

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

ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ

Тема работы
Проект узла синтеза этилбензола в присутствии AlCl_3

УДК 665.633.097

Студент:

Группа	ФИО
2Д2А	Арышева Анастасия Дмитриевна

Руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Троян Анна Алексевна	К. Х. Н., ст. преподаватель		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Рыжакина Т. Г.	кандидат экономических наук		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент кафедры	Раденков Т.А.			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

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

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

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

Студенту:

Группа	ФИО
2Д2А	Арышевой Анастасии Дмитриевне

Тема работы:

Проект узла синтеза этилбензола
Утверждена приказом директора (дата, номер)

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 этилбензолу – 200000т/год 2. Годовой фонд рабочего времени – 8000 ч 3. Молярное отношение бензол:этилен – 3,1:1 4. Селективность по этилбензолу – 0,78 5. Расход хлорида алюминия 10 кг на 1 т этилбензола 6. Потери этилбензола на стадии выделения 2 %
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 (с указанием разделов)	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Рыжакина Т.Г.
Социальная ответственность	Раденков Т.А.
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	Арышева Анастасия Дмитриевна		09.09.2015г.

Реферат

Выпускная квалификационная работа состоит из 100 страниц, 10 рисунков, 25 таблиц, 27 источников литературы.

Ключевые слова: этилбензол, жидкофазное алкилирование, реактор алкилирования, хлорид алюминия, этилен, катализатор, бензол.

Объектом проектирования является: стадия алкилирования бензола этиленом.

Целью работы является разработка современного жидкофазного способа получения этилбензола, подбор оптимальных условий проведения реакции алкилирования и проектирование узла алкилирования.

В процессе выполнения ВКР был спроектирован узел алкилирования бензола этиленом в присутствии хлористого алюминия и рассмотрены вопросы эффективности и безопасности производства.

В результате исследования проведен анализ существующих способов получения этилбензола, материальный и тепловой расчёты, подобрано основное и вспомогательное оборудование, оценена экономическая эффективность установки и определены факторы рабочего места аппаратчика.

Основные конструктивные и технологические решения – это сама технологическая схема, основной реактор и его сборочные единицы, отображены в виде графических форматов на трех листах А1.

Степень внедрения: Полученные результаты и расчеты могут быть использованы при проектировании предприятия по производству этилбензола.

Определения, обозначения, сокращения, нормативные ссылки

ЭБ – этилбензол;

Э – этилен;

Б – бензол;

к.п.д. – коэффициент полезного действия.

В настоящей работе использованы ссылки на следующие нормативные документы:

1. Выпускник университета - бакалавр. Общие требования к организации процесса обучения. СТП ТПУ 2.3.01-00.
2. ГОСТ 9572-77 Бензол нефтяной. Технические условия
3. 15. ГОСТ 9385-2013 Этилбензол технический. Технические условия
4. ГОСТ 25070-87 Этилен. Технические условия.
5. Технический регламент Таможенного союза «О безопасности средств индивидуальной защиты» (ТР ТС 019/2011), принятый решением Комиссии Таможенного союза от 09.12.2011 № 878 «О принятии технического регламента Таможенного союза «О безопасности средств индивидуальной защиты», вступает в силу с 1 июня 2012 г.
6. СНиП 2.01.15-90. Инженерная защита территорий, зданий и сооружений от опасных геологических процессов. Основные положения проектирования
7. Методические указания по санитарной охране атмосферного воздуха в районах размещения предприятий нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности по состоянию на июль 2011 года 31 декабря 1982 г. N 2656-8.
8. ГОСТ 12.1.007-76. ССБТ. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности.
9. ГОСТ 12.1.003 – 83. ССБТ. Шум. Общие требования безопасности.
10. СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых и общественных зданий.

Оглавление

Введение.....	6
1 Теоретическая часть.....	8
1.1 Техничко – экономическое обоснование	8
1.1.1 Промышленные методы получения этилбензола	10
1.2 Характеристика продукта, исходного сырья, материалов и полупродуктов	13
1.3 Физико-химические основы процесса	16
1.3.1 Условия проведения процесса.....	22
1.4 Катализаторы.....	22
1.5 Выбор конструкции основного аппарата для производства этилбензола	25
1.5.1 Конструктивные типы аппаратов	28
1.6 Описание технологической схемы процесса алкилирование бензола этиленом в присутствии $AlCl_3$	29
1.7 Конструкция основного аппарата.....	32
3 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение...	33
Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	33
3.1 Потенциальные потребители результатов исследования	33
3.1.1 Анализ конкурентных технических решений	33
3.1.2 Технология QuaD	35
3.1.3 SWOT-анализ.....	36
3. 2 Планирование научно-исследовательских работ.....	41
3.2.1 Структура работ в рамках научного исследования	41
3.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ	42
3.2.3 Разработка графика проведения научного исследования	43
3.2.4 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)	45
3.2.4.1 Расчет материальных затрат НТИ	46
3.2.4.2 Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	48
3.2.4.3 Основная заработная плата исполнителей темы	49
3.2.4.4 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта	52
Таблица 23 – Расчет бюджета затрат НТИ	52
3.3 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.....	52

Введение

Этилбензол является бесцветной горючей жидкостью с запахом бензола. Практически не растворим в воде (0.014% по массе при 15°C). Обладает свойствами органических соединений. Этилбензол используется в производстве синтетического каучука, пластмассы и синтетических волокон.

Этилбензол получают путем алкилирования бензола этиленом. Алкилирование – процесс введения алкильной группы в молекулу органических и некоторых неорганических веществ. Процесс алкилирования часто является промежуточной стадией в производстве мономеров, моющих веществ и пр [1].

Для алкилирования ароматических углеводородов олефинами применяется большое количество катализаторов на основе таких кислот как серная (85–95 %-ная), фосфорная и пиррофосфорная, а так же безводный фтористый водород, синтетические и природные алюмосиликаты, иониты, гетерополикислоты. В нефтехимической промышленности в качестве катализатора используют в основном $AlCl_3$, который позволяет проводить реакции алкилирования и диспропорционирования при низких температурах с высокими скоростями по отдельным стадиям, а бензол и этилен являются дешевым и доступным сырьем [2].

Образующиеся в ходе процесса побочные продукты – диалкилбензолы используются для получения целевого продукта за счет совмещения реакции алкилирования с реакцией переалкилирования. В данном случае используется принцип рециркуляции, направленный на полное использование исходного сырья – рецикл по бензолу, на использование побочных продуктов для получения целевого моноалкилбензола (принцип полноты использования отходов) – рецикл по диалкилбензолу, на повышение эффективности процесса – рецикл по бензолу, ди- и полиалкилбензолам, обеспечивающий оптимальную структуру каталитического комплекса. К

недостаткам технологии на основе AlCl_3 относятся большое количество кислых сточных вод и коррозия аппаратуры и транспортных коммуникаций [3].

Целью работы является определение основных способов получения этилбензола в современных условиях, оценка их позитивных и негативных сторон, проектирование узла алкилирования бензола и подбор оптимальных условий проведения реакции алкилирования бензола этиленом в присутствии хлорида алюминия.

1 Теоретическая часть

1.1 Техничо – экономическое обоснование

Этилбензол – органическое вещество, относящееся к углеводородам ароматического ряда, содержится в сырой нефти, продуктах каталитического риформинга нефтяных фракций и легких фракциях смолы коксования угля.

Этилбензол занимает одно из важнейших мест среди полупродуктов промышленности органического синтеза. Среди многочисленных процессов нефтехимического синтеза производство этилбензола по объему выпускаемой продукции занимает одно из ведущих мест. Общие мировые мощности по выпуску этилбензола составляют 45 млн т/год и ежегодно увеличивается на 4–5 %. Высокие темпы роста производства этилбензола определяются возрастающей потребностью в полимерах, получаемых на его основе [1].

По статистическим данным 2009 - 2010 года ЗАО «Сибур-Химпром» Пермского края увеличило объемы производства с 121 215 тонн в 2009 году до 122 704 тонн в 2010. Компания ОАО «Газпром нефтехим Салават» (республика Башкортостан) после приостановления выпуска этилбензола в 2009 году в 2010 году произвели 32 493 тонн. В Омске на предприятии ОАО «Омский каучук» в 2010 году был возобновлен выпуск аналогичной продукции, тоннаж составил 719 тонн [7].

Несмотря на положительное изменение производственных объемов этилбензола, татарская компания ОАО «Нижнекамскнефтехим» сократило производство на 1 610 тонн, в 2010 году оно составило 236 902 тонны. В Иркутской области (ОАО «Ангарский завод полимеров») в 2009 году производство было равно 40 085 тонн, к 2010 оно сократилось до 36 521 тонны [7].

В настоящее время мощность мирового производства этилбензола достигает 35 млн тонн в год. Учитывая рост спроса на полистирол и бутадиен-стирольные каучуки, в ближайшие несколько лет производство

этого продукта будет увеличиваться на 5-7% в год [5].

Наибольшими преимуществами при алкилировании ароматических углеводородов олефинами обладает каталитический комплекс на основе хлорида алюминия. Удельные затраты хлорида алюминия в два раза ниже по сравнению с обычным процессом.

Процесс на основе хлорида алюминия позволяют проводить реакцию алкилирования при низких температурах с высокими скоростями по отдельным стадиям, что способствует высокому выходу целевого продукта, который составляет 98 %. С экономической точки зрения использование хлорида алюминия более оправдано по сравнению с другими катализаторами, а бензол и этилен являются дешевым и доступным сырьем.

