовить оборудование к ремонту и принимать оборудование из ремонта
ПК(У)-8	Готовность к освоению и эксплуатации вновь вводимого оборудования
ПК(У)-9	Способность анализировать техническую документацию, подбирать оборудование, готовить заявки на приобретение и ремонт оборудования
ПК(У)-10	Способность проводить анализ сырья, материалов и готовой продукции, осуществлять оценку результатов анализа
ПК(У)-11	Способность выявлять и устранять отклонения от режимов работы технологического оборудования и параметров технологического процесса
Профессиональные компетенции университета	
ДПК(У)-1	Способность планировать и проводить химические эксперименты, проводить обработку результатов эксперимента, оценивать погрешности, применять методы математического моделирования и анализа при исследовании химико-технологических процессов
ДПК(У)-2	Готовность изучать научно-техническую информацию, отечественный и зарубежный опыт по тематике исследования
ДПК(У)-3	Готовность разрабатывать проекты индивидуально и в составе авторского коллектива

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
3-2Д8А	Ларина Оксана Дмитриевна

Школа	ИШПР	Отделение школы (НОЦ)	Отделение химической инженерии
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	18.03.01. Химическая технология

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Работа с информацией, представленной в российских и иностранных научных публикациях, аналитических материалах, статических бюллетенях и изданиях, нормативно-правовых документах; анкетирование; опрос.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Проведение предпроектного анализа. Определение целевого рынка и проведение его сегментирования. Выполнение SWOT-анализа проекта
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	Определение структуры работы. Расчет трудоемкости выполнения работ. Расчет себестоимости готовой продукции
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	Рассчитать показатели финансовой эффективности, ресурсоэффективности и эффективности производства

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. График проведения работ и себестоимость готовой продукции
2. Расчет безубыточности производства
3. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности производства. Расчет технико-экономических показателей

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	03.02.2023
---	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Рыжакина Татьяна Гавриловна	к.э.н		03.02.2023

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-2Д8А	Ларина Оксана Дмитриевна		03.02.2023

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа		ФИО	
3-2Д8А		Ларина Оксана Дмитриевна	
Школа	ИШПР	Отделение (НОЦ)	Отделение химической инженерии
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/ специальность	18.03.01. Химическая технология

Тема ВКР:

Проект узла гидрирования бензола	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»: Введе-	
<p>ние</p> <ul style="list-style-type: none"> – Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика) и области его применения. – Описание рабочей зоны (рабочего места) при разработке проектного решения/при эксплуатации 	<p><i>Объект исследования - процесс гидрирования бензола</i> <i>Область применения – для получение циклогексана процесс гидрирование осуществляется в производственном помещении.</i> <i>Рабочая зона: процесс гидрирование осуществляется в производственном помещении.</i> <i>Размеры помещения: 200x250 м</i> <i>Количество и наименование оборудования рабочей зоны В процессе производства участвует разнообразное оборудование- трубопроводы, реакторы, насосы, подогреватель, компрессор, колонна форконтакта, теплообменники, холодильник-конденсатор, сборник, сепарационные колонны сеператор.</i> <i>Рабочие процессы, связанные с объектом исследования, осуществляющиеся в рабочей зоне: каталитическое гидрирование</i></p>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<p>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности при эксплуатации</p> <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	<ul style="list-style-type: none"> – <i>Специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</i> – <i>Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</i> – <i>ГОСТ 12.1.007-76 "Вредные вещества. Классификация и общие требования" используется при оформлении паспорта безопасности химической продукции</i> – <i>ГОСТ 12.2.049-80 ССБТ. Оборудование производственное. Общие эргономические требования.</i> – <i>ГОСТ Р 12.1.019-2009 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты. Федеральный закон от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности».</i>
<p>2. Производственная безопасность при эксплуатации:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Анализ выявленных вредных и опасных производственных факторов 	<p><i>Вредные производственные факторы:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> – <i>Недостаточная освещенность на рабочем месте, вызванное отсутствием естественных источников света.</i> – <i>Повышенный уровень шума и вибрации, при работе некоторых видов оборудования..</i> – <i>Вредные вещества, встречающиеся на производстве.</i>

	<p>– Так как производство осуществляется в помещении, то возникает необходимость систем вентиляции</p> <p>Опасные производственные факторы:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Факторы, связанные с электрическим током. – Факторы, связанные с пожароопасностью. – Возникающая при эксплуатации неисправность основного производственного оборудования. <p>Требуемые средства коллективной и индивидуальной защиты от выявленных факторов:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Искусственное освещение; – Спецодежда, спецобувь с повышенным тепловым сопротивлением, защитные маски для лица; – Наушники ВЦНИИОТ (снижают уровень звукового давления от 7 до 37 ДБ); виброзащитные рукавицы или перчатки. – Вытяжные установки – которые осуществляют отток больших объемов воздуха. – Приточные установки – обеспечивают бесперебойное поступление свежего воздуха . – Порошковые и углекислотные огнетушители, пожарные щиты и стенды.
<p>3. Экологическая безопасность при эксплуатации</p>	<ul style="list-style-type: none"> – Воздействие на селитебную зону: промышленный завод располагают в основном на специально выделяемых в городе производственных территориях, влияние отсутствует. – Воздействие на литосферу: Отработанный катализатор при неправильном захоронении или утилизации вызывает негативное воздействие на литосферу. Для этого его необходимо вывозить на специальные площадки для дальнейшей утилизации или захоронения. – Воздействие на гидросферу: Попадание в гидросферу побочных продуктов, сбрасываемых со сточными водами, аварии на производстве. Воздействие на атмосферу: В случае сжигания газа на факельных системах наносится значительный ущерб окружающей среде: тепловое загрязнение, загрязнение токсичными составляющими.
<p>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях при эксплуатации</p>	<ul style="list-style-type: none"> – Возможные ЧС: взрыв продуктов химического синтеза; – Пожар на химическом предприятии. <p>Наиболее типичная ЧС: возникновение пожара и взрыва продуктов химического синтеза</p>
<p>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</p>	

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ООД	Сечин Андрей Александрович	К.Т.Н.		03.02.2023

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-2Д8А	Ларина Оксана Дмитриевна		03.02.2023

РЕФЕРАТ

Пояснительная записка включает: 97, использованных источников литературы 20 наименований, 26 таблиц, 6 рисунков, 3 лист чертежа формата А1.

Ключевые слова: Гидрирования бензола, циклогексан, водородсодержащий газ, катализатор, реактор, технологическая схема.

Исследовано производство гидрирования бензола на никель-хромовом катализаторе. Выявлены особенности данного метода производства циклогексана. Рассчитаны физико-химические параметры для реализации процесса гидрирования бензола для установки мощностью 60 т/год.

Объектом проектирования является процесс гидрирования бензола до циклогексана с использованием никель – хромового катализатора.

Для реализации процесса гидрирования бензола с помощью никель-хромового катализатора, был выбран реактор с непрерывного действия.

Реактор гетерогенного типа, так как на входе смесь в парожидкостном состоянии (бензол-жидкость, водородсодержащий газ - газ), реакция происходит на твёрдом катализаторе.

В процессе выполнения был спроектирован реактор узла гидрирования бензола до циклогексана, работающий на никель – хромовом катализаторе, а также рассмотрены и изучены вопросы эффективности и безопасности производства.

В результате исследования проведен анализ существующих способов получения циклогексана, материальный и тепловой расчёты, подобрано основное и вспомогательное оборудование, проведена оценка экономической эффективности установки и определены факторы рабочего места аппаратчика в цеху по производству циклогексана.

В составе технологической схемы узел гидрирования бензола до циклогексана состоит из трубчатого реактора гидрирования и колонного реактора, из колонны форконтакта, также в узле присутствуют холодильник – конденсатор, сепаратор и сборник циклогексана.

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ.....	13
1 Обзор литературы.....	15
1.1 Техничко-экономическое обоснование проекта.....	15
1.2 Физико-химические основы процесса получения циклогексана.....	16
1.3 Выбор конструкции основного аппарата.....	18
1.4 Выбор технологической схемы получения циклогексана.....	24
2 – Характеристика продукта, исходного сырья и материалов	28
2.1 Характеристики продукта используемых средств и материалов.....	28
3 – Инженерные расчеты.....	30
3.1 Состав газовой смеси на входе в реактор первой ступени.....	30
3.2 Уточнение степени конверсии бензола в циклогексан.....	34
3.3 Определение изменения состава газа в реакторах первой и второй ступени.....	35
3.4 Состав продувочных газов, циркуляционного газа, расход свежего газа.....	36
3.5 Расчет основных расходных коэффициентов.....	39
3.6 Тепловой баланс проектируемого реактора.....	39
3.7 Расчет расходных коэффициентов.....	41
3.8 Технологический расчёт реактора.....	41
3.9 Выбор вспомогательного технологического оборудования.....	47
3.10 Контроль производство и управления.....	48
4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	59
5. Социальная ответственность.....	80
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	95
Список использованных источников.....	96

ВВЕДЕНИЕ

Продукция нефтехимической отрасли необходима каждому современному человеку, тысячам компаний различных отраслей. Это лаки, краски, растворители, полимеры, моющие и косметические средства, лекарства и многое другое.

Количество способов, которыми нефтехимические продукты входят в нашу повседневную жизнь, бесконечно. Мы их возим, стираем в них, упаковываем в них продукты, утепляем ими свои дома. И хотя нефтепродукты нельзя есть, хирурги уже умеют заменять жизненно важные части человеческого тела продуктами из них. А когда не работает, это бальзамирующая жидкость, которую тоже получают из продуктов нефтехимии.

