

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт природных ресурсов
Направление подготовки: Химическая технология
Кафедра технологии органических веществ и полимерных материалов

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Проект узла синтеза циклогексана

УДК 661.7

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2Д2А	Федорова Татьяна Валерьевна		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Троян Анна Алексеевна	Кандидат химических наук		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Рыжакина Татьяна Гавриловна	Кандидат экономических наук		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент кафедры	Раденков Тимофей Александрович			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Юсубов Мехман Сулейманович	доктор химических наук, профессор		

Томск – 2016 г.

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт природных ресурсов
Направление подготовки: Химическая технология
Кафедра технологии органических веществ и полимерных материалов

УТВЕРЖДАЮ:
Зав. кафедрой
Юсубов М. С.
(Ф.И.О)

(Подпись)

(Дата)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

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

Студенту:

Группа	ФИО
2Д2А	Федоровой Татьяне Валерьевне

Тема работы:

Проект узла синтеза циклогексана

Утверждена приказом директора (дата, номер)	от 28.01.2016 № 2235/С
---	------------------------

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе (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.).	1. Производительность по циклогексану – 60000 т/год 2. Годовой фонд рабочего времени – 8000 ч 3. Объемное отношение компонентов на входе в реактор первой ступени $H_2:N_2:C_6H_6=5.5:2.5:1.0$ 4. Степень конверсии бензола 90-95%
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов (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).	1. Литературный обзор. 2. Объекты и методы проектирования. 3. Расчеты. 4. Результаты разработки. 5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность, ресурсосбережение. 6. Социальная ответственность.
Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)	1. Чертеж общего вида 2. Технологическая схема 3. Чертеж сборочных единиц
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	

<i>(с указанием разделов)</i>	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Рыжакина Татьяна Гавриловна
Социальная ответственность	Раденков Тимофей Александрович
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	09.09.2015г.
---	--------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Троян А.А.	к. х. н., ст.преподаватель		09.09.2015г.

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2Д2А	Федорова Татьяна Валерьевна		09.09.2015г.

Реферат

Выпускная квалификационная работа изложена на 98 страницах, включая 12 рисунков, 33 таблиц, 23 литературных источника.

Ключевые слова: бензол, циклогексан, водород, гидрирование бензола, трубчатый реактор гидрирования, никель – хромовый катализатор.

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

Целью работы является определение основных способов получения циклогексана в современных условиях, их позитивные и негативные стороны и проектирование узла синтеза циклогексана.

В процессе выполнения ВКР был спроектирован реактор узла гидрирования бензола до циклогексана, работающий на никель – хромовом катализаторе, а так же 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.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: 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.

Степень внедрения: результаты данной выпускной квалификационной работы могут быть использованы в качестве теоретической основы для проектирования узлов по производству циклогексана на предприятиях.

Область применения: предприятия по производству циклогексана и производных на его основе.

Экономическая эффективность/значимость работы: производство циклогексана является коммерчески привлекательным проектом, потому что данный продукт востребован рынком, а технология производства циклогексана отвечает современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

После детальной проработки и дополнительных расчетов планируется предоставить разработанный проект конструкторским организациям.

Оглавление

Введение	8
1. Теоретическая часть	10
1.1 Техничко–экономическое обоснование процесса	10
1.2 Характеристика продукта, исходного сырья, материалов и полупродуктов	12
1.2.1 Химические свойства	13
1.2.2 Свойства сырья	13
1.2.3 Российские производители бензола	15
1.3 Физико-химические основы технологического процесса.....	16
1.3.1 Катализаторы гидрирования бензола	17
1.3.2 Обработка, хранение и транспортировка циклогексана	19
1.5 Выбор технологической схемы процесса	22
2. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективности и ресурсосбережение	26
2.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	26
2.1.1 Потенциальные потребители циклогексана	26
2.1.2 Анализ конкурентных технических решений	28
2.1.3 SWOT-анализ	29
2.2 Планирование научно-исследовательских работ.....	34
2.2.1 Структура работ в рамках научного исследования	34
2.2.2 Разработка графика проектирования узла	36
2.3 Бюджет проектируемого узла	39
2.3.1 Расчет материальных затрат.....	39
2.3.2 Расчет затрат на специальное оборудование для проектирования узла гидрирования бензола	41

2.3.3 Основная заработная плата исполнителей темы.....	41
2.3.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)	44
2.4 Формирование бюджета затрат проекта	45
2.4.1 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	46
Заключение.....	50

Введение

Нефтехимическое производство играет важную роль в нашем обществе, продукция этого производства нужна каждому современному человеку в нашем мире, тысячам заводов и предприятий в различных отраслях промышленности. Это такое производство как: растворители, полимеры, лаки, краски, моющие и косметические средства, лекарственные препараты и многое другое.

Циклогексан представляет собой основное исходное вещество для получения нейлоновых изделий, и потребность в нем как таковом остается значительной. Циклогексан впервые был получен путем прямой фракционной перегонки соответствующих продуктов переработки сырой нефти. Сейчас способ получения циклогексана основывается на процессе гидрирования бензола. Циклогексан используется как сырье в производстве изомеров для химических волокон и используется в качестве растворителя.

Согласно современным данным, мировые масштабы производства циклогексана составляют около 220 тыс. тонн и ежегодно они возрастают. Следовательно стоит задача разработать методы и пути интенсификации получения циклогексана и улучшить качество продукта, уменьшая затраты на ее производство в химической промышленности.

Актуальность темы заключается в том, что потребность в циклогексане с каждым годом возрастает, поэтому необходимо изучить способы получения циклогексана, пути интенсификации данного процесса с учетом того, что необходимо одновременно улучшить качество и уменьшить затраты на производство данного продукта.

Целью работы является определение основных способов получения циклогексана в современных условиях, их позитивные и негативные стороны и проектирование узла синтеза циклогексана.

Объектом данного исследования является процесс гидрирования бензола до циклогексана с использованием никель-хромового катализатора. Предметом исследования является разработка узла синтеза циклогексана.

Результаты данной выпускной квалификационной работы могут быть использованы в качестве теоретической основы для проектирования узлов по производству циклогексана на предприятиях.

1. Теоретическая часть

1.1 Техничко–экономическое обоснование процесса

Циклогексан имеет широкое применение в современной промышленности. Циклогексан представляет собой основное исходное вещество для получения нейлоновых изделий, и потребность в нем как таковом остается значительной. Циклогексан впервые был получен путем прямой фракционной перегонки соответствующих продуктов переработки сырой нефти. Производство циклогексана из бензола в настоящее время основано в основном на процессе гидрирования. Он используется как сырье для производства различных изомеров, которые используются для химических волокон, а так же циклогексан используется в качестве растворителя.

Производственный процесс основан на гидрировании бензола до циклогексана в присутствии никель – хромового катализатора. Существует несколько технологий для производства циклогексана. В основном в промышленности 95 % циклогексана производят гидрированием бензола. Гидрирование протекает в паровой фазе, так как оно имеет энергетическое преимущество над гидрированием в жидкой фазе [7].

Рассмотрим два основных способа производства циклогексана: выделение его из узких бензиновых фракций, богатых нефтяными углеводородами, и гидрирование бензола. На долю гидрирования приходится примерно 95 % общего объема производства циклогексана [1].

1.) Извлечение циклогексана из узких бензиновых фракций

По этому способу получают незначительную часть циклогексана. В зависимости от состава и соотношения в сырье пяти- и шестичленных нефтяных можно выделить только циклогексан, содержащийся в сырье, или подвергать изомеризации метилциклопентан и затем из смеси выделять

циклогексан. Последний вариант более сложен, но выход циклогексана получается больше.

Циклогексан содержится в бензиновых фракциях некоторых нефтей, которые содержат довольно большое количество нафтен.

Путем экстрактивной перегонки и ректификации целесообразно извлекать достаточно большое содержание этих углеводородов из нефти.