На нынешнем мировом рынке этилбензол востребован, по причине того что он является исходным сырьем для получения стирола, который широко используется в производстве синтетических бутадиен-стирольных каучуков, полистирола, бутадиен-стирольных смол, идущих в качестве компонентов искусственной кожи, для водноэмульсионных красок, как добавка к моторному топливу, в качестве разбавителя и растворителя. Этилбензол используют также в органическом синтезе, например для получения ацетофенона жидкофазным каталитическим окислением, как растворитель и компонент высокооктановых бензинов. Производные этилбензола являются ценными высокооктановыми компонентами авиационного топлива[1].

Этилбензол получают на таких рынках как: Европейский, Азиатско-Тихоокеанский, Североамериканский, Южноамериканский и Рынок Ближнего Востока. В период с 2010 по 2013 гг. мировой спрос на этилбензол постоянно повышался и в среднем показателя роста составлял 3% в год [5].

1.1.1 Промышленные методы получения этилбензола

Производства этилбензола базируются на разных принципах.

Получение этилбензола на основе BF₃

Процесс позволяет получать этилбензол высокой степени чистоты. Исходное сырье (этилен) может быть разбавленным. Присутствие воды в процессе исключает коррозию оборудования, связанную с наличием хлорида алюминия в системе. Реакция алкилирования происходит при высоком давлении (2,5–3,5 МПа) и при низкой температуре (100–500 °С). Высушенный бензол (рисунок 1), этилен и катализатор BF₃ подают в реактор алкилирования (РА).

Как правило, этилен и бензол используются в соотношения 0,15: 0,2. Температура на входе в реактор контролируется путем изменения расхода исходного сырья. Отдельной стадией процесса является трансалкилирование. Сухой бензол, катализатор BF₃ и возвратный полиалкилбензол подают в реактор трансалкилирования (РТА).

Потоки, выходящие из двух реакторов РА и РТА, объединяют и подают в колонну регенерации, где бензол отделяется и возвращается в реактор РА. Трифторид бора и легкие углеводороды отделяются в виде парообразного потока и направляются на извлечение BF₃, который в дальнейшем регенерируется. В колонне регенерации бензол отбирается с куба колонны и направляется в начало технологического процесса, а этилбензол со степенью чистоты более 99,9 % отбирают с верха колонны.

В последней колонне отделяют фракцию полиэтилбензолов которую направляют в реактор трансалкилирования [3].

В результате алкилирования не прореагировавший этилен (в количестве 8–10 %) может быть использован на различных нефтеперерабатывающих заводах.

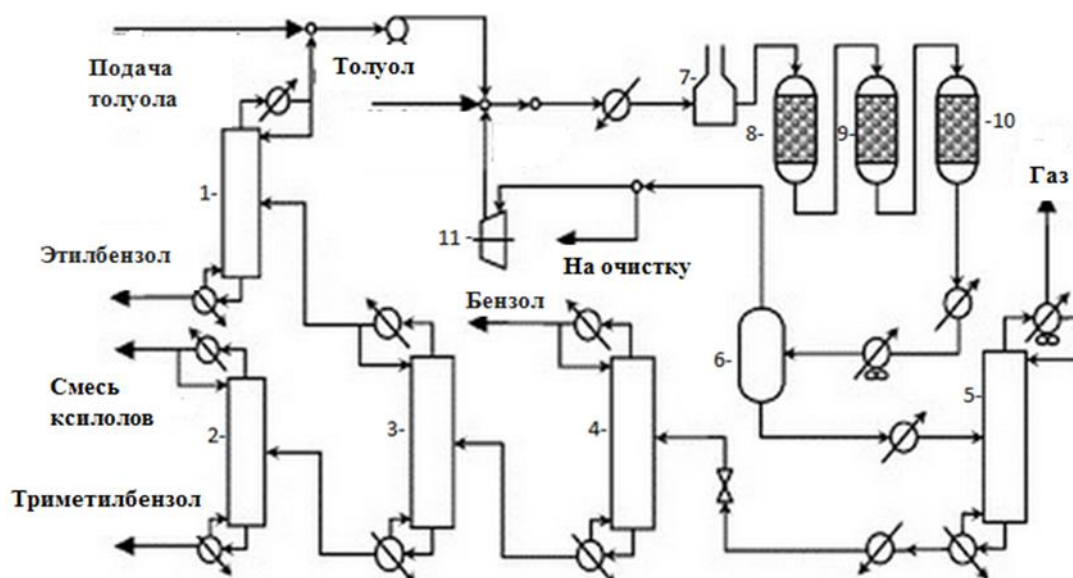


Рисунок 1 – Схема производства этилбензола на основе BF_3
 1,2,3,4,5 – ректификационная колонна, 6 – емкость, 7 – бункер, 8,9,10 – реактора алкилирования, 11- сепаратор.

Получение этилбензола на основе Al_2O_3 (Mobil-Badge Process)

Алкилирование происходит на неподвижном слое катализатора. Молекула этилена адсорбируется на участке кислотного катализатора, активируется и легко вступает во взаимодействие с молекулой бензола. Компоненты присутствующие в реакционной массе, отделяют и возвращают в реактор трансалкилирования или алкилирования.

Присутствие оксидного катализатора не вызывает коррозии аппаратуры и является экологически инертным. Поскольку никакие жидкие отходы не образуются в процессе, то оборудование для переработки этих отходов и регенерации катализатора не требуется. Оборудование изготавливается из углеродистой стали. Рабочий режим аппарата – 400–450 °C и 2–3 МПа. При данной температуре более 99 % подводимого тепла и тепла экзотермической реакции может быть рекупирировано.

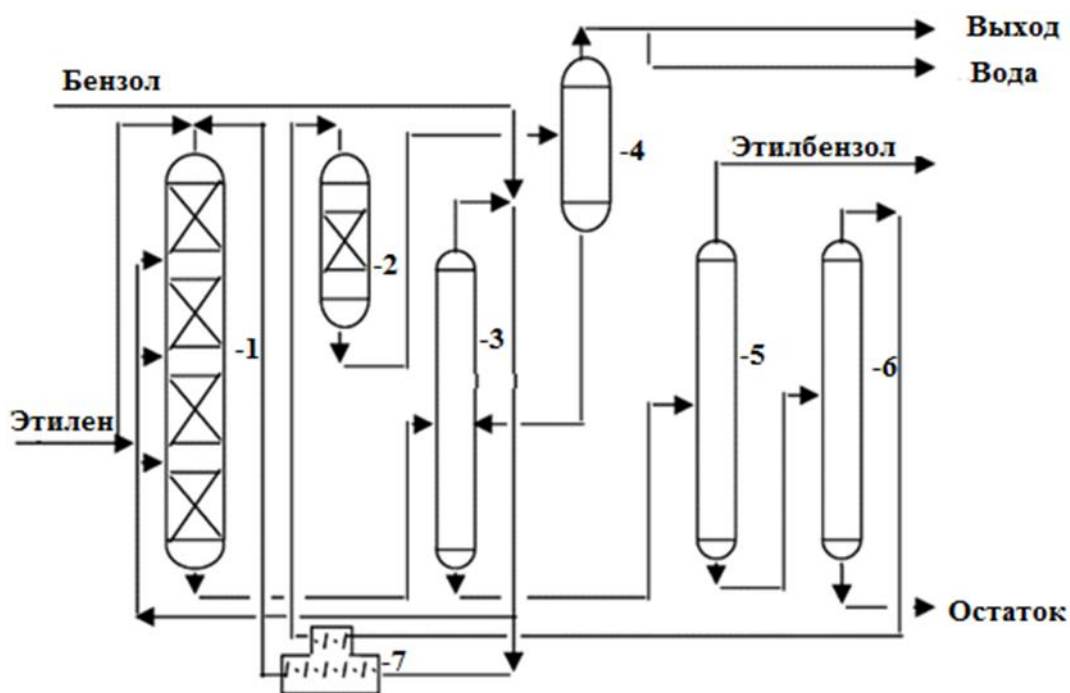


Рисунок 2 – Схема Получение этилбензола на основе Al_2O_3

1- реактор алкилирования; 2-реактор трансалкилирования;

3, 4,5,6 - ректификационная колонна; 7 – подогреватель.

В технологический процесс включены два параллельно работающих реактора, подогреватель и оборудование для рекуперации тепла. Наличие высокоактивных катализаторов позволяет проводить трансалкилирование и алкилирование в одном реакторе одновременно. В результате процесса на поверхности катализатора отлагается кокс, который медленно снижает его каталитическую активность.

Наличие двух реакторов обеспечивает бесперебойное производство момент, когда требуется регенерация катализатора. Оксидный катализатор менее чувствителен к воде, сере и другим ядам, чем катализаторы кислотного типа. Выходящий из реактора поток проходит в секцию очистки.

Горячий пар используется в качестве источника тепла при работе первой ректификационной колонны, которая позволяет отделить основную часть непрореагировавшего бензола и вернуть его реактор. Остаточный бензол отгоняют из второй ректификационной колонны.

Этилбензол отбирают сверху третьей колоны, а кубовый продукт этой колонны направляют в четвертую колонну, где производные этилбензола

(алкилбензолы и полиалкилбензолы) отделяются от тяжелого остатка. Вязкий остаток, состоящий в основном из дифенилметана и дифенилэтана, сжигается в качестве топлива. Непрореагировавший этилен (в количестве 15 %) может быть использован в качестве сырья для других целей [6].

Получение этилбензола на основе $AlCl_3$

Этилбензол получают алкилированием бензола этиленом под действием хлорида алюминия в жидкой фазе. Применяют давление 0,5 – 0,6 МПа, чтоб облегчить последующие улавливание бензола из отходящих газов. Процесс происходит при температуре 80–100°C и мольном отношении бензол/этилен от 2:1 до 6:1. В процессе алкилирования бензола в присутствии хлорида алюминия выход продуктов алкилирования составляет 99 % [4].