Интерес к циклогексану возник в 1938 г. в связи с разработкой нейлона компанией DuPont, которая предложила использовать циклогексан в качестве предпочтительного сырья. После Второй мировой войны производство нейлона какое-то время увеличивалось на 100% в год, поэтому циклогексана, содержащегося в сырой нефти, вскоре перестало хватать. Стандартная сырая нефть, которая в то время поставлялась на нефтеперерабатывающие заводы США, содержала 1% циклогексана. Кроме того, поскольку за счет перегонки сырой нефти циклогексан подавался на тяжелые бензины, направлялся в установки каталитического риформинга, где перерабатывался в бензол. Следовательно, в то время как многие другие вещества также были превращены в бензол путем каталитического риформинга, бензол стал хорошим источником циклогексана.

По современным данным, мировые масштабы производства циклогексана составляют около 220 тыс. тонн и растет с каждым годом. Поэтому ставится задача разработать методы и способы интенсификации производства

циклогексана и повышения качества продукта, снижения затрат на его производство в химической промышленности.

Циклогексан (C_6H_{12}) представляет собой кольцо из шести атомов углерода, в каждом из которых по 2 атома водорода. Он похож на бензол, но не имеет двойных связей.

Это бесцветная, нерастворимая и неагрессивная жидкость с резким запахом. Он легко воспламеняется, как и любой нефтепродукт; его перевозят в цистернах, цистернах, лодках и металлических бочках, которые должны иметь красную маркировку для легковоспламеняющихся жидкостей. Промышленность выпускает циклогексан технический (чистота 95% или 99%) и растворитель циклогексан (чистота не менее 85%).

Свойства циклогексана :

Температура замерзания $6,5^{\circ}C$

Температура кипения $80,7^{\circ}C$

Относительная плотность 0,7786

В основном весь циклогексан идет на получение 3 полупродуктов: капролактама, адипиновой кислоты и гексаметилендиамина - сырья для производства синтетических волокон нейлон-6 и нейлон-66, а также смол. Рынок нейлонового волокна включает в себя хорошо известные товары, такие как чулочно-носочные изделия, обивка, ковры и корды для шин.

Другими областями применения циклогексана являются промышленные процессы, требующие участия растворителя, такие как растворение жиров, масел, каучука. Кроме того, он используется для удаления краски.

Актуальность темы заключается в том, что потребность в циклогексане увеличивается с каждым годом, поэтому необходимо изучение способов получения циклогексана, способов интенсификации этого процесса с учетом того, что необходимо одновременно повышать качество и снижать затраты на производство этого продукта.

Цель работы - определить основные способы получения циклогексана в современных условиях, их положительные и отрицательные стороны, а также спроектировать реактор синтеза циклогексана.

1. Обзор литературы

1.1 Техничко-экономическое обоснование проекта

Циклогексан широко используется в современной промышленности. Циклогексан является основным сырьем для производства изделий из нейлона, и его потребность как таковая остается значительной. Циклогексан впервые был получен прямой фракционной перегонкой соответствующих продуктов нефтепереработки. Производство циклогексана из бензола в настоящее время основано главным образом на процессе гидрирования. Его используют как сырье для производства различных изомеров, из которых изготавливают химические волокна, а также используют циклогексан в качестве растворителя.

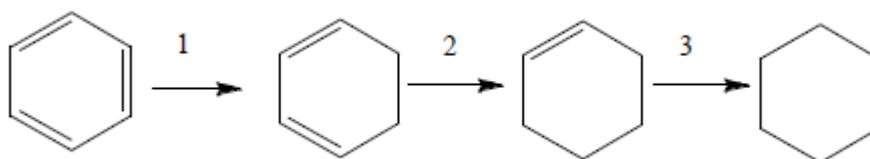
Производственный процесс основан на гидрировании бензола до циклогексана в присутствии никель-хромового катализатора. Существует несколько технологий получения циклогексана. В основном в промышленности 95 % циклогексана получают гидрированием бензола. Гидрирование происходит в паровой фазе, потому что оно имеет энергетическое преимущество перед гидрированием в жидкой фазе.

На долю гидрирования бензола приходится примерно 95 % общего объема производства циклогексана.

Производство циклогексана гидрированием бензола проходит по реакции:



При гидрировании бензола происходит три последовательных присоединения водорода:



Реакция проходит с большим количеством выделения тепла, реакция обратима.

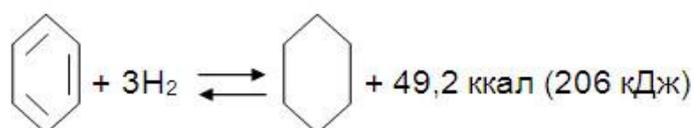
При проведении промышленного процесса возможны трудности, связанные с отводом выделяющегося в ходе реакции тепла. Тепло, выделяющееся в межтрубном пространстве, отводится водяным паром, образующимся в межтрубном пространстве. Также бензол необходимо очищать от соединений серы, которые являются контактными ядами для катализаторов из благородных металлов.

Производственные мощности циклогексана с каждым годом увеличиваются, это связано с тем, что спрос на получение продукции из него увеличивается. Из циклогексана в основном получают такие продукты, как адипиновая кислота и капролактан.[1]

1.2 Физико-химические основы процесса получения циклогексана гидрированием бензола

Химизм процесса

Процесс производства циклогексана из бензола базируется на хорошо известном процессе гидрирования:



Для получения 1 моль циклогексана требуется 3 моль водорода. Реакция гидрирования обратима, идет с уменьшением объема и выделением тепла. Поэтому сдвигу равновесия вправо благоприятствует повышенное давление и умеренные температуры.

Изменение свободной энергии реакции гидрирования бензола в газовой фазе с температурой описывается уравнением:

$$\Delta G = -52610 + 94,6T$$

Из этого уравнения следует, что изменение свободной энергии становится равным нулю при температуре около 282 °С. Следовательно, более низкие температуры термодинамически благоприятны для реакции, и в этот момент значение становится отрицательным. Однако процесс можно проводить и при более высоких температурах, сдвигая равновесие вправо за счет повышения давления водорода. Процесс гидрирования бензола может проводиться в паровой или жидкой фазе. Наиболее распространен жидкофазный процесс.

В качестве катализатора гидрирования бензола могут применяться металлические или сульфидные катализаторы. Металлические катализаторы (платина, никель) могут работать при сравнительно низких давлениях – до 50 кгс/см² (4,9 МН/м²) и температурах 150 – 200 °С. В этих условиях достигается полное превращение бензола в циклогексан. Однако металлические катализаторы очень чувствительны к примесям в бензоле, в частности к тиофену, который всегда содержится в коксохимическом бензоле. Поэтому для гидрирования на этих катализаторах требуется предварительная очистка бензола.

Сульфидные катализаторы (сульфиды никеля, молибдена) эффективны только на осерненном бензоле, но для гидрирования требуется давление 300 кгс/см² (29,4 МН/м²) и температура 350 – 370 °С. На этих катализаторах не удается добиться полной конверсии бензола в циклогексан; кроме того, наблюдается частичная изомеризация циклогексана в метилциклопентан. Непревращенный бензол и метилциклопентан необходимо отделять от циклогексана, что значительно усложняет процесс. [2]

Влияние температуры на процесс гидрирования

На опыте установлено, что при 200 °С полное превращение бензола достигается при нагрузках около 3,5 ч⁻¹. С увеличением температуры активность катализатора снижается, и при 350 °С степень гидрирования бензола во всем диапазоне нагрузок не превышает 0,82.

Зависимость степени превращения бензола от величины, обратной нагрузке, при различных температурах, поэтому кривые, описывающие зависимость степени превращения бензола от температуры при постоянной нагрузке, проходят через максимум, отвечающий ~ 200 °С.

Результаты анализа гидрогенизата показывают, что при температурах выше 200 °С в продуктах гидрирования появляется ряд примесей, суммарное количество которых с повышением температуры возрастает. Гидрогенизат, получаемый при 350 °С и нагрузке около 1,8 ч⁻¹, содержит 82% циклогексана и до 10% примесей.

Количество образующихся примесей, являющихся продуктами разложения и изомеризации циклогексана, зависит также от его концентрации в гидрогенизате. При 350°С содержание циклогексана в продуктах реакции снижается не только в результате частичного его разложения, но и вследствие уменьшения активности катализатора.

Таким образом, можно считать, что в случае гидрирования бензола при температурах выше 200 °С образуются продукты разложения циклогексана, которые адсорбируются на поверхности катализатора, существенно снижая его активность.[3]

1.3 Конструкция основного аппарата

Гидрирование бензола в газовой фазе

Технологическая схема процесса приведена на рисунке 1.1. Гидрирование осуществляется в газовой фазе, причем для очистки бензола от серы используется тот же катализатор (никель на кизельгуре), но в качестве хемосорбента. Процесс хемосорбции идет при 150 – 180 °С, объемной скорости подачи сырья 1,0 ч⁻¹ и подаче водорода 10 – 30 объемов на 1 объем бензола (0,05 – 0,13 моль/моль).

Бензол смешивается с циркулирующим водородом, смесь подогревается в подогревателе 4 и проходит последовательно реакторы очистки 1.

Пары из реакторов 1 охлаждаются в холодильнике 6. Жидкий очищенный бензол отделяется от водорода в газосепараторе 8 и подается насосом в подогреватель 3.

Перед поступлением в подогреватель 3 бензол смешивается с циркуляционным и свежим водородом. Сырьевая смесь из подогревателя 3 направляется в реакторы гидрирования 2. Продукты реакции проходят холодильник 7 и поступают в газосепаратор 9, где циклогексан отделяется от циркуляционного водорода.