Таблице 1 содержит данные некоторых нефтей России (в масс. % от бензина) по содержанию циклогексана в бензиновых фракциях (конец кипения 150°C).

Таблица 1- Содержание циклогексана в бензиновых фракциях [4]

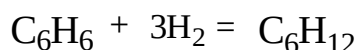
Показатели	Циклогексан
Нефти старых месторождений:	
Сураханская отборная	7,37
Туймазинская	1,21
Эмбенская	4,64
Небитдаганская	1,97
Нефти новых месторождений:	
Западно-Тебукская	2,47
Каратайская	6,40
Усть-Балыкская	2,72

Общее количество циклогексана не превышает 5 – 6 % в нефтях восточных районов. Промышленный интерес как источник производства циклогексана представляют лишь каратайская и сураханская нефти.

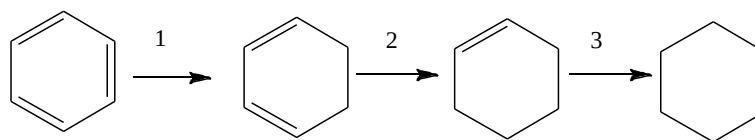
Из бензиновых фракций нефти получение циклогексана в промышленности применяется мало, в основном используют такой метод как гидрирование бензола до циклогексана.

2) Получение циклогексана гидрированием бензола

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 со съемом возникающего в процессе реакции тепла. Тепло выделяющееся в трубном пространстве снимается водяным паром, образующимся в межтрубном пространстве. Также бензол должен быть очищен от соединений серы, являющихся контактными ядами для катализаторов из благородных металлов [1].

Мощность производства циклогексана увеличивается с каждым годом, это связано с тем, что растет спрос на получение продуктов из него. Из циклогексана получают главным образом такие продукты как адипиновую кислоту и капролактамы.

1.2 Характеристика продукта, исходного сырья, материалов и полупродуктов

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 и некоррозионная жидкость, нерастворимая в воде, имеющая острый запах. Как получаемый продукт из нефти циклогексан горючий, его транспортировка проходит в автоцистернах, в металлических бочках с красной меткой для горючих жидкостей. Циклогексан в промышленности выпускается марки технический (чистота 95% или 99%) и циклогексан-растворитель (чистота не менее 85%) [7].

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].

1.2.1 Химические свойства

Циклогексан — циклический насыщенный углеводород, по химическим свойствам близкий к предельным углеводородам. Путем каталитического риформинга в нефтехимической промышленности источником получения различных ароматических углеводородов являются нафтенy. Большое промышленное значение имеет циклогексан, который используется для синтеза таких продуктов как капролактама, адипиновой кислоты и других соединений, используемых в производстве синтетического волокна. Углеводороды, имеющие общую формулу C_nH_{2n} относятся к циклоалканам.

Характерные виды изомеризации для циклоалканов:

1. Изомеризация углеродного скелета.
2. Пространственная изомеризация.
3. Межклассовая изомеризация.

У циклоалканов все атомы в молекулах имеют sp^3 -гибридизацию[8].

1.2.2 Свойства сырья

Главным сырьем в производстве циклогексана является бензол. В качестве исходного сырья используют каменноугольный или нефтяной

бензол. Для получения циклогексана высокого качества используют в качестве сырья нефтяной бензол. В дополнительной очистке от серосодержащих соединений нуждается циклогексан, полученный из каменноугольного бензола.

На установках платформинга при температуре 62 - 105 °С из нефтяных фракций выделяют нефтехимический бензол. Продукты с установок платформинга разделяют ректификацией и экстрактивной дистилляцией; полученный бензол имеет приблизительное содержание примесей 0,2 %, в том числе до 0,06 % *n* - гептана, 0,06 % толуола и метилциклогексана и 0,0001 % общей серы.

Водород, используемый для гидрирования бензола, содержит инертные компоненты такие как (азот, метан и другие), концентрация водорода зависит от качества исходного вещества в газе и зависит от того какой метод очистки водорода применяется и составляет она обычно 90 и 97 % (об.). Содержание двуокиси углерода и окиси в водороде - не должно превышать более 0,002 % (об.) каждой, аммиака - до 0,0002 % (об.) и общей серы - до 2 мг/м³ [2].

Физические свойства бензола

Бензол – это жидкость не имеющая цвета со своеобразным резким запахом. Температура плавления у бензола составляет = 5,5 °С, температура кипения равняется 80,1 °С, плотность равна 0,879 г/см³, молекулярная масса = 78,11 г/моль. Подобно всем углеводородам при горении бензол образует много копоти. Бензол на воздухе образует взрывоопасные смеси, так же он хорошо смешивается с бензином, эфирами и другими органическими растворителями. Бензол образует азеотропную смесь с водой с температурой кипения 69,25 °С. Растворимость бензола в воде составляет 1,79 г/л.

Физические свойства водорода

Водород – это бесцветный, самый легкий газ. Он в 14,5 раза легче воздуха (1 л весит 0,09 г). В воде растворимость водорода очень мала, а температура сжижения чрезвычайно низкая (-252,8 °С) [9].

1.2.3 Российские производители бензола

Основными производителями нефтяного бензола являются: ОАО «Нижнекамскнефтехим», ОАО «СибнефтьОмский НПЗ», ОАО «Салаватнефтеоргсинтез», ОАО «Сибур Нефтехим», ОАО «Уфанефтехим», ОАО «Ангарская нефтехимическая компания», ОАО «СлавнефтьЯрославнефтеоргсинтез», ОАО «Рязанский НПЗ», ООО «ПО Киришинеф теоргсинтез», ООО «Ставролен» и ОАО «Уралоргсинтез». Крупнейшие производители нефтяного бензола это ОАО «Нижнекамскнефтехим» (280 тыс. тонн), ОАО «СибнефтьОмский НПЗ» (190 тыс. тонн), ОАО «Салаватнефтеоргсинтез» (170 тыс. тонн) и ОАО «СибурНефтехим» (80 тыс. тонн).

Основными производителями каменноугольного бензола являются: ОАО «Алтайкокс», ОАО «Северсталь», ОАО «Кокс», ОАО «Кузнецкий металлургический комбинат», ОАО «ЗападноСибирский металлургический комбинат», ОАО «Новолипецкий металлургический комбинат», ОАО «Мечел» и ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат». Крупнейшие производители каменноугольного бензола - ОАО «Западно-Сибирский металлургический комбинат» (80 тыс. тонн), ОАО «Алтайкокс» (45 тыс. тонн), ОАО «Новолипецкий металлургический комбинат» (40 тыс. тонн).

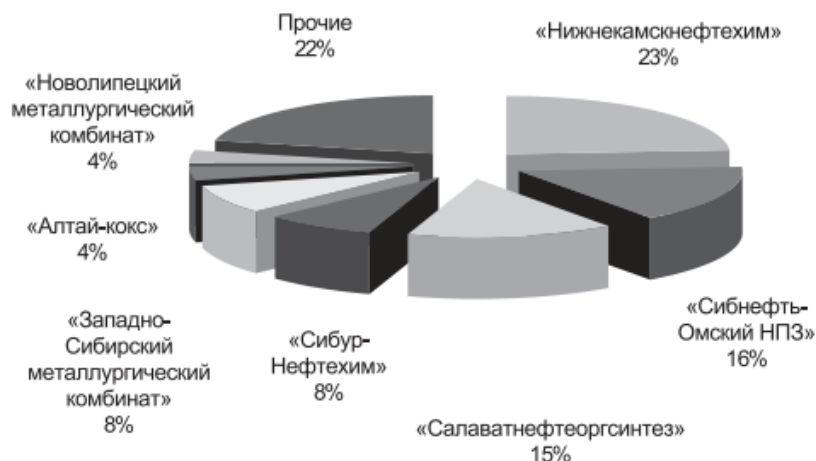


Рисунок 1 - Российские производители бензола.