Сама реакция алкилирования с активным комплексом хлористого алюминия идет очень быстро, сильно ускоряется при механическом перемешивании или интенсивном барботировании газообразных олефинов через реакционную массу и протекает в диффузной или близкой к ней области. Ее скорость повышается при росте давления, но мало зависит от температуры, имея низкую энергию активации. При этом сохраняется обычная зависимость в реакционной способности олефинов – более сильная, чем различие в их растворимости. Жидкофазный процесс алкилирования бензола этиленом проходит в полном реакторе колонного типа в режиме барботажа. В реактор вводятся потоки полиалкилбензолов, свежего и циркулирующего катализаторного комплекса, газообразного олефина и возвратного бензола в турбулентном режиме. Отвод теплоты реакции осуществляют за счет бензольного рефлюкса [2].

1.2 Характеристика продукта, исходного сырья, материалов и полупродуктов

Этилбензол ($C_6H_5-CH_2-CH_3$) – органическое вещество класса углеводородов. Бесцветная жидкость с запахом бензола. Почти не растворим

в воде, растворяется в спирте, бензоле, эфире, четыреххлористом углероде.

Обладает свойствами ароматических соединений.

Температура плавления составляет $-93,9\text{ }^{\circ}\text{C}$, кипения – $136,15^{\circ}\text{C}$. Плотность составляет $0,8669$ ($20\text{ }^{\circ}\text{C}$, относительно воды при $4\text{ }^{\circ}\text{C}$) г/см^3 . Этилбензол содержится в незначительных количествах в сырой нефти и продуктах каталитического риформинга нефтяных фракций, однако в промышленных масштабах его получают путем алкилирования бензола этиленом [5].

Основным сырьем для получения этилбензола в присутствии AlCl_3 служат этилен и бензол.

Этилен — органическое химическое соединение, описываемое формулой C_2H_4 . Является простейшим алкеном (олефином), изологом этана. При нормальных условиях — бесцветный горючий газ со слабым запахом. Частично растворим в воде ($25,6\text{ мл}$ в 100 мл воды при $0\text{ }^{\circ}\text{C}$), этаноле (359 мл в тех же условиях). Хорошо растворяется в диэтиловом эфире и углеводородах. Содержит двойную связь и поэтому относится к ненасыщенным или непредельным углеводородам. Играет чрезвычайно важную роль в промышленности, а также является фитогормоном. Этилен — самое производимое органическое соединение в мире; общее мировое производство этилена в 2008 году составило 113 миллионов тонн и продолжает расти на 2—3 % в год. Этилен обладает наркотическим действием. Класс опасности — четвёртый [9].

Основным промышленным методом получения этилена является пиролиз жидких дистиллятов нефти или низших насыщенных углеводородов.

Этилен, предназначенный для получения этилбензола, не должен содержать альдегидов, кислорода, ацетилен и пропилен. Примеси водорода и легких парафиновых углеводородов не оказывают вредного действия на процесс. Стремятся также использовать высококонцентрированный этилен, лишенный примесей сернистых соединений в присутствии которых ухудшается качество этилбензола и уменьшается его выход. Этилен должен

быть так же свободен от пропилена, который может образовываться изопропилбензол. Для получения этилбензола может применяться этилен различных концентраций. Вместе с тем чистота этилена имеет существенное значение для эффективности работы катализатора при алкилировании. При наличии примесей производительность катализатора может резко снизиться. Примеси водорода, легких парафиновых углеводородов и инертных веществ не вредны [1].

Бензол (C_6H_6) — органическое химическое соединение, бесцветная жидкость со специфическим сладковатым запахом. Простейший ароматический углеводород. Бензол входит в состав бензина, широко применяется в промышленности, является исходным сырьём для производства лекарств, различных пластмасс, синтетической резины, красителей. Хотя бензол входит в состав сырой нефти, в промышленных масштабах он синтезируется из других её компонентов. Токсичен, канцерогенен. Получают бензол несколькими методами:

1. Коксование каменного угля.
2. Каталитический риформинг (аромаизинг) бензиновых фракций нефти.
3. Пиролиз бензиновых и более тяжелых нефтяных фракций.
4. Тримеризация ацетилена — при пропускании ацетилена при $400\text{ }^{\circ}\text{C}$ над активированным углем с хорошим выходом образуется бензол и другие ароматические углеводороды.

Бензол, должен удовлетворять следующим требованиям :

Удельный вес $0,875-0,88\text{ г/см}^3$;

Пределы кипения $79-80,60$ при 760 мм рт. Ст. ;

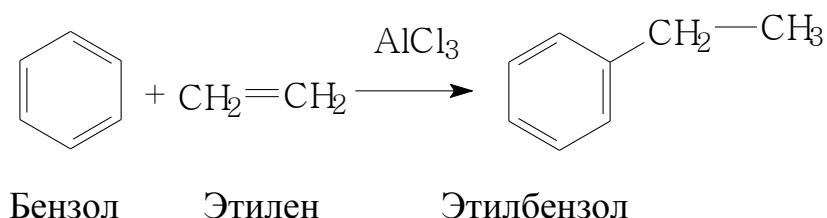
В пределах 10 должно перегоняется не менее 95% объемных;

Может быть использован бензол как коксохимического производства, так и нефтяного происхождения. Однако в случае применения нефтяного бензола последний должен быть тщательно очищен от полимеров, олефиновых углеводородов и сернистых соединений. Поэтому наибольшее

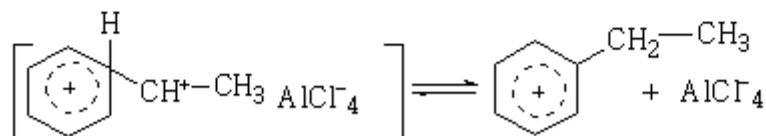
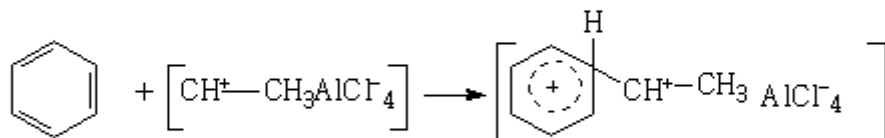
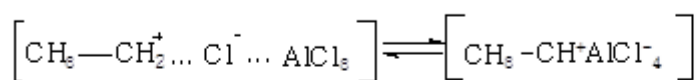
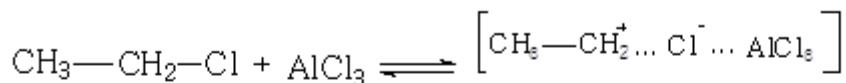
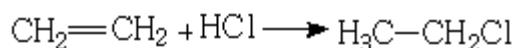
применение находит коксохимический этилбензол [9].

1.3 Физико-химические основы процесса

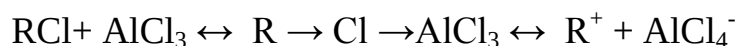
Широкое распространение процесса алкилирования бензола этиленом на хлористом алюминии при атмосферном или несколько повышенном давлении и температуре 80–100 °С приобрёл, после того, как Ш. Фриделем и Дж. Крафтсом в 1877 г., а затем Бальсоном в 1878 году был получен этилбензол по реакции алкилирования бензола этиленом в присутствии AlCl_3 :



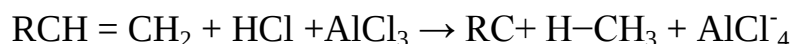
Алкилирование по Фриделю-Крафтсу протекает по механизму кислотного катализа и представляет собой обратимое электрофильное замещение (SE):



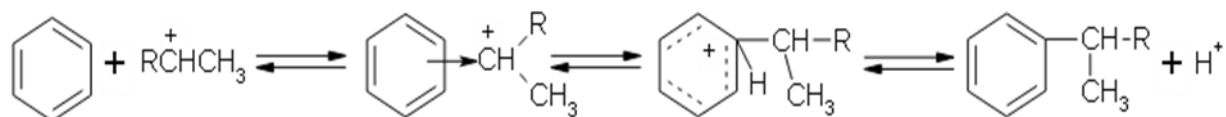
При реакции с хлорпроизводными или олефинами хлористый алюминий расходуется только в каталитических количествах. В первом случае он активирует атом хлора, образуя сильно поляризованный комплекс или ион карбония:



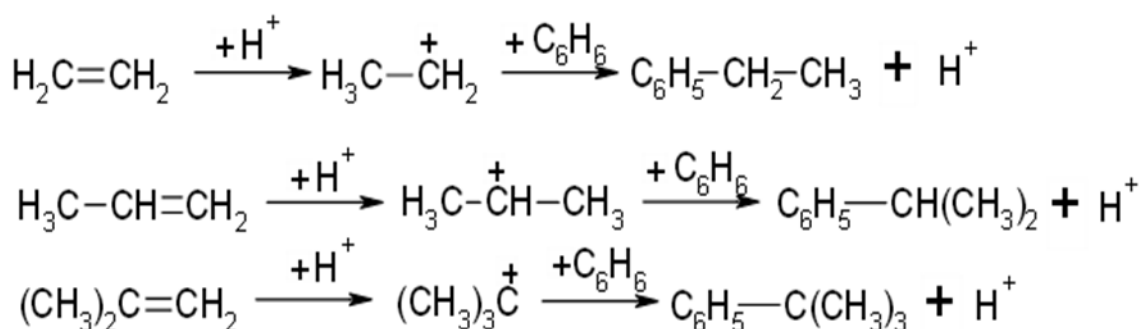
Эта реакция с олефинами происходит только в присутствии сокатализатора – хлористого водорода:



В действительности при катализе комплексом хлористого алюминия с углеводородом необходимый для этого протон уже имеется в виде σ -комплекса. Он передается молекуле олефина и образовавшийся ион карбония атакует ароматическое соединение, причем вся реакция происходит в слое каталитического комплекса, который непрерывно обменивается своими лигандами с углеводородным слоем. Получившийся тем или иным путем ион карбония (или сильно поляризованный комплекс) атакует затем ароматическое ядро, причем реакция протекает через промежуточный π -комплекс и ион карбония с последующей быстрой стадией отщепления протона:



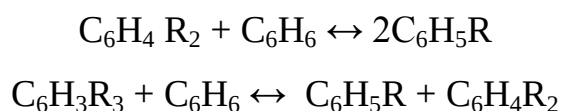
Строение алкильной группы в полученном продукте определяется правилом о промежуточном образовании наиболее стабильного иона карбония (трет->втор->перв-). Поэтому в случае низших олефинов только из этилена образуется первичный алкилбензол (этилбензол), из пропилена – вторичный (изопропилбензол), а из изобутилена – трет-бутилбензол:



Но при алкилировании высшими олефинами и хлорпроизводными наблюдается изомеризация алкильных групп, которая происходит перед алкилированием, поскольку алкилбензолы к ней уже не способны. Эта изомеризация протекает в направлении промежуточного образования наиболее стабильного иона карбония, но без нарушения углеродного скелета алкильной группы, а лишь с перемещением реакционного центра. Влияние строения ароматического соединения при реакциях алкилирования в общем такое же, как при других процессах электрофильного замещения в ароматическое ядро, но имеет свои особенности. Реакция алкилирования отличается сравнительно малой чувствительностью к электронодонорным заместителям в ядре. Электроноакцепторные заместители сильно дезактивируют ароматическое ядро. Хлорбензол алкилируется примерно в 10 раз медленнее бензола, а карбонильные, карбоксильные, циано- и нитрогруппы приводят к полному дезактивированию ароматического ядра, вследствие чего соответствующие производные вообще не способны к

алкилированию. Этим реакция алкилирования значительно отличается от других процессов замещения в ароматическое ядро. Правила ориентации при алкилировании в общем подобны другим реакциям замещения в ароматическое ядро, но строение продукта может существенно изменяться в зависимости от катализатора и условий реакции. Так, электронодонорные заместители и атомы галогена направляют дальнейшее замещение преимущественно в пара- и орто-положения, однако, в более жестких условиях и особенно при катализе хлористым алюминием происходит изомеризация гомологов бензола с внутримолекулярной миграцией алкильных групп и образованием равновесных смесей, в которых преобладают термодинамически более стабильные изомеры.

Каждая из реакций при умеренной температуре является практически необратимой. При катализе хлористым алюминием и достаточно жестких условиях катализа алюмосиликатами и цеолитами происходит обратимая реакция переалкилирования (диспропорционирование) с межмолекулярной миграцией алкильных групп:



Способность алкильных групп к миграции изменяется в такой последовательности:

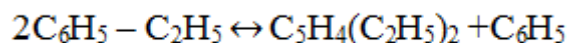


причем с активным комплексом хлористого алюминия эти реакции довольно быстро идут уже при комнатной температуре, в то время как для метилбензолов требуется длительное нагревание.

При промышленных процессах алкилирования, протекают многочисленные побочные реакции.

Диэтилбензол $\text{C}_6\text{H}_4(\text{C}_2\text{H}_5)_2$, побочно образующийся при этой реакции и представляющий собой смесь мета- и пара-изомеров, приобрел значение для получения дивинилбензола $\text{C}_6\text{H}_4(\text{CH}=\text{CH}_2)_2$ – ценного мономера для выработки ионообменных смол. Диэтилбензол лучшего качества получается,

однако, переалкилированием этилбензола с AlCl_3 :



В процессе на хлориде алюминия может установиться равновесие, что необходимо учитывать при выборе условий процесса оптимального мольного соотношения реагентов. Реакция алкилирования отличается низкой чувствительностью к электронно-донорным заместителям в ядре. Происходит изомеризация гомологов бензола с внутримолекулярной миграцией алкильных групп и образование равновесных смесей, в которых преобладают термодинамически более стабильные изомеры [4].

Как правило, для достижения оптимальных результатов необходимо регулировать условия процесса так, чтобы усиливать преобладание реакций первичного алкилирования и подавлять нежелательные побочные реакции. Равновесный выход этилбензола возрастает с увеличением мольного избытка бензола и с повышением давления при данной температуре.

Сама реакция алкилирования с активным комплексом хлористого алюминия идет очень быстро, сильно ускоряется при механическом перемешивании или интенсивном барботировании газообразных олефинов через реакционную массу и протекает в диффузной или близкой к ней области. Ее скорость повышается при росте давления, но мало зависит от температуры, имея низкую энергию активации. При этом сохраняется обычная зависимость в реакционной способности олефинов – более сильная, чем различие в их растворимости [2].

Видимо, лимитирующей является стадия диффузии олефина через пограничную пленку каталитического комплекса хлористого алюминия, в которой протекают все реакции. В отличие от этого, переалкилирование идет значительно медленнее и существенно ускоряется при повышении температуры, так как имеет энергию активации ≈ 69 кДж/моль (≈ 15 ккал/моль). Обе реакции замедляются при постепенном

дезактивировании катализатора, но особенно сильно падает скорость переалкилирования. В результате в реакционной смеси будет накапливаться значительное количество полиалкилбензолов, не успевающих вступить в обратимую реакцию переалкилирования. Во избежание этого приходится ограничивать подачу реагентов, и, следовательно, возможность интенсификации процесса лимитируется самой медленной реакцией переалкилирования [2].

На дезактивирование катализатора, кроме примесей реагентов, влияет накопление некоторых побочных продуктов алкилирования, способных прочно связывать $AlCl_3$ или образовывать стабильные σ -комплексы, с трудом отдающие свой протон молекуле олефина. Такими веществами при низкой температуре, когда переалкилирование идет медленно, являются полиалкилбензолы, а при высокой температуре – полициклические ароматические соединения и смолы. В результате оказывается, что оптимальные производительность и расход катализатора при получении этил- и изопропилбензола достигаются при некоторой средней температуре ($\approx 100^\circ C$), когда переалкилирование протекает уже достаточно быстро, но полициклических веществ, дезактивирующих катализатор, получается еще мало [3].

Реакция алкилирования протекает в сложной многофазной системе «газ-жидкость-катализатор», причем один из реагентов вводят в жидком виде, а другой – в виде газа. Но так как непосредственное превращение возможно только в пограничной пленке катализаторного комплекса, то газ, прежде чем прореагировать, должен раствориться в жидкости. Поэтому активной концентрацией газа является его концентрация в растворе, пропорциональная его давлению. При достаточно интенсивном перемешивании и барботаже газа через реакционный объем можно

считать, что концентрация газа в ходе всего опыта определяется изменением концентраций жидких веществ [2].

1.3.1 Условия проведения процесса

Этилбензол получают алкилированием бензола этиленом под действием хлорида алюминия в жидкой фазе. Процесс происходит при атмосферном или несколько повышенном давлении и температуре 80–100 °С. В процессе алкилирования бензола в присутствии хлорида алюминия выход продуктов алкилирования составляет 99 % [4].

1.4 Катализаторы

В промышленных условиях алкилирование бензола этиленом проводят в жидкой или паровой фазе.

Жидкофазное алкилирование бензола этиленом проводится в присутствии катализатора – безводного хлористого алюминия – при 70–120 °С или при каталитическом действии серной или жидкой фтористоводородной кислоты.

Катализатором парофазного процесса является фосфорная кислота, нанесенная на кизельгур. В этом случае процесс проводят при 270–275 °С под давлением. При алкилировании бензола в жидкой фазе можно применять разбавленный этилен. Фосфорный катализатор используют для получения авиационного бензина-кумола. Однако для получения кумола с целью последующего дегидрирования до фенола и ацетона этот катализатор малопригоден, так как в его присутствии получается продукт, загрязненный примесями полиалкилбензолов и полимеров. В этом случае в качестве катализатора используется хлористый алюминий [2].

При получении этилбензола с целью последующего его дегидрирования в стирол (сырье для производства каучука), большое значение имеет чистота этилбензола. Выход продукта может быть увеличен путем последующего разрушения полиалкилбензолов, однако эта реакция в присутствии обычного фосфорного кислотного катализатора не идет.

Поэтому при получении этилбензола используется хлористый алюминий. Но применение данного типа катализаторов связано с рядом трудностей: аппаратура должна изготавливаться из материала устойчивого к коррозии, а применяемое сырье должно иметь достаточно высокую степень чистоты, иначе расход катализатора будет очень большим [3].

Корродирует аппаратуру не столько сам катализатор $AlCl_3$, сколько комплексы, которые образуются в ходе реакции в результате взаимодействия хлористого алюминия с компонентами сырья. Эти комплексы значительно более агрессивны и иногда единственным способом борьбы с коррозией является непрерывная замена корродированных узлов аппаратуры. Образованию таких комплексов, очевидно, способствуют содержащиеся в сырье примеси.

Известно, что одни и те же установки для производства кумола с фосфорнокислотным катализатором хорошо работают в одних местах и плохо в других. В результате возникает еще одна проблема, связанная с нейтрализацией кислотных растворов, поскольку продукт алкилирования промывают водой, чтобы удалить растворенный в нем катализатор.

Именно по этим причинам в настоящее время широко исследуется возможность проведения алкилирования на цеолитных катализаторах. Так как хлористый алюминий частично растворяется в продуктах (в 200 частях этилбензола растворяется одна часть $AlCl_3$), то в результате возникает еще одна проблема, связанная с нейтрализацией кислотных растворов, поскольку продукт алкилирования промывают водой, чтобы удалить растворенный в нем катализатор.