Товарный циклогексан сливается в резервуар, а циркулирующий водород подается на вход компрессора и возвращается в систему. Часть водорода выдувается для удаления инертных примесей. Реакторы 1 и 2 трубчатые.

Температура в них регулируется циркуляцией парового конденсата в кольце.[4]

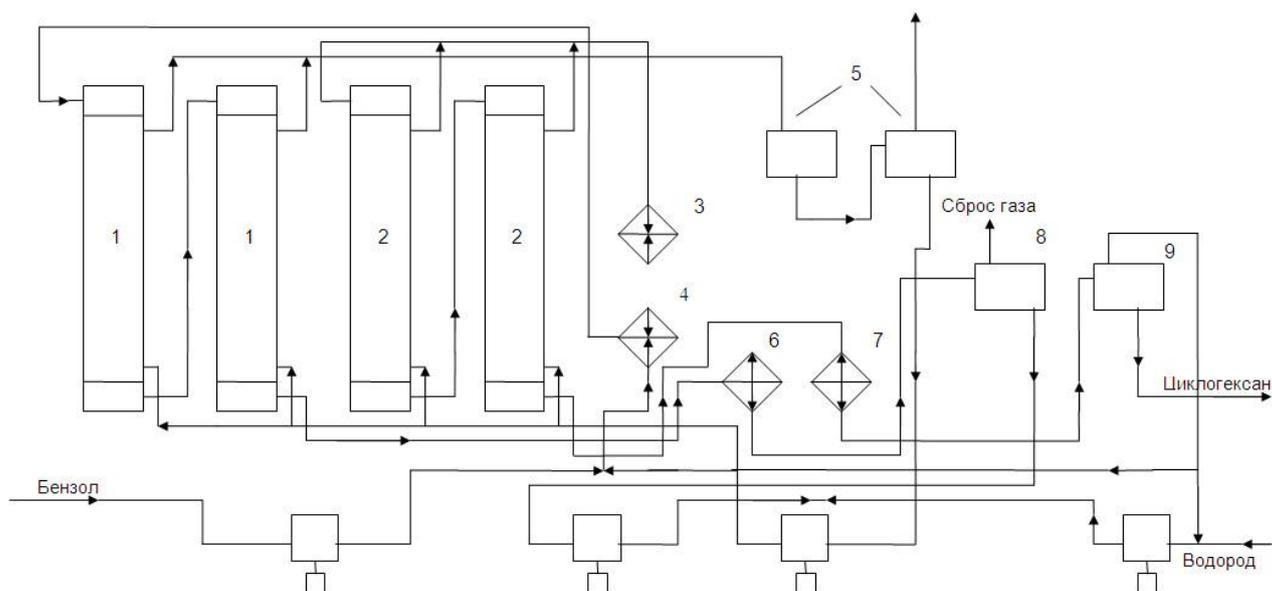


Рисунок 1.1 – Технологическая схема гидрирования бензола в паровой фазе на никелевом катализаторе

1. Реакторы очистки, 2. Реакторы гидрирования, 3,4. Подогреватели, 5. Паросборник и емкость для конденсата, 6,7. Холодильники, 8,9. Газосепараторы

Гидрирование бензола в жидкой фазе

Жидкофазное гидрирование бензола можно проводить в реакторе с неподвижным слоем или в слое суспензионного катализатора.

Схематическая диаграмма процесса гидрирования бензола в жидкой фазе показана на рисунке 1.1. В этом процессе используется колонный реактор, заполненный неподвижным слоем платинового катализатора. Тепло реакции отводят циркулирующим циклогексаном. Циркуляционный бензол и циклогексан, смешанные с циркулирующим и свежим водородом, нагреваются до температуры реакции (частично за счет тепла выходящей реакционной смеси) и поступают в реактор 1.

Реакционная смесь из реактора проходит через теплообменники в газосепаратор высокого давления 3. Водород из газосепаратора 3, возвращают в реактор для регулирования температуры. Остальной циклогексан поступает в газосепаратор низкого давления 4, где от него отделяются газообразные углеводороды.

Условия процесса гидрирования в жидкой фазе приведены в таблице 1.1

Таблица 1.1 – Условия процесса гидрирования в жидкой фазе

Наименование	Показатели
Температура, °С	250 - 280
Давление, кгс/см ²	35 9 (3,44 МН/м ²)
Объемная скорость подачи сырья, ч ⁻¹	2

Производительность установок по производству циклогексана из бензола составляет от 30 до 120 тыс. т в год.

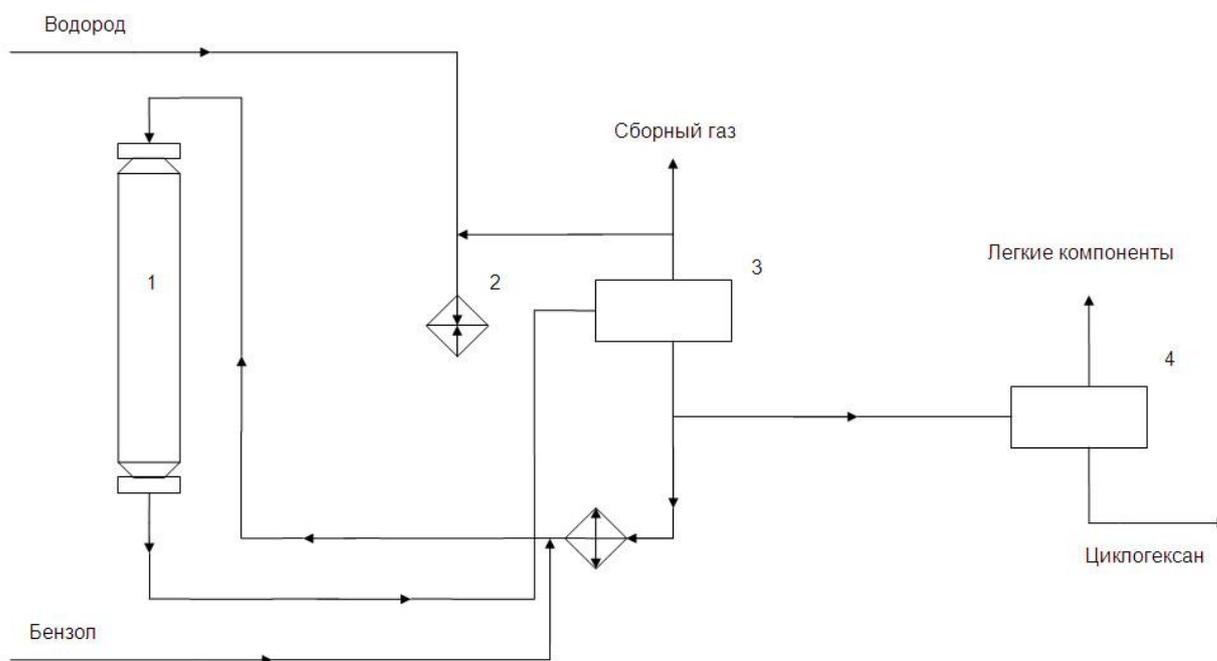


Рисунок 1.2 – Технологическая схема гидрирования бензола в жидкой фазе

1. Реактор, 2. Компрессор, 3. Газосепаратор высокого давления, 4. Газосепаратор низкого давления

Реакция гидрирования протекает в жестких условиях при повышенных температуре и давлении.

Процесс гидрирования обычно проводят в жидкой фазе в присутствии катализаторов, в качестве которых, как правило, используют взвешенный никель (никель Ренея), осажденный ($\text{Ni}/\text{Al}_2\text{O}_3$, Ni на кизельгуре, восстановленный гидроксид никеля) и низкотемпературный, содержащие благородный металл ($\text{Pt}/\text{Al}_2\text{O}_3$ $\text{Rh}/\text{Al}_2\text{O}_3$).

В связи с тем, что реакция гидрирования бензола характеризуется высокой экзотермичностью, важное значение при разработке промышленного процесса имеют эффективный контроль за температурой реакции и использование выделяющейся теплоты. [5]

Описание колонны

Разработан метод гидрирования непредельных циклических соединений в реакционно-ректификационной колонне. Его проводят в жидкой фазе в присутствии катализатора гидрирования, выполненного в виде ректификационной головки, имеющей структуру, пригодную для перегонки и представляющую собой металл, нанесенный на алюмооксидный носитель. Избыточное давление в верхней части колонны до 24,61 кг/см². Способ отличается тем, что температура кубового остатка составляет от 100 до 190°С.

Особенностью является то, что дополнительную стадию гидрирования верхнего жидкого продукта, содержащего циклогексан и непрореагировавший бензол, проводят совместно с водородом в одноцикловом реакторе с неподвижным слоем катализатора гидрирования, чтобы гидрировать практически весь непрореагировавший бензол с водорода с целью получения дополнительного количества циклогексана.

Реактор гидрирования бензола, показанный на рисунке 9 [6] представляет собой кожухотрубчатый теплообменный аппарат 1. Трубное пространство образовано трубами 6.

Трубы заполнены хромо-никелевым катализатором, разбавленным фарфоровыми стержнями. Для размещения десяти термомпар 7 внутри кожуха дополнительно установлены трубы. Трубы закреплены в трубных решетках 4 сваркой. Для фиксации катализатора в трубах и его замены служит решетка-шибер 5. В межтрубном пространстве теплообменника установлены перегородки 9, зафиксированные стяжкой 8, обеспечивающие зигзагообразное по длине аппарата движение пароводяной смеси. Устанавливается реактор на фундамент с помощью четырех опор-лап 10.