Более 95 % производимого в России бензола потребляется внутри страны. Крупнейшим импортером российского бензола выступает Финляндия, в основном закупая бензол сырой (неочищенный) у металлургических компаний. Ежегодно Россией импортируется около 15 тыс. тонн бензола, в основном из Украины и Казахстана, что составляет менее 2 % российского потребления [4].

1.3 Физико-химические основы технологического процесса

Восстановление (гидрирование) ароматических углеводородов — присоединение водорода по двойным связям ароматических колец — используют для получения таких соединений, как циклогексан, циклогексиламин, тетралин и др. Катализаторами гидрирования могут быть металлы VIII группы Периодической системы элементов; в промышленности применяют главным образом никель на носителях, например на оксиде хрома(III). Реакцию проводят при температуре порядка 120–200 °С и повышенном давлении (1–5 МПа). Ароматические углеводороды более устойчивы и менее реакционноспособны при гидрировании, чем олефины.

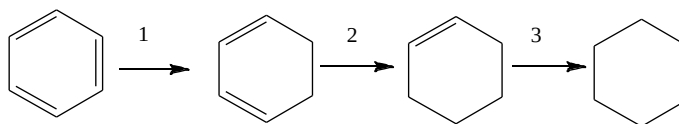
Так, скорость гидрирования бензола в ядро в 150 раз меньше, чем скорость гидрирования циклогексена.

Процесс получения циклогексана включает в себя парофазное гидрирование бензола, катализатором которое является никель – хром. Гидрирование бензола до циклогексана протекает по следующей реакции:



Реакция при процессе гидрирования бензола проходит с большим выделением тепла и является обратимой.

Гидрирование бензола до циклогексана протекает через ряд стадий реакций:



Наиболее медленной является первая стадия; она протекает с поглощением тепла (23,8 кДж/моль), в то время как последующие стадии идут с выделением тепла 119,5 кДж/моль.

При реализации промышленного процесса возможны трудности связанные со съемом возникающего в процессе реакции тепла. Также бензол должен быть очищен от соединений серы, являющихся контактными ядами для катализаторов из благородных металлов [3].

1.3.1 Катализаторы гидрирования бензола

В процессе гидрирования бензола до циклогексана используют различные катализаторы: никель - хромовые, платиновые, сульфидные.

Катализатор – никель - хромовый используемый для гидрирования бензола состоит из металлического никеля или никелевой черни, который нанесен на окись хрома. Представляет собой катализатор черные блестящие таблетки (4×4 мм), насыпная плотностью которого 1,1 – 1,3 г/мл.

При контакте с горючими газами в присутствии воздуха никель – хромовый

катализатор может вызывать воспламенения, поэтому его выпускают в пассивированном виде, т.е с частично окисленной поверхностью. В интервале давлений 2 – 6 МПа при 120 - 250°C и объемной скорости по бензолу 0,5 – ч⁻¹ при гидрировании бензола на никель – хромовом катализаторе содержание циклогексана равно 99,9 %.

При использовании катализатора на основе платины для гидрирования бензола, процесс протекает в тех же условиях, что и в присутствии никелевого катализатора (при давлении до 3 МПа, температуре 150 - 250°C, мольное соотношение газ: бензол = 8:1), при этом достигается почти полная конверсия при селективности, близкой к 100 %. К положительным сторонам платиновых катализаторов можно отнести меньшую чувствительность к сернистым соединениям, нежели у никелевых, и возможность регенерации катализатора. К значительным недостаткам платиновых катализаторов относится их чувствительность к присутствию влаги в сырье, что вызывает необходимость тщательно осушать бензол. Отравление платиновых катализаторов соединениями серы обратимо, в отличие от никелевых катализаторов.

Сульфидные катализаторы обладают меньшей активностью по сравнению с платиновыми и никелевыми катализаторами, и требуют более жестких условий при гидрировании. Давление составляет около 30 МПа и температура 250 – 380 °C. Вследствие таких условий возрастает доля побочных реакций.

Мной выбран никель – хромовый катализатор для гидрирования бензола, это приводит к необходимости установки дополнительного оборудования, а именно форконттактную очистку. При этом в процессе очистки не должно идти процесса гидрирования. Очистка и гидрирование объединены в едином технологическом цикле. Для форконтакта используется медный катализатор. Данный катализатор должен обладать высокодисперсной активностью меди и иметь достаточное количество металла для того чтобы обеспечить высокую сероёмкость контакта. Медь на

карбонате магния обладает наибольшей сероемкостью. Данный катализатор имеет вид таблетки черного цвета размером 5×5 мм с насыпной плотностью 1,3 – 1,6 г/мл, содержит не менее 50 % Cu и 8 – 10 % MgO. Сероемкость катализатора достигает 1,0 – 1,2 % от его массы по тиюфеновой сере и свыше 6 % по сероуглеродной сере [3].

1.3.2 Обработка, хранение и транспортировка циклогексана

Транспортировка циклогексана осуществляется в специально оборудованных железнодорожных цистернах в соответствии с правилами перевозок грузов, действующими на железнодорожном транспорте. Все люки цистерны должны быть герметично закрыты и опломбированы. По классификации опасных грузов циклогексан в соответствии по ГОСТ 19433 относится к классу 3 опасности.

Заполнение железнодорожной цистерны должно проводиться с учетом и расчетом ее вместимости и объемного расширения продукта в пути следования при возможном перепаде температур.

С правилами перевозки грузов по железной дороге, которые утверждены МПС на каждую цистерну несмываемой красной краской наносят трафареты и надписи.

Циклогексан является легковоспламеняющейся жидкостью и его хранят в специальных емкостях на складах [10].

1.4 Выбор конструкции основного аппарата

На сегодняшний день существует и применяется в промышленности несколько видов аппаратов для процесса гидрирования бензола до циклогексана:

- 1) Гидрирование проводится в трубчатом реакторе, содержащего в межтрубном пространстве кипящий конденсат, а в трубном пространстве катализатор.

Тепло, выделяющееся в трубном пространстве, производится образующимся в межтрубном пространстве водяным паром.

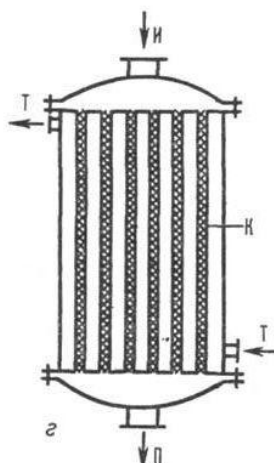


Рисунок 2- Трубчатый реактор. И – исходные вещества, П – продукты реакции, Т – теплоноситель, К – катализатор[5]:

Конструктивно трубчатый реактор является вертикальным кожухотрубчатым теплообменником. Реактор имеет штуцеры, осуществляющие подвод исходной смеси и отвод продуктов реакции, а также реактор снабжен штуцерами для подачи воды в межтрубное пространство и отвода образующегося пара. Катализатор разбавляется инертным материалом для того чтобы предотвратить перегрев первых по ходу газа слоев катализатора. Тепло возникающие при проведении реакции отводится за счет испарения части конденсата с образованием водяного пара. При изменении температура кипения конденсата и количество отводимого тепла изменяется и давление. Трубчатый реактор непрерывного действия имеет определенные преимущества перед реакторами периодического действия, так как его работа непрерывна, время нахождения реагентов в зоне реакции можно регулировать изменением скорости подачи потока, недостатками данного аппарата является то, что в трубках реактора идет перепад температур из-за отсутствия перемешивания. Так же к достоинствам данного аппарата относится его крупнотоннажность в производстве продуктов.

- 2) Гидрирование производится в аппаратах со сплошным слоем катализатора, помещенным в несколько слоев на дырчатых полках, либо в специальных корзинах. В пространстве между слоями расположены холодильники. Иногда применяют реактора адиобатические со сплошным слоем катализатора и промежуточным охлаждением реакционной массы.