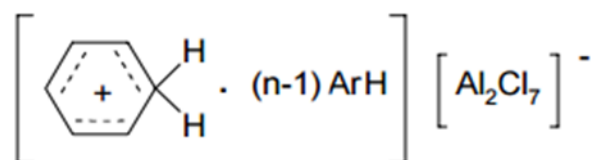
В процессе алкилирования бензола в присутствии хлорида алюминия выход продуктов алкилирования составляет 99 % и более. Удельные затраты хлорида алюминия по сравнению с обычным процессом в два раза ниже. Такого рода установка мощностью 760 тыс. т/год работает в США (Техас).

При использовании фосфорной кислоты наносимой на кизельгур таким образом, что содержание катализатора составляет 62–63 %. Выход

этилбензола увеличивается при повышении температуры и давления. Так, при 325 °С и 42 атм или при 280 °С и 63 атм выход достигает 90 % [4].

На основании выше изложенного наибольшими преимуществами при алкилировании ароматических углеводородов олефинами обладает каталитический комплекс на основе хлорида алюминия. Процесс на основе хлорида алюминия позволяют проводить реакцию алкилирования при низких температурах с высокими скоростями по отдельным стадиям, что способствует высокому выходу целевого продукта, который составляет 98 %. К тому же с экономической точки зрения использование хлорида алюминия более оправдано, так как стоимость одной тонны катализаторов в рублях составляет 35000, в то время как фосфорной кислоты – в среднем 37000, но расход алюминиевого катализатора меньше.

Хлористый алюминий в твердом виде практически не растворим в углеводородах и слабо катализирует процесс. Однако по мере добавления HCl хлористый алюминий начинает превращаться в темное жидкое вещество, также не растворимое в избытке углеводорода. Это – комплекс Густавсона обладает высокой каталитической активностью. Комплекс представляет собой соединение $AlCl_3$ и HCl с 1-6 молекулами ароматического углеводорода, одна из которых находится в особом структурном состоянии положительно заряженного иона (σ -комплекс), а остальные образуют сольватную оболочку [2]:



Во избежание медленного катализа твердым хлористым алюминием, этот активный каталитический комплекс в промышленности готовят предварительно в аппарате с мешалкой, при небольшом нагревании из технического $AlCl_3$, диэтилбензола (только из бензола комплекс не получается) с небольшой добавкой безводного HCl. И затем подают на реакцию. Жидкая реакционная масса при алкилировании с хлористым

алюминием состоит из двух фаз: каталитического комплекса и углеводородного слоя [4].

1.5 Выбор конструкции основного аппарата для производства этилбензола

В процессе алкилирования, а также трансалкилирования могут быть использованы различные типы реакторов. Выбор типа реактора может зависеть от ряда факторов, таких как режим работы, пропускной объем и параметры управления реакции (время пребывания и выход продукт). Для проведения процесса можно предложить три типа реактора.

Наиболее простым является трубчатый реактор (рисунок 3), в нижней части которого имеется мощная мешалка, предназначенная для эмульгирования каталитического раствора и реагентов. Исходные реагенты и отстоявшийся в сепараторе каталитический комплекс поступают в нижнюю часть реактора, а образующаяся эмульсия поднимается вверх по трубам и охлаждается водой, проходящей в трубном пространстве. Продукты синтеза, не прореагировавшие бензол и олефины, а также каталитический раствор выводятся из верхней части реактора и поступают в сепаратор. В сепараторе происходит отделение каталитического раствора от остальных продуктов (алкилата). Каталитический раствор возвращается в реактор, а алкилаты направляются на разделение. Время пребывания смеси в аппарате должно обеспечить завершение реакции.

Для обеспечения непрерывности процесса может быть применен каскад из 2-4 трубчатых ректоров. На рисунке 4 представлен каскад из двух реакторов. Каталитический раствор подают в оба реактора, реагенты – в верхнюю часть первого реактора. Оба реактора представляют пустотелые аппараты с мешалками. Тепло отводится с помощью воды, подаваемой в «рубашки». Реакционная масса из верхней части первого реактора поступает в сепаратор, из которого нижний (каталитический) слой возвращается в

реактор, а верхний - поступает в следующий реактор. Из верхней части второго реактора реакционная масса также поступает в сепаратор. Нижний (катализаторный) слой из сепаратора поступает в реактор, а верхний слой (алкилаты) направляется на разделение. Конверсия реагентов определяется числом реакторов. Процесс проводится при 40 - 60 °C [2].

Непрерывное алкилирование газообразными олефинами можно проводить в барботажных колоннах (рисунок 5). Жидкая реакционная масса, заполняющая колонну до бокового перелива, состоит из каталитического комплекса $AlCl_3$ и не растворимой в нем смеси ароматических углеводородов. В нижнюю часть колонны подают сухой бензол и олефиновую фракцию, которая барботирует через жидкость, интенсивно ее перемешивая. Жидкая реакционная масса стекает через боковой перелив в сепаратор, где отстаивается более тяжелый каталитический комплекс, возвращаемый вниз алкилятора, а алкилат поступает на дальнейшую переработку. Тепло реакции отводится практически только за счет нагревания реагентов и испарения бензола. Пары бензола вместе с отходящими газами попадают в обратный холодильник, где бензол конденсируется и возвращается в алкилятор, а отходящие газы поступают на дальнейшую переработку. Следовательно, в алкиляторе устанавливается автотермический режим и температура в нем зависит от применяемого давления и количества отходящих газов (или от концентрации олефиновой фракции) [2].

Технология жидкофазного алкилирования имеет следующие подсистемы:

- 1)гетероазеотропная осушка бензола;
- 2)реакторный узел;
- 3)очистка газов от HCl ;
- 4)очистка продуктов алкилирования от HCl ;
- 5)разделение продуктов алкилирования.

Рециклы по бензолу и полиалкилбензолам объединяют эти

подсистемы и систему. В систему входят потоки: $AlCl_3$, этилхлорид, бензол, этан-этиленовая фракция, водный раствор щелочи. Выходят из системы следующие потоки: алкилбензолы, абгазы, водный раствор щелочи, водный раствор хлороводородной кислоты, катализаторный раствор. Следовательно, наряду с продуктами выводятся потоки, которые требуют утилизации, нейтрализации и очистки. От этих процессов в значительной степени зависит как экономическая, так и экологическая эффективность предлагаемой технологии [2].

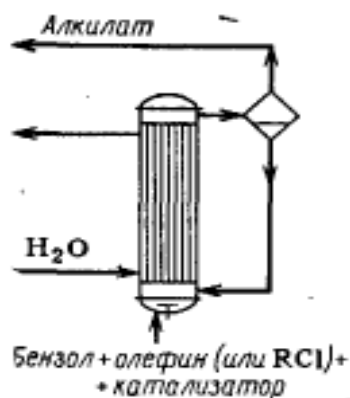


Рисунок 3 – Трубчатый реактор

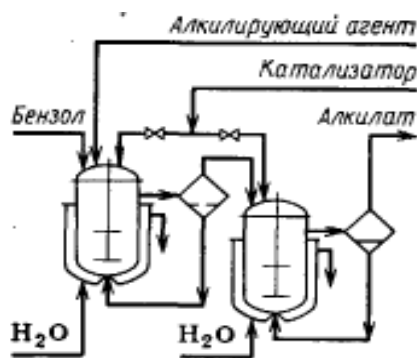


Рисунок 4 – Каскад реакторов с мешалками

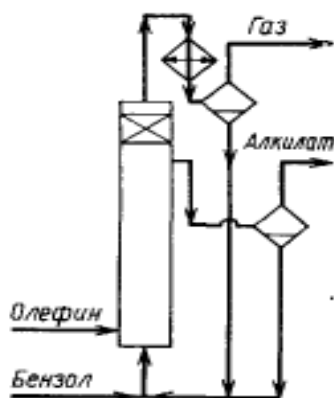


Рисунок 5 – Реактор колонного типа

1.5.1 Конструктивные типы аппаратов

При реализации крупномасштабных промышленных процессов обычно используют непрерывно работающие реакторы, с неподвижным или подвижным слоем катализатора.

У реакторов с подвижным слоем обычно потоки олефина и углеводорода идут либо параллельно, либо противотоком. Эти реакторы могут содержать один или несколько слоев, в который впрыскивается олефин для охлаждения. Реактор с подвижным слоем дает возможность заменять отработанный катализатор без остановки процесса [2].

В реакторе с подвижным слоем, алкилирование завершается в течение короткого времени после введения олефина в реакционную зону. От десяти до тридцати процентов реагирующих ароматических углеводородов можно алкилировать больше одного раза. Трансалкилирование – медленная реакция, которая происходит как в зоне алкилирования, так и трансалкилирования. При этом селективность по продукту достигает 90 %. Таким образом, трансалкилирование повышает суммарный выход продукта.

Алкилирование и трансалкилирование могут осуществляться в одном аппарате, который представляет собой трубчатый реактор, где реакционная суспензия, содержащая гетерогенный катализатор и продукты алкилирования протекает в трубном пространстве. Зоны реакций алкилирования и трансалкилирования расположены в трубчатом реакторе последовательно. Зона входа потока олефина на алкилирование расположена ниже зоны входа потока на трансалкилирование [8].

Преимуществами алкилирования и трансалкилирования в одном реакторе является: экономия средств, уменьшение затрат на вспомогательное оборудование, трубопроводы и расход катализатора.

1.6 Описание технологической схемы процесса алкилирование бензола этиленом в присутствии AlCl_3

На рисунке 3 изображена технологическая схема производства этилбензола алкилированием бензола газообразным этиленом в присутствии AlCl_3 .

Свежий бензол вместе с бензолом, возвращаемый со стадии разделения, поступает в колонну 3, предназначенную для осушки бензола азеотропной ректификацией. Низкокипящая смесь бензола с водой конденсируется в конденсаторе 4 и разделяется в сепараторе 5 на два слоя. Воду с растворенным в ней бензолом отводят (ее можно использовать для промывки реакционной массы), а бензольный слой стекает на верхнюю тарелку колонны 3, создавая орошение. Осушенный бензол из куба колонны 3 в теплообменнике 2 подогревает бензол, идущий на осушку, и попадает в сборник 8, откуда насосом непрерывно закачивается в реактор алкилирования 9.