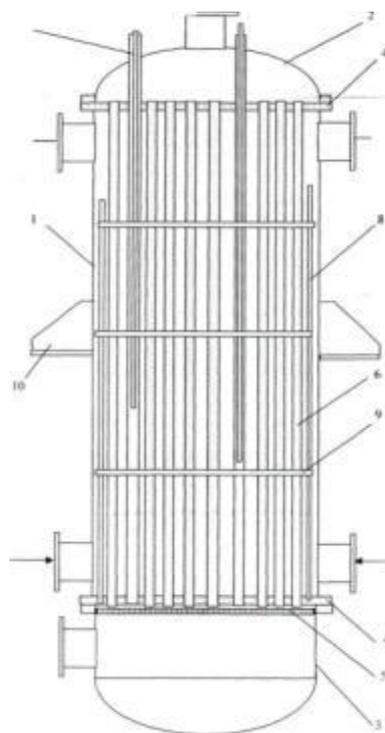


Рисунок 1.3 – Схема трубчатого реактора гидрирования бензола

1 – кожух; 2 – эллиптическое днище; 3 – распределительная камера; 4 – трубная решетка; 5 – решетка-шибер; 6 – трубки, заполненные катализатором; 7 – термопара; 8 – стяжка; 9 – перегородка; 10 – опора-лапа

Процесс гидрирования бензола происходит в парогазовой фазе при температуре от 125 до 270 °С, давлении от 1,6 до 2,0 МПа (от 16 до 20 кгс/см²) на никелевых катализаторах. Процесс гидрирования бензола протекает с выделением тепла. В трубном пространстве реактора осуществляется контроль за температурой в зоне реакции, установленными на разных глубинах термопарами 7. Температура в реакторе от 125 до 270 °С регистрируется на операторской станции и в случае отклонения от нормы сигнализируется минимальная температура – 125 °С и максимальная температура – 270 °С. Тепло реакции в реакторе снимается испаряющимся в межтрубном пространстве реактора конденсатом.

После определенного времени работы активность катализатора изменяется по высоте реактора за счет проклейки и отравления соединениями серы. Снижение активности никелевого катализатора можно в некоторой

степени компенсировать повышением температуры в зоне реакции за счет повышения давления паров в сепараторе. В начале работы на свежем катализаторе в одном трубчатом реакторе достигается полная конверсия бензола, а второй реактор находится в выключенном состоянии.

При появлении бензола в циклогексане к технологическому потоку после реактора подключают объемный реактор. При этом температура реакционной смеси на выходе из реактора не должна превышать 230°C.

1.4 Выбор технологической схемы получения циклогексана

Обоснование выбора технологической схемы гидрирования

Анализ способов гидрирования бензола показал, что самой оптимальной схемой является гидрирование в паровой фазе на никельхромовых катализаторах с применением комбинирования двух реакторов с суспендированным и стационарным катализатором. Выбор обосновывается следующими причинами:

1) В энергетическом отношении парофазное гидрирование имеет значительные преимущества перед жидкофазным гидрированием, особенно если парофазное гидрирование проводят в трубчатых реакторах с одновременным получением водяного пара. Кроме того, при осуществлении процесса в жидкой фазе возникают трудности, связанные с использованием катализатора в суспензии.

2) Комбинирование реакторов позволяет достигать высокой производительности и степени превращения сырья. В основном реакция протекает в первом реакторе. Во втором реакторе происходит только небольшая доля превращений, причем охлаждения не требуется.

3) Никелевые катализаторы быстро и необратимо адсорбируют соединения серы. Поэтому их можно использовать в качестве эффективных форконтактов для тонкой очистки бензола.

По выбранной для расчета технологической схеме процесс ведут в паровой фазе на никельхромовых катализаторах под давлением до 2 МПа, при

максимально допустимой температуре 240 °С, объемной скорости по жидкому бензолу 0,8—1,0 ч⁻¹ и молярном отношении Н₂ : N₂ : С₆Н₆= (5—6): (2—3):1. В этих условиях степень конверсии бензола составляет 90—95%. Схема потоков процесса получения циклогексана приведена на рисунке 2.

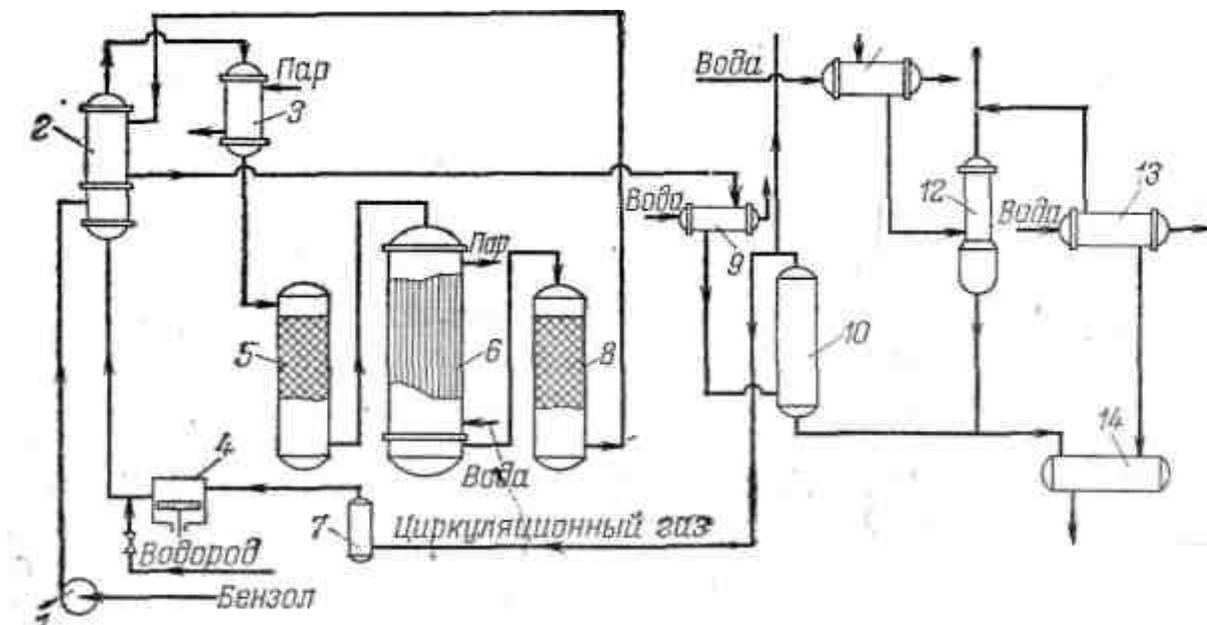


Рисунок 1.4 – Схема гидрирования бензола

1 — насос; 2 — теплообменник; 3 — подогреватель; 4 — компрессор; 5 — колонна форконтакта; 6 — реактор трубчатый; 7 — сепаратор; 8 — колонный реактор; 9 — холодильник-конденсатор; 10, 12 — сепарационные колонны; 11, 13 — холодильники; 14 — сборник.

Бензол со склада подается центробежным насосом 1 в трубное пространство теплообменника 2. Здесь он испаряется, смешивается с циркулирующим газом и свежим водородом, а смесь нагревается за счет тепла реакционной смеси из реактора 8.

Для создания необходимого соотношения газ: бензол (8:1) газ циркулирует компрессором 4. Свежий водород подается на нагнетательный трубопровод компрессора 4, так что регулятор автоматически поддерживает постоянное давление в цикле.

Из теплообменника 2 исходная смесь поступает в паровой подогреватель 3, который служит для подогрева газа при пуске, а при

нормальной работе обеспечивает лишь поддержание бензола в парообразном состоянии. Далее смесь поступает в контактную колонну 5, где сырье очищается от сернистых соединений на медно-магниевого катализаторе. Очищенная смесь (содержание серы менее 00001%) поступает в реакторы гидрирования.

В первый трубчатый реактор 6 загружено около 40% от общего количества катализатора, что гарантирует конверсию около 90% подаваемого бензола. Тепло реакции снимается кипячением воды в кольце. Во второй реактор колонны типа 8 загружают остаток катализатора. Здесь конверсия бензола достигает 99,9%. Тепло реакции в реакторе 8 отводится рабочей смесью. Принятое распределение катализатора по реакторам обусловлено кинетическими законами реакции гидрирования.

Пар, образующийся при испарении конденсата в межтрубном пространстве реактора 6 (около 1 т на 1 т циклогексана), в основном используется в качестве теплоносителя в самой установке (в подогревателе 3 и т. д.).

Реакционная смесь из реактора 8 охлаждается в межтрубном пространстве теплообменника 2, отдавая тепло на испарение бензола и нагрев исходной смеси. Дальнейшее охлаждение реакционной смеси, и конденсация циклогексана происходят в холодильнике-конденсаторе 9, охлаждаемом обратной водой. Газожидкостная смесь из холодильника 9 с температурой 35 °С поступает в сепарационную колонну 10, где жидкий циклогексан отделяется от газа. Газовая фаза из колонны 10 поступает во всасывающую линию циркуляционного компрессора 4. Для предотвращения накопления инертных компонентов в системе часть циркуляционного газа выводят в атмосферу. Предварительно они охлаждаются до 15 °С захлажденной водой в холодильнике 11 и проходят сепарационную колонну 12.

Жидкий циклогексан из сепарационных колонн 10 и 12 поступает в сборник 14, откуда передается на склад промежуточных продуктов или в систему очистки от примесей, внесенных с исходным бензолом.