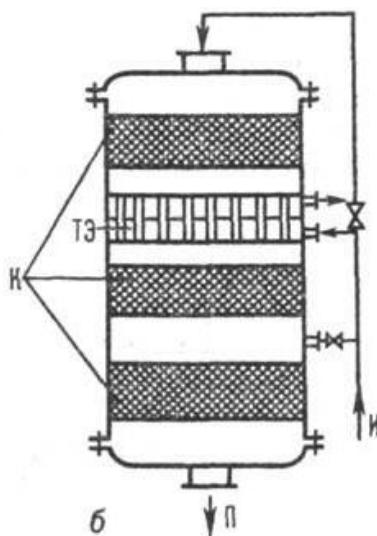


Рисунок 3 - Многослойный каталитический реактор с промежуточными теплообменными элементами. И – исходные вещества, П – продукты реакции, К – катализатор, ТЭ - теплообменные элементы[2]:

Недостатками аппарат является сложность и большая металлоемкость их конструкции. От всего объема реактора на долю катализатора приходится всего 5 % , а остальное пространство занимают теплообменники и распределительные устройства.

- 3) Также на практике применяют аппараты, катализатор в которых размещен в несколько слоев в каталитической коробке, монтируемой вне реактора и вынимаемой при замене катализатора.

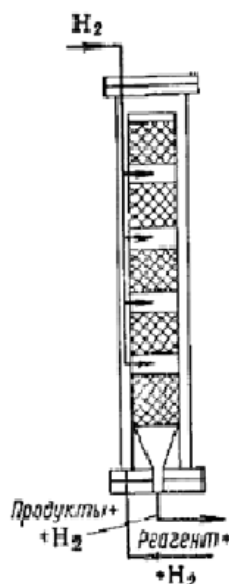


Рисунок 4 – Колонна с несколькими слоями гетерогенного катализатора с охлаждением холодным водородом [2]:

В кольцевое пространство между катализаторной коробкой и корпусом реактора для частичного отвода тепла и защиты корпуса реактора от действия высоких температур подается реакция смесь или холодный водород. В нескольких точках по высоте коробки вводится холодный водород, при этом все трубы выведены через массивную крышку и днище, а не сбоку это все оборудовано для укрепления корпуса реактора.

4) Так же в промышленности сочетают систему из двух реакторов, а именно реактор гидрирования с суспендированным катализатором в жидкой фазе и реактор в газовой фазе со стационарным катализатором для гидрирования.

Наиболее оптимальной конструкцией является трубчатый реактор для процесса гидрирования бензола в циклогексан [6].

1.5 Выбор технологической схемы процесса

В промышленности осуществлено несколько принципиально разных схем процесса гидрирования бензола. Их можно классифицировать по

конструкции реакторов либо по состоянию сырья (жидкофазные или парофазные).

Среди жидкофазных процессов наиболее распространенный является метод Французского института нефти. На рисунке 4 представлена схема гидрирования бензола в циклогексан по методу Французского института нефти.

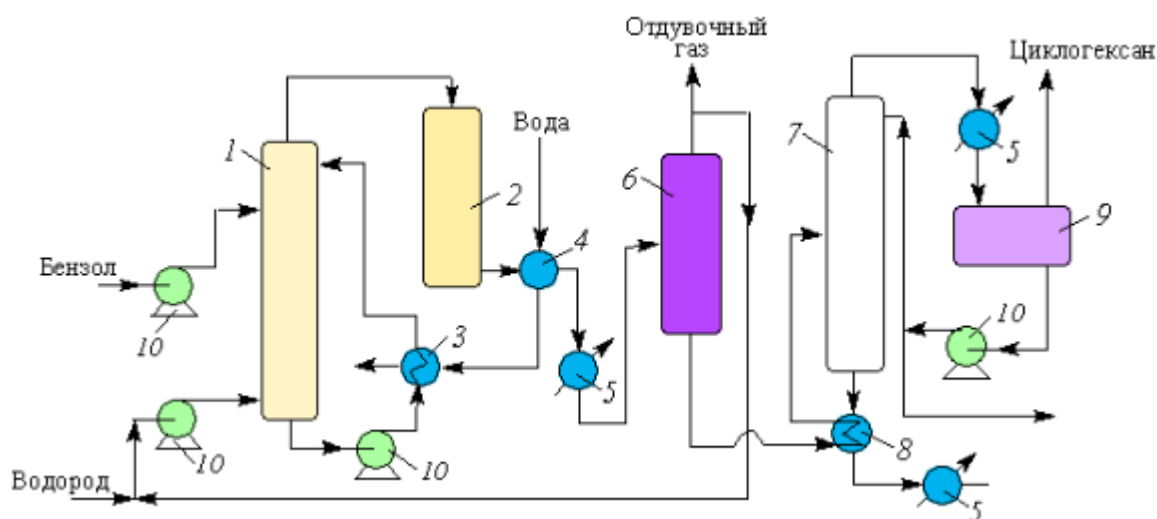


Рисунок 5 - Гидрирование бензола в циклогексан по методу Французского института нефти [3]: 1 - основной реактор гидрирования; 2 - вспомогательный реактор гидрирования; 3 - 5, 8 - теплообменники; 6 - сепаратор высокого давления; 7 - колонна стабилизации; 9 - сепаратор; 10 - насосы.

Водород и бензол поступают в главный реактор жидкофазного гидрирования 1, в который в виде суспензии подается катализатор с помощью насоса. Регулирование температуры в реакторе происходит за счет того, что испаряется циклогексан. Гидрирование проводится при температуре 200 °С и давлении 4 МПа (парциальное давление водорода составляет - 0,3 МПа). Распределение катализатора идет равномерно и однородно, а обеспечивается это распределение барботирование через жидкость газа, и протекает интенсивная циркуляция раствора через теплообменник 3, в котором при низком давлении генерируется пар.

Из основного реактора гидрирования поступают продукты реакции во вспомогательный реактор 2 из верхней части аппарата, в котором

практически полностью превращается из бензола в циклогексан. Затем полученные продукты через теплообменники отводятся в сепаратор высокого давления 6 и в колонне стабилизации 7 и далее подвергаются фракционированию. На рецикл частично идет возврат газообразных продуктов, которые подаются из сепаратора, а из колонны стабилизации через холодильник 8 продукты поступают в сепаратор 9, из которого далее отводится готовый продукт. Поступающие из колонны стабилизации и сепаратора газы отдувки используются в качестве топлива.

В нашей промышленности распространен в основном парофазный процесс, причем внедрено несколько схем, различающихся условиями процесса и аппаратным оформлением. Мной рассмотрена принципиальная схема гидрирования бензола с применением трубчатого реактора. На рисунке 5 представлена схема гидрирования бензола с применением трубчатого реактора.

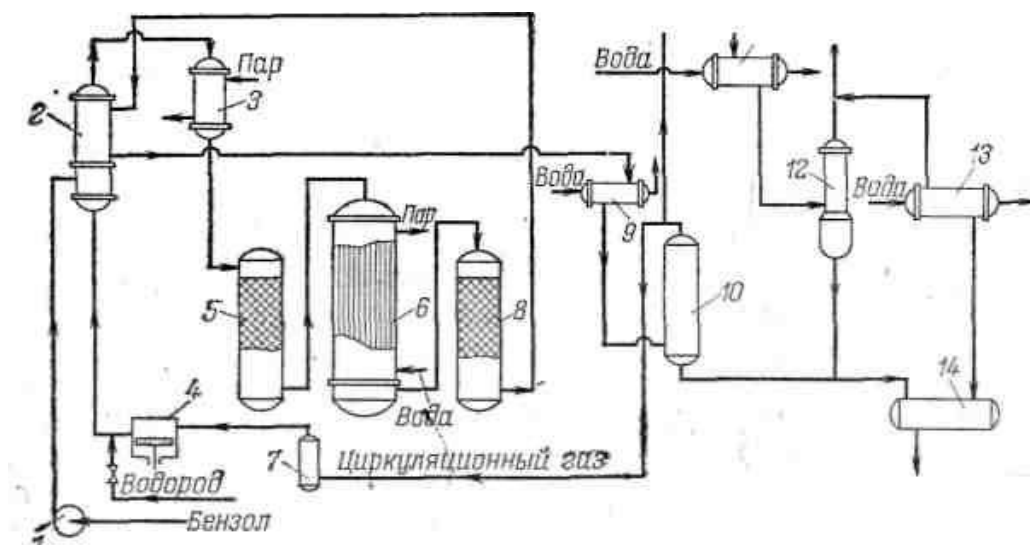


Рисунок 6 - Схема гидрирования бензола с применением трубчатого реактора [3]: 1 - насос; 2 - теплообменник; 3 - подогреватель; 4 - компрессор; 5 - колонна флорконтакта; 6 - реактор трубчатый; 7 - сепаратор; 8 - колонный реактор; 9 - холодильник-конденсатор; 10,12 - сепарационные колонны; 11,13 - холодильники; 14 - сборник.