Каталитический комплекс готовят в аппарате 6 с мешалкой и рубашкой для обогрева паром. В него загружают полиалкилбензолы (ПАБ) или смесь бензола и полиалкилбензола (примерно в отношении 1:1) и хлорид алюминия (1 моль на 2,5-3,0 моль ароматических углеводородов), после чего при нагревании и перемешивании подают хлорпроизводное. Приготовленный комплекс периодически вводят в реактор алкилирования 9.

Реакция проводится в непрерывно действующем алкиляторе 9 с горячим сепаратором 12 для отделения каталитического комплекса и обратным конденсатором 10 для возвращения испарившегося бензола и отвода тепла. Этилен поступает в низ колонны, предварительно проходя расходомер. Бензол из емкости 8 поступает вниз алкилятора, как и конденсат из конденсатора 10.

Газы, отходящие после конденсатора 10, содержат значительное количество паров легколетучего бензола (особенно при использовании разбавленных фракций олефинов). Для улавливания бензола эти газы

направляют в абсорбер 13, который орошается полиалкилбензолами, выделенными из реакционной массы на стадии разделения. Собирающийся в нижней части абсорбера раствор бензола в полиалкилбензолах поступает в реакционный аппарат 9 для переалкилирования. Газы после абсорбера 13 промывают водой в скруббере 14 для удаления HCl и выводят в атмосферу или используют в качестве топочного газа.

Углеводородный слой, отбираемый после сепаратора 12, состоит из бензола, моно - и полиалкилбензолов. В нем присутствуют также в небольшом количестве другие гомологи бензола, получившиеся за счет примесей олефинов в исходной фракции или путем частичной деструкции алкильной группы под действием $AlCl_3$. При синтезе этилбензолов реакционная масса содержит 45-55% бензола, 35-40% моноалкилбензола, 8-12% диалкилбензола и до 3% более высокоалкилированных соединений, побочных продуктов и смол. Вся эта смесь проходит водяной холодильник 15 и дополнительно остается в холодном сепараторе 16, откуда каталитический комплекс периодически возвращают в алкилатор. Алкилат направляют после этого на очистку от растворенного хлорида водорода и хлорида алюминия. С этой целью смесь промывают в системе противоточных колонн 17 и 18 вначале водой, а затем водной щелочью.

Нейтрализованная смесь углеводородов (алкилат) поступает на ректификацию. В первой отгоняют бензол и воду, растворившуюся в углеводородах на стадии промывки. В следующей колонне в вакууме отгоняют фракцию, содержащую главным образом целевой продукт, но с примесью ближайших гомологов бензола. Ее подвергают затем дополнительной ректификации с выделением технического этилбензола. Кубовая жидкость второй колонны содержит полиалкилбензолы с примесью продуктов осмоления, которые образуются под действием $AlCl_3$.

Полиалкилбензолы отгоняют в вакууме от смол и используют для абсорбции бензола из отходящих газов и приготовления каталитического комплекса. Через эти промежуточные операции полиалкилбензолы снова

возвращают в аппарат 9, где их подвергают деалкилированию. Выход целевого продукта с учетом всех потерь достигает 94 – 95 % при расходе 5 – 10 кг $AlCl_3$ на 1 т моноалкилбензола [2].

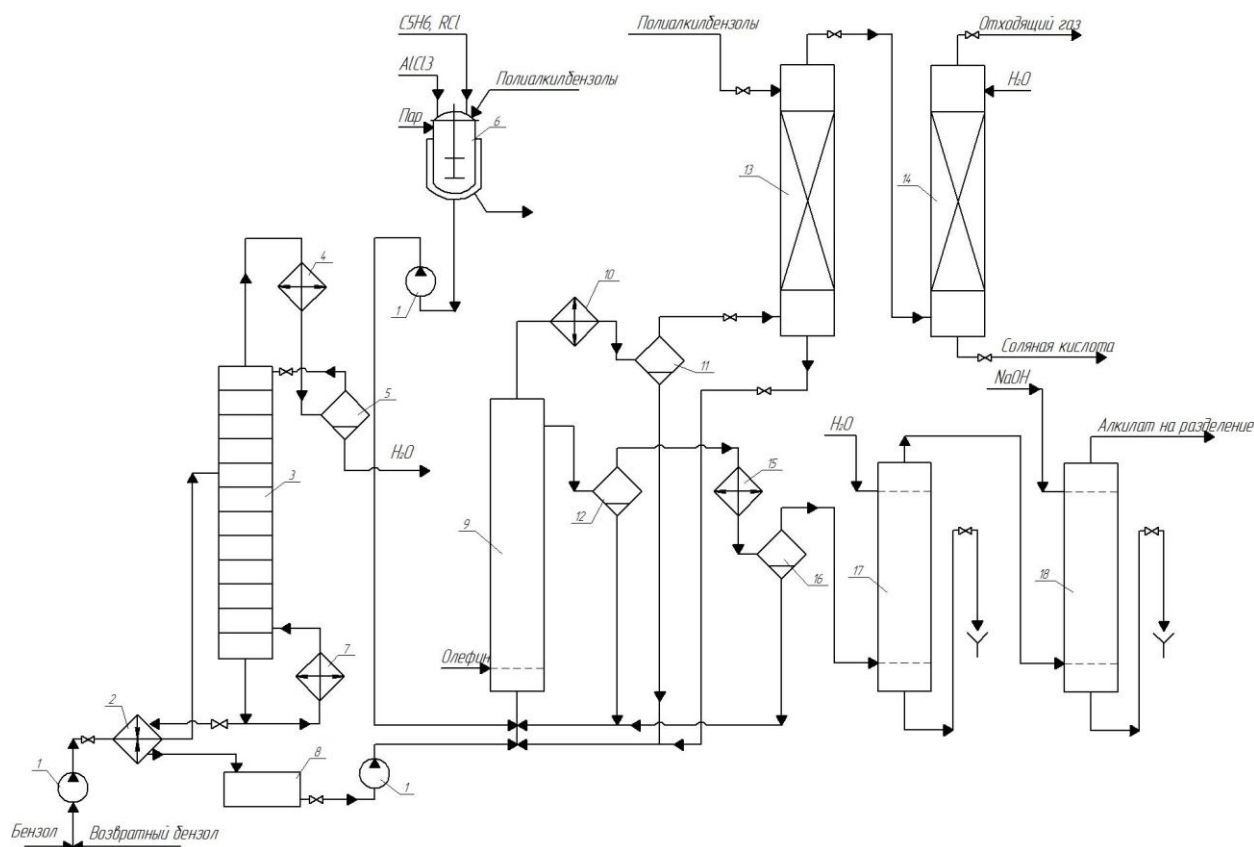


Рисунок 6 – Технологическая схема производства этилбензола:

1- насосы, 2-Теплообменник, 3-Колонна осушки бензола, 4, 10-Конденсаторы, 5-Сепаратор, 6-Аппарат для получения каталитического комплекса, 7-Кипятильник, 8-Сборник, 9-Алкилатор, 11-Газоотделитель, 12, 16-Сепараторы, 13-Абсорбер, 14-Водяной скруббер, 15-Холодильник, 17, 18-Промывные колонны

Технология алкилирования имеет ряд недостатков и в последнее время непрерывно совершенствуется. Так, образование большого объема сточных вод можно устранить, разлагая кислотный алкилат небольшим количеством воды, при этом получается концентрированный раствор гексагидрата $AlCl_3$, находящий разнообразное применение.

Один из вариантов усовершенствованного процесса алкилирования состоит в применении небольшого количества каталитического комплекса, растворяющегося в алкилате (гомогенное алкилирование). В этом случае, ввиду отсутствия больших масс катализатора, проводят реакцию при 160 –

200 °C и соответствующем давлении, необходимо для поддержания смеси в жидком состоянии [2].

1.7 Конструкция основного аппарата

Жидкофазный процесс алкилирования бензола этиленом проходит в полом реакторе колонного типа в режиме барботажа. Одновременно протекают реакции алкилирования и трансалкилирования полиалкилбензолов. В реактор вводятся потоки полиалкилбензолов, свежего и циркулирующего катализаторного комплекса, газообразного олефина и возвратного бензола в турбулентном режиме. Отвод теплоты реакции осуществляют за счет бензольного рефлюкса, поэтому температура процесса обычно составляет 80–130 °C. Температуру поддерживают регулированием давления в реакторе от 0,1 до 0,6 МПа, что позволяет понижать температуру реакции за счет испарения бензола [2].

Эффективный контакт реагирующих веществ с катализатором осуществляется за счет барботажа олефинов и паров бензола через слой двухфазной жидкости, находящейся в реакторе. Время контакта в реакторе при заданной температуре определяется скоростью наиболее медленного процесса – трансалкилирования. При 130 °C оно составляет 60 мин. В этих условиях обеспечивается практически полная конверсия этилена и достигается равновесный состав реакционной смеси, который зависит исходного соотношения бензол/этилен. Обычно используются мольное соотношение бензол:этилен равное (2–3):1. При этом реакционная смесь отвечает составу в % (масс): бензол – 45–56; этилбензол – 36–41; полиалкилбензолы – 8–12. Расходный коэффициент по бензолу равен 0,8, по этилену – 0,26 [3].

3 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

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

Алгоритм и программа расчет были взяты из методики [13]

3.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Основными потребителями этилбензола являются юридические лица, это компании которые используют этилбензол в нефтехимической промышленности в качестве промежуточного продукта при получении стирола, сырья для производства полистирола, АБС-пластиков и синтетических каучуков. Мощность производства этилбензола составляет 759 тыс. тонн в год.