При выборе типа циркуляционного компрессора 4 сопротивление циркуляционной системы является решающим фактором, так как оно определяет потребление энергии. Большая часть сопротивления системы соответствует масляным фильтрам, которые служат для очистки циркулирующего газа от компрессорного масла. Использование для сжатия газа компрессоров без масляной смазки, а также поагрегатная установка компрессоров позволяет устранить систему очистки от масла и снизить перепад давления в циркуляционном компрессоре с 1,0—1,5 МПа до 0,1—0,3 МПа, что приводит к значительному сокращению расхода электроэнергии. [7]

2. Характеристика продукта, исходного сырья, материалов и полупродуктов

2.1 Характеристика продукта, исходного сырья, материалов и полупродуктов

1) Циклогексан (C_6H_{12}) - это цикл, состоящий из шести атомов углерода, у каждого из которых находится по 2 атома водорода. Циклогексан схож своим строением с бензолом, но в нем отсутствуют двойные связи.

Циклогексан — бесцветная неагрессивная жидкость, нерастворимая в воде, с резким запахом. Как горючий нефтепродукт циклогексан транспортируют в автоцистернах, в металлических бочках с красной маркировкой для ЛВЖ. Циклогексан в промышленности выпускается марки технический (чистота 95% или 99%) и циклогексан-растворитель (чистота не менее 85%).

Циклогексан легковоспламеняющаяся жидкость, не растворимо в воде, при смешивании с ней образуются азеотропные смеси.

Циклогексан имеет следующие свойства:

Температуру замерзания 6,5 °С

Температуру кипения 80,7 °С

Относительную плотность 0,7786 г/см³

Температура самовоспламенения - 260°С

Критическая температура – 278°С

Избыточное критическое давление – 4,98 Мпа

Температура вспышки – минус 18°С [8]

2) Бензол – бесцветная жидкость со своеобразным ароматическим запахом. На холоде бензол застывает в кристаллическую массу, плавящуюся при +6°С. Легче воды $M = 78,12$ кг/моль. Удельный вес 0,88 г/см³. Жидкий бензол раздражает кожу. При частом соприкосновении рук с бензолом наблюдается зуд, краснота, отечность, сыпь. Постоянное вдыхание паров бензола даже в небольших концентрациях может привести к тяжелому хроническому заболеванию [9].

В качестве сырья используется нефтехимический или коксохимический бензол. Нефтехимический бензол выделяют из нефтяных фракций при температуре от 62 до 105 °С на платформенных установках. Продукты платформы разделяют экстрактивной перегонкой и ректификацией; полученный бензол содержит около 0,2 % примесей, в том числе до 0,06 % н-гептана, 0,06 % толуола и метилциклогексана, 0,0001 % общей серы.

Коксохимический бензол содержит значительно больше серы, особенно тиофена, поэтому на коксохимических заводах предусмотрена специальная гидроочистка бензола путем гидрирования соединений серы до сероводорода с последующей отпаркой от сероводорода и щелочной промывкой. Бензол после очистки содержит 0,0002 % тиофеновой серы и 0,0001 % сероуглерода, а также 0,05–0,09 % н-гептана и 0,06–0,12 % метилциклогексана. Примеси углеводородов в бензоле не влияют на процесс гидрирования, но попадая в циклогексан, они могут со временем ухудшить качество капролактама.

Очистка бензола перегонкой малоэффективна из-за образования неблагоприятных по составу азеотропных смесей (например, 99,3 % бензола и

0,7 % н-гептана). На практике примеси высококипящих углеводородов отделяют не от бензола, а от циклогексана в ректификационной колонне, работающей при атмосферном давлении. Нижняя жидкость колонны, так называемая «гептановая фракция», удаляется на сжигание.

Водород, используемый для гидрирования бензола, содержит некоторое количество инертных компонентов (азот, метан и другие), причем концентрация водорода в газе зависит от качества исходного природного газа и метода очистки водорода и составляет обычно 90 и 97% (об.). В водороде регламентируется содержание окиси и двуокиси углерода — не более 0,002% (об.) каждой, аммиака — до 0,0002% (об.) и общей серы — до 2 мг/м³.

4. Финансовый менеджмент,

Ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Потенциальные потребители результатов исследования

Продукт: установка синтеза этиленоксида.

Целевой рынок: предприятия нефтеперерабатывающей отрасли промышленности.

SWOT-АНАЛИЗ

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта.

Таблица 4.1 - SWOT-анализ

<p style="text-align: center;">Внешняя среда</p> <p style="text-align: center;">Внутренняя среда</p>	<p>Возможности</p> <ol style="list-style-type: none"> 1.Растущий рынок 2. Отсутствие жесткой конкуренции на рынке 3.Наличие стабильного рынка сбыта 4. Хорошая репутация среди потребителей . 5. Поддержка со стороны государственных органов власти. 6. Снижение процентных ставок 	<p>Возможности</p> <ol style="list-style-type: none"> 1.Растущий рынок 2.Отсутствие жесткой конкуренции на рынке 3.Наличие стабильного рынка сбыта 4. Хорошая репутация среди потребителей . 5. Поддержка со стороны государственных органов власти. 6. Снижение процентных ставок
<p>Сильные стороны</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Опыт 2.Команда высококвалифицированных специалистов 3. Четкая организационная структура 4. Высокотехнологичное оборудование 5.Известность предприятия 6.Приемлемый уровень цен 7.Динамичное развитие отрасли 8.Система профессионального обучения и повышения квалификаций 	<ol style="list-style-type: none"> 1.Увеличение объемов производства 2.Установление конкурентоспособных цен и быстрая обработка заказов 3. Поддержание репутации предприятия 4. Освоение новых рынков 5. Улучшение корпоративной культуры 6.Стремление к увеличению объема совместных с иностранными партнерами проектов по производству 	<ol style="list-style-type: none"> 1.Модернизация оборудования 2. Закупка сырья по наиболее выгодным ценам и на более длительный период 3. Поддержка местной власти по финансированию социальных проектов

<p>Слабые стороны</p> <p>1. Высокие издержки производства</p> <p>2. Непостоянство денежного потока из-за большого периода оборота</p> <p>3. Нечеткое распределение обязанностей сотрудников</p> <p>4. Недостаток финансовых средств (оборотных и для осуществления стратегических инициатив)</p>	<p>1. Уменьшить постоянные издержки производства</p> <p>2. Контроль за издержками на производстве, сокращение количества незавершенной продукции, поиск путей сокращения переменных затрат</p> <p>3. Установление четкой системы обязанностей внутри компании</p> <p>4. Перевооружение производственных мощностей</p> <p>5. Продажа или сдача в аренду лишних территорий и площадей</p>	<p>1. Стратегия долгосрочного привлечения финансового капитала</p> <p>2. создать из своих работников единую команду</p> <p>3. Привлечение инвестиций.</p> <p>4. Изучение и проработка всех возможных</p>
--	---	--

Расчет производственной мощности

Производственная мощность - это максимально возможный выпуск продукции в определенной номенклатуре и ассортименте при наиболее полном использовании в течение года оборудования и производственных площадей, применении прогрессивных технических норм производительности оборудования и удельных норм расхода сырья и материалов. Под производственной мощностью оборудования следует понимать его максимальную способность выпускать продукцию за определенный календарный период времени при наилучших организационно-технических условиях. Производственная мощность выражается количеством выпускаемой продукции и измеряется в натуральных единицах.

Все аппараты цехов химических предприятий делятся на несколько групп:

1. основное оборудование;
2. вспомогательное оборудование;
3. аппараты, выполняющие подготовительные функции.

Поскольку производственный процесс является непрерывным, на предприятии планируется общая остановка на капитальный ремонт.

Поскольку производственный процесс является непрерывным, на предприятии планируется общая остановка на капитальный ремонт.

Расчет производственной мощности осуществляется по формуле :

$$M = P_{\text{час}} \cdot T_{\text{эфф}} \cdot n,$$

где $P_{\text{час}}$ - часовая производительность по целевому компоненту, кг/час; $P_{\text{час}} = 7157,1$ кг/ч ;

n - количество однотипного оборудования, $n=1$.

$T_{\text{эфф}}$ - эффективное время работы оборудования за год по выпуску данного вида продукции, час;

Эффективный фонд времени оборудования:

$$T_{\text{эфф}} = T_{\text{ном}} - T_{\text{ппр}} - T_{\text{то}}$$

где $T_{\text{ном}}$ - номинальный фонд работы оборудования, (365 дней) 8760 ч;

$T_{\text{ппр}}$ - время затрачиваемое на капитальный ремонт, (40 дней)960ч.

$T_{\text{то}}$ – время технологических остановок.

$$T_{\text{эфф}} = 8760 - 960 - 54 = 7746 \text{ часов}$$

$$M = 7746 \cdot 7,6 = 58909,6 \text{ т/год.}$$

Для анализа использования оборудования рассчитываем экстенсивный и интенсивный коэффициенты. Коэффициент экстенсивного использования оборудования равен:

$$K_{\text{экс}} = T_{\text{эф}}/T_{\text{н}}$$

$$K_{\text{экс}} = 7746/8760 = 0,884$$

Коэффициент интенсивного использования оборудования равен

$$K_{\text{инт}} = Q_{\text{пп}}/Q_{\text{мах}}$$

где $Q_{\text{пп}}$ - производительность единицы оборудования в единицу времени;

$Q_{\text{мах}}$ - максимальная производительность в единицу времени.

$$K_{\text{инт}} = 6,9/7,6 = 0,909$$

Интегральный коэффициент использования мощности:

$$K_{\text{экс}} = T_{\text{эф}}/T_{\text{н}}$$

$$K_{\text{экс}} = 7886/876$$

Коэффициент интенсивного использования оборудования равен

$$K_{\text{инт}} = Q_{\text{пп}}/Q_{\text{max}}$$

где $Q_{\text{пп}}$ - производительность единицы оборудования в единицу времени;

Q_{max} - максимальная производительность в единицу времени.

$$K_{\text{инт}} = 6,9/7,6 = 0,91$$

Интегральный коэффициент использования мощности:

$$K_{\text{им.}} = K_{\text{экс}} \cdot K_{\text{инт}},$$

$$K_{\text{им.}} = 0,90 \cdot 0,91 = 0,81$$

Для определения фактического выпуска продукции рассчитывается производственная программа ($N_{\text{год}}$):

$$N_{\text{год}} = K_{\text{им.}} \cdot M,$$

$$N_{\text{год}2022} = 0,81 \cdot 60\,000 = 48600 \text{ т/год}$$

$$N_{\text{год}2023} = 1 \cdot 60\,000 = 60000 \text{ т/год}$$

Таблица 4.2 - Баланс рабочего времени оборудования

Показатели	Количественно дней (часов)
Календарный фонд времени	365 (8760)
Режимные потери рабочего времени	0
- выходные	0
- праздничные	
Номинальный фонд рабочего времени	365 (8760)
Простой оборудования в ремонтах	40 (960)
Эффективное время работы оборудования за год	

Режим работы работающих

Производства циклогексана гидрирование бензола работает непрерывно, поэтому бригада формируется по принципу сменности. Согласно заводским данным графиком работы персонала является четырёх сменная бригада. График сменности представляет собой изображение очередности выхода работающих на работы, А, Б, В, Г – условное обозначение бригад.