Насосом 1 бензол подается в трубное пространство теплообменника 2. Исходная смесь из теплообменника 2 подается в паровой подогреватель 3. Затем эта смесь направляется в колонну флорконтакта 5. Затем поступает в

реакторы гидрирования очищенная смесь. В первый трубчатый реактор 6 загружается около 40% от общего количества катализатора, а во второй реактор колонного типа загружается оставшееся количество катализатора. Из реактора 8 реакционная смесь поступает в межтрубное пространство теплообменника 2, где охлаждается. Конденсация циклогексана и дальнейшее охлаждение смеси проходят в холодильнике - конденсаторе 9. Из холодильника 9 газожидкостная смесь с температурой 35°C поступает в сепарационную колонну 10, где от газа отделяется жидкий циклогексан. Из колонны 10 газовая фаза поступает во всасывающую линию циркуляционного компрессора 4. Из сепарационных колонн 10 и 12 жидкий циклогексан поступает в сборник 14, откуда передается на склад.

Рассмотрев различные способы гидрирования бензола, была выбрана наиболее оптимальная схема процесса, заключающаяся в гидрировании бензола с применением комбинирования двух реакторов на никель - хромовых катализаторах в паровой фазе, соответственно с суспендированным катализатором в трубчатом реакторе и стационарным катализатором в колонном реакторе.

Выбор обоснован следующими причинами:

1. Парофазное гидрирование имеет более заметные энергетические преимущества перед жидкофазным, в особенности если парофазное гидрирование осуществлять в трубчатых реакторах при одновременном получении энергетического пара. Также при жидкофазном процессе возможно возникновение затруднений, связанных с использованием суспендированного катализатора.
2. Комбинирование в технологической схеме реакторов разного типа позволяет достичь высокой степени превращения сырья и производительности. Реакция в основном протекает в первом (трубчатом) реакторе. Во втором (колонном) реакторе протекает только небольшая доля превращений, причем не требующая охлаждения.

2. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективности и ресурсосбережение

Перспективность научного исследования определяется не столько масштабом открытия, оценить которое на первых этапах жизненного цикла высокотехнологического и ресурсоэффективного продукта бывает достаточно трудно, сколько коммерческой ценностью разработки. Производство циклогексана является коммерчески привлекательным проектом, потому что данный продукт востребован рынком, а технология производства циклогексана отвечает современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

2.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

2.1.1 Потенциальные потребители циклогексана

Циклогексан – важнейшее сырьё, используемое в производстве крупнотоннажной химической продукции, являющейся основой для большого числа разнообразных товаров народного потребления во всех промышленно развитых странах.

Основные направления использования циклогексана:

Производство циклогексана является очень важным для получения других органических веществ, таких как: нитроциклогексана, циклогексанона и циклогексанола, циклогексаноноксима.

Используется так же для химических волокон в производстве изомеров, и в качестве растворителя для другого органического синтеза.

Производство циклогексана играет важную роль для такой продукции, как воски, эфирные масла, лаки и краски. Так же это сырьё для получения адипиновой кислоты, капролактама.

Еще это растворитель эфирных лаков, красок, масел, восков и экстрагент в фармацевтической промышленности.

- циклогексанол – применяют как полупродукт в производстве капролактама, из полимера которого изготавливают полиамидное волокно, и как растворитель.

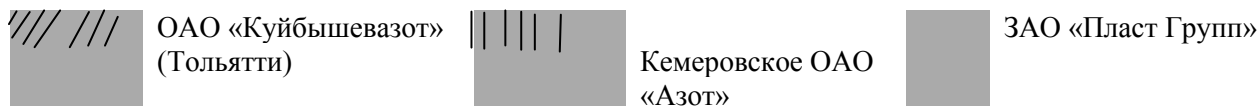
- адипиновая кислота – является сырьем в производстве полигексаметиленадипинамида, а также ее полиуретанов и эфиров; используется как пищевая добавка (зарегистрирована под номером Е 355) для придания продуктам кислого вкуса.

- капролактама – используется преимущественно в производстве полиамидных нитей и волокон, а также конструкционных пластиков. Около 60% мирового спроса приходится на нити и волокна, 34% - потребляется в производстве конструкционных пластмасс. Остальной объем используется для изготовления упаковочных пленок и других материалов.

К отраслям, в которых используется циклогексан, относятся лакокрасочная, фармацевтическая, пищевая и нефтехимическая промышленности. Ассортимент продукции на основе циклогексана.

		Вид производимой продукции		
		Капролактама	Циклогексанол	Адипиновая кислота
<i>Промышленность</i>	лакокрасочная			
	Пищевая			
	Нефтехимическая			

Рисунок 7 - Карта сегментирования рынка производства циклогексана



2.1.2 Анализ конкурентных технических решений

Анализ трех конкурирующих компаний по производству циклогексана провели с помощью оценочной карты, приведенной в таблице 17.

Таблица 2 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений.

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Чистота производимого циклогексана (Массовая доля циклогексана)	0,7	5	5	5	3,5	3,5	3,5
2. Цвет	0,05	5	5	5	0,25	0,25	0,25
3. Устойчивость к окружающей среде	0,03	5	5	5	0,15	0,15	0,15
4. Гигроскопичность	0,02	5	5	5	0,1	0,1	0,1
5. Запах	0,02	5	5	5	0,1	0,1	0,1
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Конкурентоспособность продукта	0,01	5	5	5	0,05	0,05	0,05
2. Уровень проникновения на рынок	0,01	5	5	5	0,05	0,05	0,05
3. Цена	0,06	5	4	4	0,3	0,24	0,24
4. Предполагаемый срок эксплуатации	0,01	5	5	5	0,05	0,05	0,05
5. Финансирование научной разработки	0,02	4	5	5	0,08	0,1	0,1
6. Срок выхода на рынок	0,02	5	5	5	0,1	0,1	0,1
7. Наличие сертификации разработки	0,05	5	5	5	0,25	0,25	0,25
Итого	1				4,98	4,92	4,94

где Б_ф – проектируемое предприятие, Б_{к1} – ОАО «Щекиноазот» (Тульская область) и Б_{к2} – ОАО «Сибур-Нефтехим» (г. Дзержинск, Нижегородская область).

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum V_i \cdot B_i,$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

V_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя.

Так как продукт циклогексан производится на всех предприятиях по ГОСТу, то конкурентоспособность продукта можно оценить лишь по экономическим критериям эффективности. Для проектируемого предприятия суммарный балл конкурентоспособности максимален. Уязвимость позиций конкурентов заключается в более высокой цене продажи продукции, однако нашей компании необходимо привлекать финансы для научных разработок.

2.1.3 SWOT-анализ

Проведем комплексный анализ научно-исследовательского проекта – SWOT-анализ. Для этого исследуем исследования внешнюю и внутреннюю среды проекта.