Штатное расписание производства циклогексана гидрирование бензола приведено в таблице 4.3.

Для эффективного фонда рабочего времени составим баланс времени одного среднесписочного рабочего.

Эффективное количество часов работы одного среднесписочного рабочего определяется:

$$T_{\text{эфф.раб}} = T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пл.пот}},$$

$$T_{\text{эфф.раб}} = 365 - 132 - 38 = 195 \text{ дн.}$$

где $T_{\text{кал}}$ – календарный фонд времени работы одного среднесписочного рабочего, человек;

$T_{\text{пл.пот}}$ – время плановых потерь, ч.;

$T_{\text{вых}}$ – число нерабочих часов в выходные дни, ч.

Находим количество персонала (производственного) работающего посменно:

$$N_{\text{яв}} = N_{\text{шт}} \cdot S,$$

где $N_{\text{яв}}$ – явочная численность производственного персонала, работающего посменно, человек;

$N_{\text{шт}}$ – штатное количество человек, работающих в смену, человек;

S – число бригад, $S = 4$.

$$N_{\text{яв}} = 15 \cdot 4 = 60 \text{ человек}$$

Таблица 4.3 - График режима работы смен на март 2022 г.

С м е н а	В р е м я	Дни выходов																															
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
1	8 - 20	Б	Б	А	А	Г	Г	В	В	Б	Б	А	А	Г	Г	В	В	Б	Б	А	А	Б	Б	Г	Г	В	В	Б	Б	А	А	Г	
2	20 - 8	Г	В	В	Б	Б	А	А	Г	Г	В	В	Б	Б	А	А	Г	Г	В	В	Б	Б	А	А	Г	Г	В	В	Б	Б	А	А	
Отсы пной			Г		В		Б		А		Г		В		Б		А		Г		В		Б		А		Г		В		Б		
Выхо дной		В	А	Г	Б	Г	А	В	Б	Б	А	А	Б	Г	А	В	Б	Б	А	А	Б	Г	А	В	Б	Б	А	А	Б	Г	А	В	Б

Таблица 4.4 - Штатное расписание

Наименование должности, профессии	Категория	Кол. штат. ед.	Оклад/ часовая тариф	Районный коэффициент	МФЗП
Руководство					
1. Директор	ИТР	1	Контракт		
2. Зам. директора по общим вопросам	ИТР	1	Контракт		
3. Главный инженер	ИТР	1	Контракт		
4. Главный механик	ИТР	1	Контракт		
5. Зам. гл. механика	ИТР	2	15800	9080	42680
6. Главный энергетик	ИТР	1	17900	5260	22960
7. Инженер по организации, эксплуатации и ремонту оборудования	ИТР	1	Контракт		
8. Инженер по комплектации оборудования и материалов	ИТР	1	18420	6226	23646
9. Главный метролог	ИТР	1	Контракт		

Продолжение таблицы 4.4 - Штатное расписание

10. Инженер по организации, эксплуатации и ремонту КИПиА	ИТР	1	17900	5260	22960
11. Инженер по комплектации оборудования и материалов КИПиА	ИТР	1	17900	5260	22960
12. Инженер – технолог 1 категории	ИТР	2	17950	11090	45590
13. Начальник ПЭО	ИТР	1	23890	7867	30757
14. Ведущий экономист по труду	ИТР	1	19250	6475	24725
15. Инженер контролер	ИТР	2	17030	9918	42678
16. Зам. гл. энергетика по тепловодогазоснабжению	ИТР	1	17950	6015	23165
17. Зам. гл. энергетика по электроснабжению	ИТР	1	17950	6015	23165
18. Инженер по организации, эксплуатации и ремонту электрооборудованию	ИТР	1	15920	5476	20396
19. Начальник ПТО	ИТР	1	16670	5701	21371
20. Мастер АХО	ИТР	1	12200	4360	15560
21. Делопроизводитель	ИТР	1	12420	4426	15846
22. Табельщик	ИТР	1	10000	3570	13870
Итого по руководству		25		101999	412329
Установка гидрирование сырья					
23. Начальник установки	ИТР	1	Контракт		
24. Заместитель начальника установки	ИТР	2	Контракт		
25. Механик установки	ИТР	1	Контракт		
26. Начальник отделения гидрирование сырья	ИТР	2	18650	11590	46890
27. Начальник смены	ИТР	4	18300	26950	113450
28. Начальник лаборатории по контролю производства	ИТР	1	Контракт		

Продолжение таблицы 4.4 - Штатное расписание

29. Химик цеховой лаборатории	ИТР	2	15970	9922	40962
30. Инженер по ремонту и обслуживанию технологического оборудования	ИТР	1	18420	5526	23946
31. Механик отделения гидрирование	ИТР	2	17630	10938	45598
Итого по установке		16		64926	27084 6
Общещеховой персонал					
32. Маляр 5 разряда	МОП	1	10830	3949	13779
33. Уборщик производственных помещений	МОП	4	8580	9996	40416
34. Рабочий, занятый на погрузочно – разгрузочных работах	МОП	2	12000	8140	31940
35. Заведующий складом	МОП	2	8970	5922	22762
Итого общещехового персонала	9		28007	108897	
РАБОЧИЕ					
Участок по ремонту и обслуживанию средств КИП и А					
36. Слесарь КИПиА 6 разряда	раб	5	76,4	20628	89388
37. Слесарь КИПиА 5 разряда	раб	8	72,8	31145	13597 7
Итого по участку		13		51773	22536 5
Участок по ремонту и обслуживанию электрооборудования					
38. Электромонтёр по ремонту и обслуживанию электрооборудования 6 разряда	раб	4	76,4	16502	71510

Продолжение таблицы 4.4 - Штатное расписание

39. Электромонтёр по ремонту и обслуживанию электрооборудования 5 разряда	раб	4	72,8	15725	68141
Итого по участку		8		32227	139651
Участок по ремонту и обслуживанию технологического оборудования					
40. Слесарь - ремонтник 6 разряда	раб	8	76,4	33005	143021
41. Слесарь - ремонтник 5 разряда	раб	4	72,8	15725	68141
Итого по участку		12		48730	211162
Отделение пиролиза углеводородного сырья					
42. Аппаратчик 6 разряда	раб	8	76,4	33005	143021
43. Аппаратчик 5 разряда	раб	8	72,8	31145	135977
Итого по отделению		16		64150	278998
Цеховая лаборатория по контролю производства					
44. Лаборант химанализа 5 разряда	раб	8	68,1	29419	127483

Списочная численность:

$N_{сп} = N_{яв} \cdot K_{пер}$,

где $K_{пер}$ – коэффициент перехода от явочной численности к списочной.

$K_{пер} = T_{эфф.об.} / T_{эфф.раб.}$,

$T_{эфф.об.} = T_{вых} + T_{эфф.раб.}$,

$T_{эфф.об.} = 1656 + 2340 = 3996 \text{ ч.};$

Где $T_{эфф.раб.}$ – эффективный фонд рабочего времени одного среднесписочного рабочего, ч.;

$$T_{\text{эфф.раб.}}=2340$$

$$K_{\text{пер}}=3996/2340=1,70$$

По формуле 102 списочная численность равна:

$$N_{\text{сп}}=60 \cdot 1,64=98 \text{ человек}$$

Таблица 4.5 - Баланс рабочего времени одного среднесписочного рабочего

Показатели	Дней	Часы
Календарный фонд рабочего времени, Ткал	365	4380
Выходные дни, Твых	138	1656
Номинальный фонд рабочего времени, Траб	237	2844
Очередные и дополнительные отпуска	28	336
Невыходы по болезни	10	120
Выполнение государственных обязанностей	0	0
Отпуск по учебе без отрыва от производства	0	0
Итого по отпуску	38	456
Эффективный фонд рабочего времени	195	2340

Организация оплаты труда

На рассматриваемом предприятии оплата труда рабочих повременнo-премиальная, на основе часовых тарифных ставок, установленных и утвержденных на предприятии, присвоенных квалификационных разрядов (семнадцатиразрядная сетка) и фактически отработанного времени.

Труд руководителей, специалистов и служащих оплачивается согласно установленной разрядной таблицы за фактически отработанное время.

Рабочим руководителям и специалистам работа в ночное время оплачивается в повышенном размере на 40% . Компенсационная доплата выплачивается в размере 10% за тяжелые условия труда.

Работа в праздничные дни оплачивается работникам, труд которых оплачивается по часовым тарифным ставкам – в размере двойной часовой тарифной ставки.

Тарифный фонд заработной платы рассчитывается на основе тарифной сетки.

Заработная плата рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{\text{осн}}=Z_{\text{тар}}+D_{\text{ноч}}+D_{\text{празд}}+D_{\text{прем}}+D_{\text{р.к.}}+D_{\text{усл.тр.}}$$

где: $Z_{\text{тар}}$ – тарифная ЗП, руб.;

$D_{\text{ноч}}$ – доплата за работу в ночное время, т. руб.;

$D_{\text{празд}}$ – доплата за работу в праздничные дни, т. руб.;

$D_{\text{прем}}$ – премиальная ЗП, руб.;

$D_{\text{р.к.}}$ – районный коэффициент, т руб.;

$D_{\text{усл.тр.}}$ – компенсационная доплата за условия труда, т. руб.;

Тарифная заработная плата рассчитывается:

$$Z_{\text{тар}} = T_{\text{ст}} \cdot T_{\text{фак}} \cdot H,$$

где $T_{\text{ст}}$ – тарифная ставка данной категории рабочих, т.руб./ч.;

$T_{\text{фак}} = 180$ ч. - среднемесячная выработка;

H – количество рабочих данной категории, человек;

$$Z_{\text{тар}} = 72,8 \cdot 180 \cdot 8 = 104832 \text{ т.руб.}$$

Доплата за работу в ночное время:

$$D_{\text{ноч}} = 0,4 \cdot T_{\text{ст}} \cdot T_{\text{ноч}} \cdot H,$$

где $T_{\text{ноч}} = 64$ ч. – время ночных смен.

$$D_{\text{ноч}} = 0,4 \cdot 72,8 \cdot 64 \cdot 8 = 14909 \text{ т.руб.}$$

Доплата в праздничные дни:

$$D_{\text{празд}} = T_{\text{празд}} \cdot T_{\text{ст}} \cdot 2 \cdot H,$$

где $T_{\text{празд}}$ – количество часов, отработанное в праздники, ч;

(8 марта $T_{\text{празд}} = 12$ часов)

$$D_{\text{празд}} = 12 \cdot 72,8 \cdot 2 \cdot 8 = 13978 \text{ т.руб.}$$

Премиальная ЗП:

$$D_{\text{прем}} = Z_{\text{тар}} \cdot P_{\text{прем}} / 100\%,$$

где $Z_{\text{тар}}$ – тарифная ЗП, т. руб.;

$P_{\text{прем}}$ – Премиальные, % за март 2021 года $P_{\text{прем}} = 60\%$.

$$D_{\text{прем}} = 104832 \cdot 60 / 100 = 62900 \text{ т.руб.}$$

Районный коэффициент:

$$D_{\text{р.к.}} = 0,3(Z_{\text{тар}} + D_{\text{ноч}} + D_{\text{празд}} + D_{\text{прем}}),$$

$$D_{\text{р.к.}} = 0,3(104832 + 14909 + 13978 + 62900) = 5899 \text{ т.руб.}$$

$$D_{\text{усл.тр}} = Z_{\text{тар}} \cdot 10/100,$$

$$D_{\text{усл.тр}} = 104832 \cdot 10/100 = 10483 \text{ т.руб.}$$

Итак, по формуле (3.12), основная заработная плата 8 аппаратчиков производства этилена методом пиролиза этана за март месяц 2023 года составит:

$$Z_{\text{осн}} = 104832 + 14909 + 13978 + 62900 + 5899 + 10483 = 213001 \text{ т.руб.}$$

$$ЗП = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}},$$

где $Z_{\text{осн}}$ - основная ЗП т.руб;

$Z_{\text{доп}}$ – дополнительная ЗП, т. руб.;

$$Z_{\text{доп}} = Z_{\text{осн}} \cdot K/T_{\text{кал}},$$

где K – число законных невыходов, дней;

$T_{\text{кал}}$ – календарный фонд работы одного среднесписочного рабочего, дней;

$$Z_{\text{доп}} = 213001 \cdot 38/365 = 22176 \text{ т.руб.}$$

Зарплата 8 аппаратчиков пиролиза этана за 1 месяц составит:

$$Зп = 213001 + 22176 = 235177 \text{ т.руб.}$$

Аналогично производится расчёт месячного фонда ЗП всех работающих на заводе. Месячный и годовой фонд ЗП представлен в таблице 4.6.

Таблица 4.6 - Фонд заработной платы

№	Наименование	МФЗП, т. руб	ГФЗП, т. руб.
1	Инженерно–технические работники	136770	1641240
2	Основные рабочие	225365	2704380
3	Вспомогательные рабочие	43618	523420
4	Итого по заводу	405753	4869036

Расчет годовой потребности в сырье и материалах

Определение затрат на сырье и вспомогательные материалы производим исходя из принятого объема производства, удельных норм расхода сырья и материалов и плано-заготовительных цен. Расчет годовой потребности в сырье и материалах приведен на 48 600 т и на 60 000 т продукта в таблице 4.7.

Таблица 4.7-Потребность в оборотных средствах

Наименование сырья, материалов и энергии.	Цена за единицу сырья, т.руб.	Норма расхода сырья, ед./т.	Стоимость сырья на единицу продукта, т.руб./т.	Количество сырья на весь выпуск		Стоимость сырья на весь выпуск, тыс. руб.	
				48 600	60000	48 600	60000
Водород	4,5	0,959	4,315	46607	57540	209709	258930
Бензол	2	1,0	2	48600	60000	97200	120000
Циркул.газ	5,7	0,663	3,7791	32221,8	39780	183664,26	226746
Никель-хром	3,1	2,952	9,1512	143467,2	177120	444748,32	549072
Азот	5	0,861	4,305	41844,6	51660	209223	258300
Пар собственный, тГкал	0,20	2,96268	0,592536	143986,24 8	177760,8	28767,24	35552,16
Итого			24,14			1173218,58	1448400

Расчет годовой потребности в электроэнергии

Таблица 4.8 Расчет потребности электроэнергии

Наименование оборудования	Мощность, кВт	Эффективный фонд времени оборудования	Суммарно-потребляемая электроэнергия, кВт·ч
Насос центробежный Н1	75	8000	600000
Теплообменник	88	8000	704000
Реактор (1)	75	8000	600000
Реактор (2)	75	8000	600000
Холодильник	88	8000	704000
Сепаратор	32	8000	256000
Освещение установки пиролиза	1,2	8000	9600
Итого			3473600

Основные фонды предприятия. Расчет амортизационных отчислений.

Амортизация – постепенное перенесение основных средств на готовую продукцию в целях накопления денежных средств для простого воспроизводства основных средств.

Норма амортизации – отношение годовой суммы амортизации к стоимости основных средств, выраженная в %. Норма амортизации показывает какую долю своей балансовой стоимости ежегодно переносят основные средства на производимый продукт

Амортизацию проводим по линейному методу согласно классификации ОС, включаемых в амортизационные группы (постановление правительства РФ №1 от 01.01.2002 г.)

Начисление нормы амортизации

$$N_a = \frac{1}{T_{сл.}} \cdot 100 \%,$$

где $T_{сл.}$ – срок полезного использования ОС.

Начисление амортизации

$$A_m = C_{перв.} \cdot \frac{N_a}{100}$$

где $C_{перв.}$ – первоначальная цена ОС.

Таблица 4.9 Расчет амортизационных отчислений

Наименование основных средств	Стоимость, тыс. руб.	Норма амортизации, %	Годовые амортизационные отчисления, тыс. руб.
1. Здания, сооружения, инвентарь	700 000	5	35 000
2. Оборудование			
Насос	11350,55	10	1135
центробежный	12436,54	10	1243,6
Теплообменник	196605	10	19660,5
Реактор Р-1	196605	10	19660,5
Реактор Р-2	2986	10	298,6
Холодильник	3966	10	396,6
Сепаратор С-1	3966	10	396,6
Сепаратор С-2	3966	10	396,6
Сепаратор С-3	2738,72	10	273,8
Компрессор			

3.Приборы КИП и А, лабораторное оборудование	47850	10,3	4928,55
ИТОГО	482469,8		83390,35

Таблица 4.10-Расходы на наладку и монтаж оборудования

Наименование основных средств	Стоимость, тыс. руб.	Норма амортизации, %	Годовые амортизационные отчисления, тыс. руб.
1.На устройство фундаментов	2521	10	252,1
2.На технологические трубопроводы	5042	20	1008,4
3.На антикоррозионные работы	1250,5	5	62,525
4.На кабельные разводки	1250,5	5	62,525
5.На КИПиА	2521	10	252,1
6.На монтаж оборудования	5546,2	22	1220,164
7.На вспомогательное оборудование	1250,5	5	62,525
Итого:			2920,339

Планирование себестоимости продукции

Калькуляция себестоимости 1 тонны продукции

$N_{2021} = 48\,600$ т/год, $N_{2022} = 60\,000$ т/год

Таблица 4.11Калькуляция себестоимости

Наименование затрат	48600 т		60000 т	
	Сумма на 1 т, тыс. руб.	Сумма затрат на объем производства, тыс. руб	Сумма на 1 т, тыс. руб.	Сумма затрат на объем производства, тыс. руб
1.Сырье и материалы	24,14	1173218,58	24,14	1448400
2.Электроэнергия На технологические цели	2,5	121500	2,5	150000
Итого условно-переменные издержки:	26,64	1294704	26,64	1598400
Заработная плата основных рабочих	55,64	2704380	45,07	2704380
Отчисления на социальные нужды основных рабочих (30%)	16,69	811314	13,52	811314
Заработная плата ИТР	33,77	1641240	27,35	1641240
Отчисления на социальные нужды ИТР (30%)	10,13	492318	8,20	492318
Заработная плата МОП	10,77	523420	8,72	523420
Отчисления на социальные нужды МОП (30%)	3,23	156978	2,61	156978
Амортизация	1,71	83390,35	1,38	83390,35
Ремонты	1,69	833,90	0,013	833,90
Итого условно-постоянные издержки:	133,63	6494418	108,24	6494418
Производственная себестоимость	160,27	7789122	134,88	8092800
Итого условно-переменные издержки:	26,64	1294704	26,64	1598400

Итого условно-постоянные издержки:	133,63	6494418	108,24	6494418
------------------------------------	--------	---------	--------	---------

Определение цены готовой продукции

Цену продукта определяем по формуле

$$Ц = С \cdot \left(1 + \frac{P}{100}\right), (4.21)$$

где С – полная себестоимость единицы готовой продукции;

P – рентабельность продукции, %.