Таблица 3 – Анализ факторов макросреды (факторы внешней среды дальнего действия)

Группа факторов	Факторы	Характер влияния на организацию «+», «-»	Действия организации
Экономический	1.Снижение покупательской способности потребителя	«-» уменьшение выручки от продажи	Наработка ценового конкурентного преимущества
	2.Повышение уровня инфляции	«-» снижение покупательской способности потребителя	
	3. Увеличение налоговых ставок	«-»снижение чистой прибыли	Проведение оптимальной налоговой политики
Научно-технический	1. Появление современного оборудования	«+» увеличение чистого денежного потока (повышение стоимости предприятия)	Внедрение новых технологий (модернизация оборудования) с целью наработки конкурентных преимуществ продукта
		«-» сокращение чистого денежного потока в случае внедрения НТП конкурентами	Внедрение новых технологий (модернизация оборудования) с целью наработки конкурентных преимуществ продукта
Социо-культурные	1.Повышение уровня образования	«+» появление на рынке труда квалифицированных кадров	Прием на работу персонала высокой квалификации Разработка программы мотивации и стимулирования для работников

Таблица 4 – Анализ факторов микроокружения

Группа факторов	Факторы	Характер влияния на организацию «+», «-»	Действия Организации
Потребители	Увеличение покупательской способности	«+» возможность увеличения объемов производимой продукции, увеличение прибыли	Модернизация производства
	Снижение покупательской способности	«-» снижение объемов производимой продукции	Поиск путей дифференциации хозяйственного портфеля в целях 100% загрузки производственных мощностей
Поставщики	Увеличение стоимости сырья, комплектующих	«-» перебои в поставках «-» повышение цены готового продукта	Рассмотрение новых форм сотрудничества, заключение долгосрочных договоров Поиск новых, более выгодных поставщиков
	Несоблюдение сроков и условий поставки	«-» сбои в работе предприятия	Введение штрафных санкций за несоблюдение обязательств. Смена поставщика
	Предоставление скидок в зависимости от объемов партии сырья	«+» возможность снижения себестоимости готового продукта, увеличение выручки от продаж	Разработка эффективной программы продвижения продукта. Увеличение доли рынка. Повышение стоимости предприятия
Конкуренты	Ужесточение конкуренции	«-» угроза снижения доли рынка, снижения объемов производства и реализации, уменьшение прибыли	Удержание позиций предприятия: наработка и укрепление конкурентных преимуществ, разработка программы продвижения продукта предприятия
	Наличие высоких входных барьеров	«+» отсутствие возможности появления новых конкурентов	Создание входных барьеров для потенциальных конкурентов

Проанализируем внутреннюю среду по следующим направлениям: финансы, маркетинг, менеджмент, кадры, производство, НИОКР, корпоративная культура.

Таблица 5 – Анализ внутренней среды предприятия

Факторы среды	Сильные стороны	Слабые стороны
Маркетинг	1. Наличие эффективных каналов распределения готового продукта 2. Достаточная доля рынка	1. Низкий уровень маркетинговых исследований 2. Наличие неэффективной программы продвижения готового продукта
Менеджмент	1. Наличие высококвалифицированных управленческих кадров 2. Четко поставленные цели 3. Наличие стратегии развития предприятия 4. Наличие эффективной программы реализации стратегии	1. Неэффективный менеджмент 2. Отсутствие четкой стратегии развития предприятия
Кадры	1. Высокий уровень квалификации кадров 2. Отсутствие текучести кадров 3. Высокая рентабельность персонала	1. Отсутствие эффективной системы мотивации и стимулирования
Производство	1. Наличие современной технологии 2. Наличие современного оборудование 3. Проведение научно-технических разработок 4. Низкая себестоимость готовой продукции	1. Недогрузка производственных мощностей 2. Большой срок поставок материалов и комплектующих, используемых в производстве 3. Появление продукта-заменителя
Корпоративная культура	1. Высокий уровень корпоративной культуры	1. Низкий уровень корпоративной культуры

Таблица 6 – Матрица SWOT

	Возможности: 1.Использование инновационной инфраструктуры ТПУ 2.Повышение стоимости конкурентных разработок 3.Появление дополнительного спроса на новый продукт 4. Появление современных технологий и оборудования 5.Появление новых программ по повышению квалификации персонала	Угрозы: 1.Отсутствие спроса на новые технологии производства 2.Развитая конкуренция технологий производства 3.Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования со стороны государства
Сильные стороны: 1.Наличие экономичности и энергоэффективности технологии. 2.Экологичность технологии. 3.Более низкая стоимость производства по сравнению с другими технологиями. 4.Наличие бюджетного финансирования. 5.Высокий уровень профессионализма кадров	1.Разработка технологии гидрирования бензола с целью получения циклогексана с требуемыми конкурентными преимуществами 2.Повышение рентабельности производства 3.Стажировка персонала за рубежом	1.Создание программы продвижения проекта. 2.Изучение конкурентов и создание конкурентных стратегий. 3.Лоббирование своего проекта на уровне государства
Слабые стороны: 1.Отсутствие инжиниринговой компании, способной построить производство под ключ 2.Отсутствие необходимого оборудования для проведения испытания опытного образца 3.Большой срок поставок материалов и комплектующих, используемых при проведении научного исследования	1.Создание инжиниринговой компании способной запустить производство 2.Закупка необходимого оборудования 3.Смена оптимального поставщика	1.Создание инжиниринговой компании способной запустить производство 2.Закупка необходимого оборудования 3.Смена оптимального поставщика 4.Изучение конкурентов и создание конкурентных стратегий. 5.Лоббирование своего проекта на уровне государства

2.2 Планирование научно-исследовательских работ

2.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

Для получения циклогексана в производственных условиях формируется рабочая группа, в состав которой входят руководитель проекта и инженер (дипломник).

Составим перечень этапов и работ в рамках проектируемого узла и проведем распределение исполнителей по видам работ (табл. 7).

Таблица 7 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность Исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель темы
Выбор направления исследований Л	2	Подбор и изучение материалов по теме	Инженер (бакалавр)
	3	Выбор направления исследований	Руководитель, инженер (бакалавр)
	4	Календарное планирование работ по теме	Руководитель
Теоретические и экспериментальные исследования Т Р	5	Проведение теоретических расчетов и обоснований	Инженер (бакалавр)
	6	Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими исследованиями	Инженер (бакалавр)
Обобщение и оценка результатов Е	7	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель
	8	Определение целесообразности проведения процесса	Руководитель, инженер (бакалавр)
Разработка технической документации и проектирование Т	9	Разработка блок-схемы, принципиальной схемы	Инженер(бакалавр)
	10	Выбор и расчет конструкции	Инженер(бакалавр)
	11	Оценка эффективности производства и применения проектируемого изделия	Руководитель, инженер (бакалавр)
Оформление отчета по проведенным расчетам	12	Составление пояснительной записки (эксплуатационно-технической документации)	Инженер (бакалавр)
	13	Составление принятых к проекту чертежей основного и вспомогательного оборудования	Инженер (бакалавр), руководитель

Трудоемкость проектирования узла получения циклогексана оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости $t_{\text{ож}i}$ используется следующая формула:

$$t_{\text{ож}i} = \frac{3t_{\text{мин}i} + 2t_{\text{макс}i}}{5},$$

где $t_{\text{ож}i}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы чел.-дн.;

$t_{\text{мин}i}$ – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;

$t_{\text{макс}i}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями. Такое вычисление необходимо для обоснованного расчета заработной платы, так как удельный вес зарплаты в общей сметной стоимости научных исследований составляет около 65 %.

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

где T_{pi} – продолжительность одной работы, раб. дн.;

$t_{\text{ож}i}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.

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

2.2.2 Разработка графика проектирования узла

Для разработки графика проектирования узла, построим диаграмму Ганта.

Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней приведем в календарные дни по формуле:

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

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

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

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

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}},$$

где $T_{\text{кал}}$ – количество календарных дней в году;

$T_{\text{вых}}$ – количество выходных дней в году;

$T_{\text{пр}}$ – количество праздничных дней в году.

$$k_{\text{кал}} = 1,5$$

Все рассчитанные значения сведем в таблицу (табл. 8).

Таблица 8 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоёмкость работ									Исполнители, количество			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.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
Разработка технического задания	12	8	6	15	10	9	13,2	8,8	7,2	1	2	3	13,2	4,4	2,4	19,8	6,6	3,6
Работа с литературой	60	90	105	70	96	111	64	92,4	107,4	1	2	2	32	46,2	53,7	48	69,3	80,55
Выполнение материальных расчетов для проектируемого процесса и его оформление	25	30	20	30	35	25	27	32	22	1	1	2	27	32	11	40,5	48	16,5
Выполнение чертежа технологической схемы проектируемого процесса	14	20	25	20	25	30	16,4	22	27	2	1	1	16,4	22	27	24,6	33	40,5
Выполнение чертежа общего вида реактора и его основных узлов	30	30	28	35	35	35	32	32	30,8	1	2	1	32	16	30,8	48	24	46,2
Выполнение спецификации к технологической схеме, к аппарату и его узлам	25	30	20	30	35	25	27	32	22	1	1	1	27	32	22	40,5	48	33
Оформление пояснительной записки проекта	15	7	8	17	10	12	15,8	8,2	9,6	1	2	2	15,8	4,1	4,8	23,7	6,2	7,2

Таблица 9 – Календарный план-график проведения проектирования узла

№ раб от	Вид работ	Исполнители	T _{кi} дн.	Продолжительность выполнения работ															
				Янв.		Февр.			март			Апрель			май			июнь	
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2
1	Разработка технического задания	Руководитель	20																
2	Работа с литературой	Инженер (бакалавр)	48																
3	Выполнение материальных расчетов для проектируемого процесса и его оформление	Инженер (бакалавр)	41																
4	Выполнение чертежа технологической схемы проектируемого процесса	Руководитель, инженер (бакалавр)	25																
5	Выполнение чертежа общего вида реактора и его основных узлов	Инженер (бакалавр)	48																
6	Выполнение спецификации к технологической схеме, к аппарату и его узлам	Инженер (бакалавр)	41																
7	Оформление пояснительной записки проекта	Инженер (бакалавр)	24																



- инженер (бакалавр)



- руководитель

2.3 Бюджет проектируемого узла

2.3.1 Расчет материальных затрат

Данная статья включает стоимость всех материалов, используемых при разработке проекта:

- приобретаемые со стороны сырье и материалы, необходимые для создания научно-технической продукции;

- покупные материалы, используемые в процессе создания научно-технической продукции для обеспечения нормального технологического процесса и для упаковки продукции или расходуемых на другие производственные и хозяйственные нужды (проведение испытаний, контроль, содержание, ремонт и эксплуатация оборудования, зданий, сооружений, других основных средств и прочее), а также запасные части для ремонта оборудования, износа инструментов, приспособлений, инвентаря, приборов, лабораторного оборудования и других средств труда, не относимых к основным средствам, износ спецодежды и других малоценных и быстроизнашивающихся предметов;

- покупные комплектующие изделия и полуфабрикаты, подвергающиеся в дальнейшем монтажу или дополнительной обработке;

- сырье и материалы, покупные комплектующие изделия и полуфабрикаты, используемые в качестве объектов исследований (испытаний) и для эксплуатации, технического обслуживания и ремонта изделий – объектов испытаний (исследований);

В материальные затраты, помимо вышеуказанных, включаются дополнительно затраты на канцелярские принадлежности, диски, картриджи и т.п. Однако их учет ведется в данной статье только в том случае, если в научной организации их не включают в расходы на использование оборудования или накладные расходы. В первом случае на них определяются соответствующие нормы расхода от установленной базы. Во втором случае

их величина учитывается как некая доля в коэффициенте накладных расходов.

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$G_1 = \sum_{i=1}^m \ddot{O}_i \cdot N_{\text{расх}i},$$

где m – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении научного исследования;

$N_{\text{расх}i}$ – количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, м² и т.д.);

$\ddot{O}_i$ – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./м² и т.д.).

Из затрат на материальные ресурсы, включаемых в себестоимость продукции, исключается стоимость возвратных отходов.

Под возвратными отходами производства понимаются остатки сырья, материалов, полуфабрикатов, теплоносителей и других видов материальных ресурсов, образовавшиеся в процессе производства научно-технической продукции, утратившие полностью или частично потребительские качества исходного ресурса (химические или физические свойства) и в силу этого используемые с повышенными затратами (понижением выхода продукции) или вовсе не используемые по прямому назначению.

Таблица 10 – Материальные затраты (цены, включая НДС)[22]:

Наименование	Единица измерения	Количество			Цена за ед., руб.			Затраты на материалы (с учетом амортизации), (З _м), руб.		
		Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
Водород	м ³	17264,7	15000	16000	5	4	4,5	8632,35	6000	7200
Бензол	м ³	14632,0	15000	12000	2	2,3	2,5	29264	34500	30000
Циркул.газ	м ³	318910,6	300000	320000	5,7	5,5	5,0	15148,25	13750	13333,33
Никель-хром	кг	100000	70000	80000	3,1	3,5	3,2	31000	24500	25600
Итого:								84044,6	78750	76133,33

2.3.2 Расчет затрат на специальное оборудование для проектирования узла гидрирования бензола

В данную статью включают все затраты, связанные с приобретением специального оборудования, необходимого для проведения работ по конкретной теме. Определение стоимости спецоборудования производится по действующим прейскурантам, а в ряде случаев по договорной цене. Расчет затрат по данной статье занесли в таблицу 26.

Таблица 11 – Расчет бюджета затрат на приобретение спецоборудования (цены, включая НДС) [23]

№ п/п	Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования, шт			Цена единицы оборудования (с учетом амортизации), руб.			Общая стоимость оборудования, тыс. руб.		
		Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1.	Трубчатый реактор	1	2	2	17500	17500	18000	17500	35000	36000
2.	Теплообменник	5	4	4	14583	15000	14167	72915	60000	56668
3.	Сепарационные колонна	1	1	1	5000	4500	4300	5000	4500	4300
4.	Холодильник	1	1	1	10000	15000	18000	10000	15000	18000
5.	Колонный реактор	3	3	2	15000	2000	4000	45000	6000	8000
6.	Компрессор	1	2	2	10000	16000	25000	10000	32000	50000
7.	Колонна форконтакта	1	1	1	20000	25000	18000	20000	25000	18000
8.	Ректификационная колонна	1	1	1	8000	8333	10000	8000	8333	10000
9.	Насос	1	2	1	10000	15000	12000	10000	30000	12000
10.	Сепаратор	1	1	1	8000	10000	10500	8000	10000	10500
11.	Подогреватель	1	2	2	18000	15000	13000	18000	30000	26000
	Итого:							224415	255833	249468

2.3.3 Основная заработная плата исполнителей темы

В часть включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, рабочих макетных мастерских и опытных производств, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из

трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок. Расчет основной заработной платы сводится в таблице 27.

Основная заработная плата ($Z_{\text{осн}}$) лаборанта, инженера рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_p,$$

где $Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата одного работника;

T_p – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн.;

$Z_{\text{дн}}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}},$$

где $Z_{\text{м}}$ – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

при отпуске в 24 раб. дня $M = 11,2$ месяца, 5-дневная неделя;

$F_{\text{д}}$ – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн.