Рентабельность продукции можно принять от 10 % до 25 %.

$$Ц = 160 \cdot \left(1 + \frac{25}{100}\right) = 200,33 \text{ тыс. руб./т (N = 48 600 т/год)}$$

$$Ц = 200,33 \text{ тыс.руб. (N=60000 т/год)}$$

Анализ безубыточности по действующему производству

Цель анализа – определение точки безубыточности, т.е. минимального объема продаж, начиная с которого предприятие не несет убытков. В точке безубыточности выручка от продажи продукции ($V_{\text{ПР}}$) равна общим затратам на производство и реализацию продукции:

$$V_{48600} = 200,33 \cdot 48600 = 9736038 \text{ тыс. руб.}$$

$$V_{60000} = 200,33 \cdot 60000 = 12019800 \text{ тыс. руб.}$$

Определение точки безубыточности:

1. Аналитическим способом

$$Q_{\text{кр.}} = \frac{\text{Изд}_{\text{пост.}}}{Ц_{1\text{т}} - \text{Изд}_{\text{пер.за 1т}}},$$

где $Q_{\text{кр.}}$ – критический объем продаж, т;

$Изд_{пост.}$ – постоянные затраты на весь объем, руб.;

$Изд_{пер.за 1т}$ – переменные затраты на 1 т продукции, руб./т;

$Ц_{1т}$ – цена 1 т продукции, руб./т.

Найдем критический объем продаж на 200000 т/год 301,62

$$Q_{кр.2021} = \frac{6494418}{200,33 - 75,21} = 21531 \text{ т}$$

$$Q_{кр.2022} = \frac{6494418}{200,33 - 75,21} = 21531 \text{ т}$$

Точки безубыточности - минимальный объем продаж, начиная с которого предприятие не несет убытков.

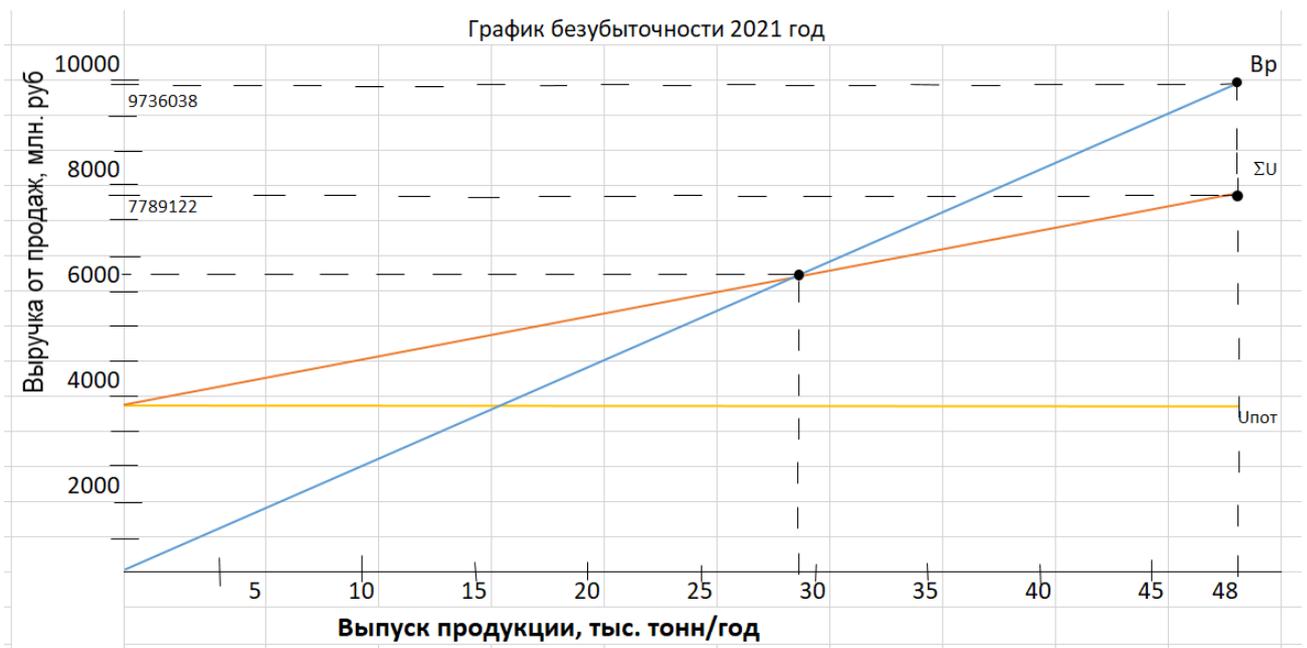


Рисунок 4.1 График безубыточности при N= 48600 тонн

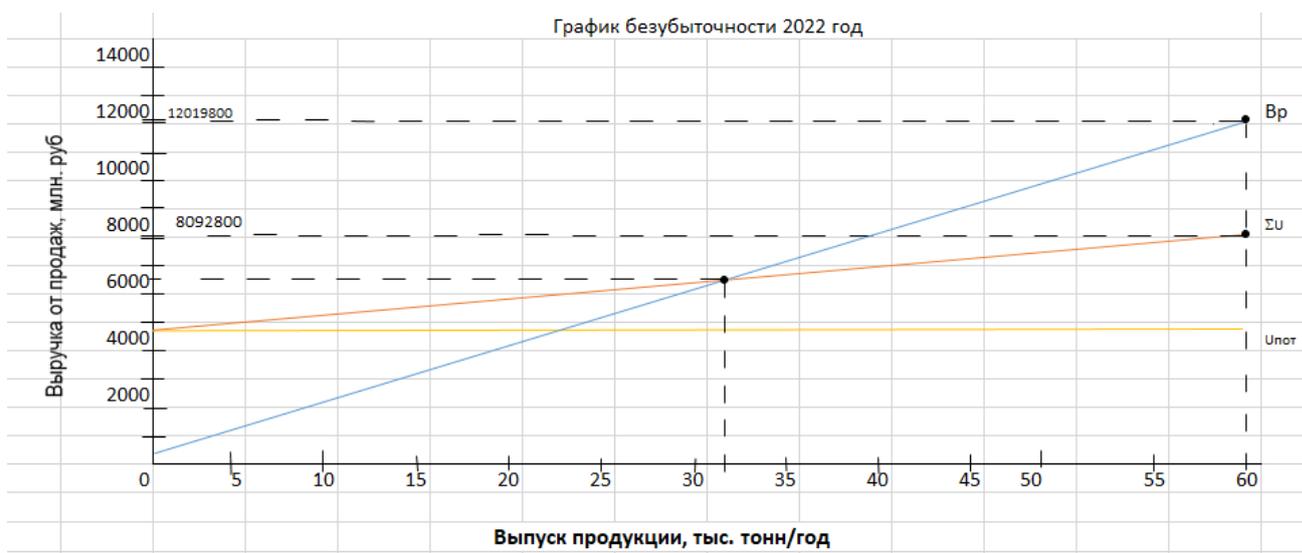


Рисунок 4.2 График безубыточности при N= 60000 тонн

Таблица 4.12 Техничко–экономические показатели

	Наименование показателя	Ед. изм.	2021	2022
1	Объем производства	тыс. т	48600	60000
2	Объем продаж	тыс. т	48600	60000
3	Цена за тонну	тыс. руб.	200,33	200,33
4	Выручка от продаж	тыс. руб.	9736038	12019800
5	Суммарные издержки,	тыс. руб.	7789122	8092800
5.1	в т.ч переменные издержки	тыс. руб.	1294704	1598400
5.2	в т. ч. постоянные издержки	тыс. руб.	6494418	6494418
6	Операционная прибыль	тыс. руб.	1946916	3957000
7	Налог на прибыль	тыс. руб.	389383	791400
8	Чистая прибыль	тыс. руб.	1557532	3165600
9	Себестоимость 1 тонны продукции	тыс. руб.	160,27	134,88
10	Стоимость основных средств	тыс. руб.	482469,8	482469,8

Продолжение таблицы 4.12 Техничко–экономические показатели

11	Численность основных рабочих	чел.	60	60
12	Фондовооруженность	тыс. руб./чел	8041	8041
13	Фондоотдача	руб./руб.	21	25
14	Фондоёмкость	руб./руб.	0,05	0,04
15	Производительность труда	тыс. руб./чел	162267	200330
16	Рентабельность производства	%	20	40
17	Рентабельность продаж	%	16	27
18	Qкр. (критический объем продаж)	т	21531	21531
19	Qкр. (критический объем продаж)	тыс.руб.	4313305	4313305

Таким образом, инвестиционный проект на производство 60 тонн/год гидрировании бензола с ценой за 1 кг 200,33 тыс. руб. является экономически эффективным, так как он обеспечивает положительную прибыль до вычета налогов, рентабельность инвестиций и положительную чистую текущую стоимость.