Таблица 12 – Расчет основной заработной платы

№ п/п	Наименование этапов			Исполнители по категориям			Длительность работ в рабочих днях T_{pi}			Среднедневная заработная плата, руб			Основная заработная плата, руб		
	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3
1.	Разработка технического задания			Руководитель			13,2	4,4	2,4	602,69	627,80	552,47	7955,52	2762,33	1325,919
2.	Работа с литературой			Инженер (бакалавр)			32	46,2	53,7	301,35	276,23	251,12	9643,05	12761,97	13485,2
3.	Выполнение материальных расчетов для проектируемого процесса и его оформление			Инженер (бакалавр)			27	32	11	301,35	276,23	251,12	8136,32	8839,46	2762,332
4.	Выполнение чертежа технологической схемы проектируемого процесса			Руководитель			16,4	22	27	602,69	627,80	552,47	9884,13	13811,66	14916,59
				инженер (бакалавр)						301,35	276,23	251,12	4942,06	6077,13	6780,269
5.	Выполнение чертежа общего вида реактора и его основных узлов			Инженер (бакалавр)			32	16	30,8	301,35	276,23	251,12	9643,05	4419,73	7734,529
6.	Выполнение спецификации к технологической схеме, к аппарату и его узлам			Инженер (бакалавр)			27	32	22	301,35	276,23	251,12	8136,32	8839,46	5524,664
7.	Оформление пояснительной записки проекта			Инженер (бакалавр)			15,8	4,1	4,8	301,35	276,23	251,12	4761,26	1132,56	1205,381
	Сумма:												63101,70	58644,30	53734,89

Таблица 13 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней - выходные дни - праздничные дни	118	118
Потери рабочего времени - отпуск - невыходы по болезни	24	24
Действительный годовой фонд рабочего времени	223	223

Тарифная заработная плата $Z_{тс}$ находится из произведения тарифной ставки работника 1-го и 4-го разряда на тарифный коэффициент k_t и учитывается по единой для бюджетных организации тарифной сетке. Расчёт основной заработной платы приведён в таблице 29.

Таблица 14 – Расчёт основной заработной платы

Исполнители	Разряд	k_t	$Z_{тс}$, руб.	$k_{пр}$	k_d	k_p	Z_m , руб.	$Z_{дн}$, руб.	T_p , раб. дн.	$Z_{осн}$, руб.
Руководитель	6	1,407	6092	0,3	0,4	1,3	13463,3	676,18	156	105484,82
Инженер	4	1,142	4945	0,3	0,4	1,3	10928,5	548,87	163	89466,27
Итого $Z_{осн}$										194951,1

2.3.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

В данной статье расходов 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.

На 2016 г. в соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30%, учитывая вредность.

Таблица 15 – Социальные отчисления

Исполнение	З _{осн} , руб.	Страховые отчисления, руб.
Исполнение 1	101508,16	30960
Исполнение 2	106681,25	32538
Исполнение 3	77706,90	23701

2.4 Формирование бюджета затрат проекта

Рассчитанная величина затрат проектирования является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается предприятием в качестве нижнего предела затрат на разработку продукции.

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в таблице 31.

Таблица 16 – Расчет бюджета затрат проекта

Наименование статьи	Сумма, руб.			Примечание
	Исп.1	Исп.2	Исп.3	
1. Материальные затраты	84044,6	78750	76133,33	Пункт 3.4.1
2. Затраты на специальное оборудование	224415	255833	249468	Пункт 3.4.2
3. Затраты на электроэнергию	75816	75816	75816	Пункт 3.4.3
4. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	63101,7	58644,3	53734,89	Пункт 3.4.4
5. Страховые отчисления	30960	32538	23701	Пункт 3.4.5.
6. Бюджет затрат НТИ	478337,3	501581,3	478853,22	Сумма ст. 1- 5

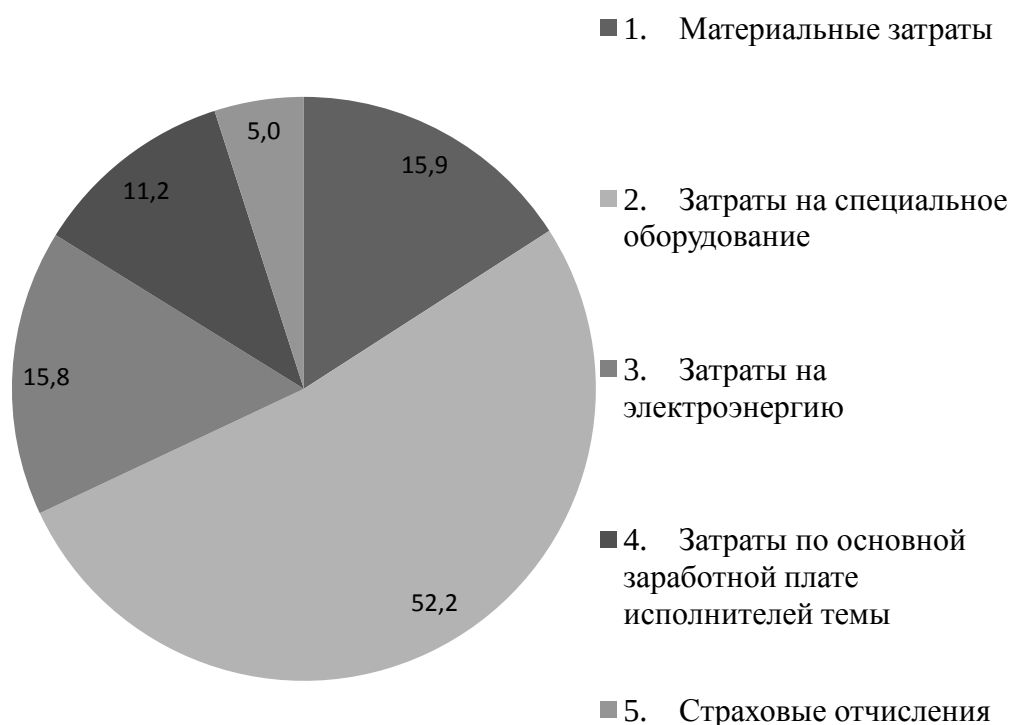


Рисунок 12 - Распределение бюджета НТИ по статьям, %

2.4.1 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.

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.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

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

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

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

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное увеличение бюджета затрат разработки в размах (значение больше единицы), либо соответствующее численное удешевление стоимости разработки в размах (значение меньше единицы, но больше нуля).

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i,$$

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности для i -го варианта исполнения разработки;

a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки;

b_i^a , b_i^p – бальная оценка i -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

n – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности рекомендуется проводить в форме таблицы (табл. 17).

Таблица 17 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Объект исследования Критерии	Весовой коэффициент параметра	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1. Удовлетворяет потребности потребителя	0,1	5	3	4
2. Получаемый циклогексан соответствует ГОСТ 7568-88	0,35	4	2	3
3. Энергосбережение	0,15	4	3	3
4. Надежность	0,25	4	4	4
5. Материалоемкость	0,15	4	4	4
ИТОГО	1			
I_{pi}		4,1	3,05	3,5

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения проекта ($I_{исп.i}$) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{исп.2} = \frac{I_{p-исп2}}{I_{финр}^{исп.2}} \text{ и т.д.}$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных. Сравнительная эффективность проекта ($\mathcal{E}_{cp}$):

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{исп.1}}{I_{исп.2}}$$

Таблица 18 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1	Интегральный финансовый показатель	1,00	0,75	0,85
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности	4,10	3,05	3,5
3	Интегральный показатель эффективности	4,10	4,07	4,11
4	Сравнительная эффективность проекта относительно исп.1	1,00	0,99	1,01

Представленные расчеты показывают, что с позиции финансовой и ресурсной эффективности, более эффективным вариантом решения технической задачи, поставленной в бакалаврской работе, является исполнение 1, так как в совокупности интегральные показатели данного исполнения выше, чем у других исполнений.

Заключение

В результате проведенной работы были определены основные способы получения циклогексана в современных условиях, их достоинства и недостатки, и выбран наиболее оптимальный метод получения продукта.

В процессе выполнения ВКР был спроектирован узел гидрирования бензола до циклогексана на никель – хромовом катализаторе и рассмотрены 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.