3.1.1 Анализ конкурентных технических решений

Наше производство получает этилбензол с помощью алкилирования бензола этиленом на основе хлорида алюминия. Конкуренты получают этилбензол на основе фтористоводородного и сернокислого катализатора (таблица 12).

Жидкий фтористый водород по сравнению с серной кислотой более активен и благодаря его летучести легче происходит регенерация катализатора, что снижает его расход (в сто с лишним раз). Преимуществом фтористоводородного процесса является лучшее качество алкилата на этиленовом и обогащенном этиленовом сырье без значительного увеличения расхода катализатора. Несмотря на ряд существенных преимуществ фтороводород очень токсичен. Серная кислота обладает протонодонорной активностью, чем фтороводород. В качестве катализатора при алкилировании используют только хлорид алюминия, отличающийся наибольшей активностью из всех доступных апротных кислот. Процесс на основе хлорида алюминия позволяют проводить реакцию алкилирования при низких

температурах с высокими скоростями по отдельным стадиям.

Б_ф- Этилбензол на основе хлорида алюминия.

Б_{к1}- Этилбензол на основе фтороводорода.

Б_ф- Этилбензол на основе серной кислоты.

Таблица 9 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

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. Повышение производительности труда пользователя	0,06	5	5	4	0,3	0,3	0,24
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,04	5	4	4	0,2	0,16	0,16
3. Помехоустойчивость	0,03	4	4	4	0,12	0,12	0,12
4. Энергоэкономичность	0,03	4	4	5	0,12	0,12	0,15
5. Надежность	0,05	5	4	5	0,25	0,2	0,25
6. Уровень шума	0,04	3	4	4	0,12	0,16	0,16
7. Безопасность	0,05	4	2	3	0,2	0,1	0,15
8. Потребность в ресурсах памяти	0,05	4	4	3	0,2	0,2	0,15
9. Функциональная мощность (предоставляемые возможности)	0,05	4	4	4	0,2	0,2	0,2
10. Простота эксплуатации	0,05	3	3	4	0,15	0,15	0,2
11. Качество интеллектуального интерфейса	0,05	4	3	4	0,2	0,15	0,2
12. Возможность подключения в сеть ЭВМ	0,06	4	4	5	0,24	0,24	0,3
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Конкурентоспособность продукта	0,07	4	5	4	0,28	0,35	0,28
2. Уровень проникновения на рынок	0,06	4	4	4	0,24	0,24	0,24
3. Цена	0,06	4	4	3	0,24	0,24	0,18
4. Предполагаемый срок	0,05	4	3	2	0,2	0,15	0,1

эксплуатации							
5. Послепродажное обслуживание	0,04	5	4	4	0,2	0,16	0,16
6. Финансирование научной разработки	0,05	5	5	4	0,25	0,25	0,2
7. Срок выхода на рынок	0,05	4	4	4	0,2	0,2	0,2
8. Наличие сертификации разработки	0,06	5	5	4	0,3	0,3	0,24
Итого	1	84	79	78	4,21	3,99	3,88

Из данных таблицы видно, что у полученного этилбензола на основе катализатора хлорида алюминия больше преимуществ.

3.1.2 Технология QuaD

Таблица 10 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы	Максимальный балл	Относительное значение (3/4)	Средневзвешенное значение (5x2)
1	2	3	4	5	
Показатели оценки качества разработки					
1. Энергоэффективность	0,06	80	100	80	4,8
2. Помехоустойчивость	0,04	76	100	76	3,04
3. Надежность	0,04	80	100	80	3,2
4. Унифицированность	0,03	75	100	75	2,25
5. Уровень материалоемкости разработки	0,05	70	100	70	3,5
6. Уровень шума	0,04	70	100	70	2,8
7. Безопасность	0,05	70	100	70	3,5
8. Потребность в ресурсах памяти	0,05	80	100	80	4
9. Функциональная мощность (предоставляемые возможности)	0,05	85	100	85	4,25
10. Простота эксплуатации	0,05	80	100	80	4
11. Качество интеллектуального интерфейса	0,05	85	100	85	4,25
12. Ремонтопригодность	0,06	70	100	70	4,2
Показатели оценки коммерческого потенциала разработки					

13. Конкурентоспособность продукта	0,07	70	100	70	4,9
14. Уровень проникновения на рынок	0,06	80	100	80	4,8
15. Перспективность рынка	0,06	90	100	90	5,4
16. Цена	0,05	85	100	85	4,25
17. Послепродажное обслуживание	0,04	70	100	70	2,8
18. Финансовая эффективность научной разработки	0,05	85	100	85	4,25
19. Срок выхода на рынок	0,05	75	100	75	3,75
20. Наличие сертификации разработки	0,06	90	100	90	4,5
Итого	1			1646	78,44

Значение P_{cp} позволяет говорить о перспективах разработки и качестве проведенного исследования. P_{cp} получилось от 79 до 60 перспективность выше среднего.

По данным таблице можно сделать вывод, что деньги надо инвестировать в научные исследования и на модернизацию и улучшения оборудования, что увеличит скорость выхода продукта, также понизится шум и увеличится помехоустойчивость и безопасность производства.

3.1.3 SWOT-анализ

При проведении анализа среды предприятия изучили факторы внешней (табл. 14) и внутренней среды (табл. 15), а также особенности их влияния (табл. 16) на рентабельное функционирование предприятия. Вследствие проведенного анализа обозначили возможности и угрозы внешней среды, а также сильные и слабые стороны предприятия.

Таблица 11 – 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 цен	«-» снижение покупательской способности потребителя	
	3. Увеличение налоговых ставок	«-» снижение чистой прибыли	Проведение оптимальной налоговой политики
Научно-технический	1. Появление современных технологий (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	-//-
Социо-культурный	1. Затраты на усовершенствование персонала (стажировки, улучшение квалификации)	«+» появление на рынке труда квалифицированных кадров	Прием на работу персонала высокой квалификации. Разработка эффективных инноваций. Повышение стоимости предприятия

Таблица 12 – 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 Увеличение оборотных средств на производство ГП
	Снижение покупательской способности	«-» снижение объемов производимой продукции	Поиск путей дифференциации хозяйственного портфеля в целях 100% загрузки производственных мощностей
Поставщики	Увеличение стоимости оборудования	«-» перебои в поставках «-» повышение цены оборудования	Новые формы сотрудничества, заключение долгосрочных договоров Поиск новых 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 (цены) ГП, 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

Таблица 13 – Анализ внутренней среды предприятия

Факторы среды	Сильные стороны	Слабые стороны
Маркетинг	1. Наличие эффективной программы продвижения ГП 2. Наличие эффективных каналов распределения ГП 3. Наличие связей 4. Наличие неэффективной программы продвижения ГП 5. Наличие рекламы 6. Наличие бюджетного финансирования	1. Низкий уровень маркетинговых исследований
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 профессионализма кадров 2. Отсутствие текучести Кадров 3. Высокая рентабельность персонала	1. Низкий уровень квалификации кадров 2. Отсутствие эффективной системы мотивации и стимулирования
Производство	1. Наличие современной технологии 2. Наличие современного оборудование 3. Проведение научно-технических разработок 4. Наличие конкурентных преимуществ ГП 5. Наличие экономичность и энергоэффективность технологии. 6. Экологичность технологий 7. Более низкая стоимость производства по сравнению с другими технологиями.	1. Отсутствие необходимого оборудования для проведения испытания опытного образца
Корпоративная культура	1. Высокий уровень корпоративной культуры	1. Разногласия среди персонала

Составляется матрица SWOT, которая имеет следующий вид:

Таблица 14 – Матрица SWOT

	Возможности: 1. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ 2. Повышение стоимости конкурентных разработок 3. Появление дополнительного спроса на новый продукт 4. Появление современных технологий, а также 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 технологий. 2. Экологичность технологий 3. Более низкая стоимость производства по сравнению с другими технологиями. 4. Наличие бюджетного финансирования 5. Высокий уровень профессионализма кадров	1. Разработка технологии алкилирования бензола этиленом с целью производства стирола с требуемыми конкурентными преимуществами (ценное и дифференциации) 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, используемые 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 - Смена оптимального поставщика 3. Изучение конкурентов и создание конкурентных стратегий. 4. Лоббирование своего проекта на уровне государства

3. 2 Планирование научно-исследовательских работ

3.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

Для выполнения научных исследований формируется рабочая группа, в состав которой входят главные инженеры, инженеры, техники и лаборанты.

Составляем перечень этапов и работ в рамках проведения научного исследования, проводим распределение исполнителей по видам работ.

Примерный порядок составления этапов и работ, распределение исполнителей по данным видам работ приведен в таблицу 15.

Таблица 15 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Главный инженер
Выбор направления исследований	2	Подбор и изучение материалов по теме	Инженер
	3	Проведение патентных исследований	Инженер, лаборант, специалист
	4	Выбор направления исследований	Инженер
	5	Календарное планирование работ по теме	Инженер
Теоретические и экспериментальные исследования	6	Проведение теоретических расчетов и обоснований	Инженер, лаборант
	7	Построение макетов (моделей) и проведение экспериментов	Специалист
	8	Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими исследованиями	Инженер, лаборант, специалист
	9	Утверждение лучшего результата	Главный инженер
Обобщение и оценка результатов	10	Оценка эффективности полученных результатов	Инженер
	11	Определение целесообразности проведения ОКР	Инженер
Проведение ОКР			Специалист
Разработка технической документации и	12	Разработка блок-схемы, принципиальной схемы	Специалист
	13	Выбор и расчет конструкции	Инженер, специалист

проектирование	14	Оценка эффективности производства и применения проектируемого изделия	Инженер, специалист
	15	Утверждение технической документации и схемы.	Главный инженер
Изготовление и испытание макета (опытного образца)	16	Конструирование и изготовление макета (опытного образца)	Инженер, специалист
	17	Лабораторные испытания макета	Лаборант
Оформление отчета по НИР (комплекта документации по ОКР)	17	Составление пояснительной записки (эксплуатационно-технической документации)	Главный инженер
	18	Оформление патента	Генеральный директор
	19	Размещение рекламы	Менеджер

3.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников научного исследования.

Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости $t_{ожі}$ используется следующая формула:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5}, \quad (1)$$

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

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

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

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяем 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 %.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i}, \quad (2)$$

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

$t_{ожі}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.

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

3.2.3 Разработка графика проведения научного исследования

Строим диаграмму Ганта. Диаграмма Ганта – это горизонтальный ленточный график, на котором 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 следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}}, \quad (3)$$

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:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{365}{365 - 91 - 14} = 1,4 \quad (4)$$

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.

Рассчитанные значения в календарных днях по каждой работе T_{ki}

необходимо округлить до целого числа.

Все рассчитанные значения необходимо свести в таблицу 16.

Таблица 16 – Временные показатели проведения научного исследования

Названи е работы	Трудоёмкость работ									Исполни тели	Длительно сть работ в рабочих днях T_{pi}	Длительно сть работ в календарн ых днях T_{ki}						
	t_{min} , чел-дни			t_{max} , чел- дни			$t_{ож\ i}$, 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
Составл ение ТЗ	3	2	3	3	3	1	2	2	2	Руковод итель			3	2	2	5	3	3
Изучени е литерат уры	25	24	23	26	28	28	26	26	25	Инженер			26	26	25	37	36	35
Патентн ый поиск	4	3	2	5	5	5	4	4	3	Инженер			5	4	3	7	5	4
Выбор напр. исслед.	3	2	2	3	4	3	3	3	2	Руков., инж.			2	1	1	2	2	2
Лаборат орные испытан ия	27	25	25	28	30	29	27	27	27	Руков., инж., лаборант			14	14	13	20	19	19
Введени е в произво дство	45	47	26	47	50	49	48	48	35	Руков., инж,лаб орант			24	24	18	33	34	25

На основе таблице 19 строится календарный план-график. График строится для максимального по длительности исполнения работ в рамках научно-исследовательского проекта на основе таблице 17 с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени дипломирования. При этом

работы на графике следует выделить различной штриховкой в зависимости от исполнителей, ответственных за ту или иную работу.

Таблица 17 – Календарный план-график проведения НИОКР по теме

№ работ	Вид работ	Исполнители	T _{кi} , кал. · дн.	Продолжительность выполнения работ													
				февр.		март			апрель			май			Июнь		
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	
1	Составление ТЗ	Руководитель	4														
2	Изучение литературы	Инженер (дипломник)	28														
3	Патентный поиск	Инженер (дипломник)	6														
4	Выбор напр. исслед.	Руков., инж.	4					 									
5.	Лабораторные испытания	Руков., инж., лаборант	30						  								
6.	Введение в производство	Руков., инж., лаборант	50									  					

Руководитель - ■ Инженер - ■ Лаборант – ■

3.2.4 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

При планировании бюджета НТИ обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением. В процессе формирования бюджета НТИ используется следующая группировка затрат:

- материальные затраты НТИ;
- затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ;
- основная заработная плата исполнителей темы.

3.2.4.1 Расчет материальных затрат НТИ

Данный раздел включает стоимость всех материалов, используемых при разработке проекта:

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

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$З_{\text{м}} = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m \Pi_i \cdot N_{\text{расх}i}, \quad (5)$$

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.);

Π_i – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./м² и т.д.);

k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Величина коэффициента (k_T), отражающего соотношение затрат по доставке материальных ресурсов и цен на их приобретение, зависит от условий договоров поставки, видов материальных ресурсов, территориальной удаленности поставщиков и т.д. Транспортные расходы принимаются в пределах 15-25% от стоимости материалов. Материальные затраты, необходимые для данной разработки, заносятся в таблицу 18.

Таблица 18 - Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество			Цена за ед., руб.			Затраты на материалы, (З _м), руб.		
		Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3
Бензол	т	2	1	1,5	159 300	14000 0	14500	318600	14000 0	21750
Этилен	т	1	1	1	42	43500	43000	42920	43500	43000

					920					
Каталитический комплекс:										
Катализатор	т	0,5	0,5	0,5	35000	37000	36000	17500	18500	18000
Бензол	т	0,7	0,7	0,7	159300	155890	15500	159300	155890	15500
Паб	т	0,7	0,7	0,7	23550	22890	22000	51000	22890	22000
этилхлорид	т	0,7	0,7	0,7	66600	50000	60000	46620	35000	42000
раствор гидроксида натрия	т	0,5	0,5	0,5	51000	75000	60000	25500	37500	30000
Итого								579135	399646	181000

3.2.4.2 Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ

В данную часть включают все затраты, связанные с приобретением специального оборудования (приборов, контрольно-измерительной аппаратуры, стенов, устройств и механизмов), необходимого для проведения работ по конкретной теме. Расчет затрат по данной статье заносится в таблицу 19.

Таблица 19 – Расчет бюджета затрат на приобретение спецоборудования для научных работ

№ п/п	Наименование оборудования			Кол-во единиц оборудования			Цена единицы оборудования, тыс. руб.			Общая стоимость оборудования, тыс. 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
1	Аппарат для приготовлен ия комплекса			1			40000			40000		
2	Колонна для абсорбции			1			900000			900000		
3	Холодильни к			2			60000			60000		
4	Алкилатор			1			1500000			1500000		
5	Сепаратор			2			120000			8000		
6	Емкость			1			150000			150000		
7	Отстойники			3			45000			45000		
8	Колонна для разложения комплекса			1			1000000			1000000		
9	Насос			1			130000			130000		
10	Колонна для нейтрализаци и			1			1000000			1000000		
11	Промывная колонна			1			700000			700000		
12	Установка для деалкилирова ния			1			800000			80000		
Итого										6715000		

3.2.4.3 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. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20 –30 % от тарифа или оклада. Расчет основной заработной платы сводится в таблицу 20.

Таблица 20 – Расчет основной заработной платы

№ п/ п	Наименован ие этапов			Исполнитель и по категориям			Трудо- емкость, чел.- дн.			Заработная плата, приходящаяся на один чел.-дн., тыс. руб.			Всего заработная плата по тарифу (окладам), тыс. 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	Составление ТЗ			Руководител ь			2	2	2	364 4	3644	3644	4373	4373	437 3
2	Изучение литературы			Инженер			26	26	25	306 54	3065 4	2947 5	3678 5	3678 5	353 70
3	Патентный поиск			Инженер			4	4	3	471 6	4716	3537	5659	5659	424 4
4	Выбор напр. исслед.			Руководител ь			3	3	2	546 6	5466	3644	6559	6559	437 3
				Инженер						353 7	3537	2358	4244	4244	283 0
5	Лабораторн ые испытания			Руководител ь			27	27	27	491 94	4919 4	4919 4	5903 3	5903 3	590 33
				Инженер						318 33	3183 3	3183 3	3820 0	3820 0	382 00
				Лаборант						187 92	1879 2	1879 2	2255 0	2255 0	225 50
6	Введение в производств о			Руководител ь			48	48	35	874 56	8745 6	6377 0	1049 47	1049 47	765 24
				Инженер						565 92	5659 2	4126 5	6791 0	6791 0	495 18
				Лаборант						334	3340	2436	4009	4009	292

						08	8	0	0	0	32
Итого:									3903 50	3903 50	326 246

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением НТИ, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату:

$$З_{\text{зп}} = З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}, \quad (6)$$

где $З_{\text{осн}}$ – основная заработная плата;

$З_{\text{доп}}$ – дополнительная заработная плата (12-20 % от $З_{\text{осн}}$).

Основная заработная плата ($З_{\text{осн}}$) руководителя (лаборанта, инженера) от предприятия (при наличии руководителя от предприятия) рассчитывается по следующей формуле:

$$З_{\text{осн}} = З_{\text{дн}} \cdot T_p, \quad (7)$$

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

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

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$З_{\text{дн}} = \frac{З_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}}, \quad (8)$$

где $З_{\text{м}}$ – 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. (табл. 10).

Таблица 21 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер	Лаборант
Календарное число дней	365	365	365
Количество нерабочих дней - выходные дни - праздничные дни	105	105	105
Потери рабочего времени - отпуск - невыходы по болезни	29	29	29
Действительный годовой фонд рабочего времени	231	231	231

Месячный должностной оклад работника:

$$З_{\text{м}} = З_{\text{тс}} \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) \cdot k_{\text{р}}, \quad (9)$$

где $З_{\text{тс}}$ – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

$k_{\text{пр}}$ – премиальный коэффициент, равный 0,3 (т.е. 30% от $З_{\text{тс}}$);

$k_{\text{д}}$ – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2 – 0,5 (в НИИ и на промышленных предприятиях – за расширение сфер обслуживания, за профессиональное мастерство, за вредные условия: 15-20 % от $З_{\text{тс}}$);

$k_{\text{р}}$ – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Тарифная заработная плата $З_{\text{тс}}$ находится из произведения тарифной ставки работника 1-го разряда $T_{\text{с1}} = 600$ руб. на тарифный коэффициент $k_{\text{т}}$ и учитывается по единой для бюджетных организации тарифной сетке. Для предприятий, не относящихся к бюджетной сфере, тарифная заработная плата (оклад) рассчитывается по тарифной сетке, принятой на данном предприятии.

Таблица 22– Расчёт основной заработной платы

Исполнители	Разряд	$k_{\text{т}}$	$З_{\text{тс}}$, руб.	$k_{\text{пр}}$	$k_{\text{д}}$	$k_{\text{р}}$	$З_{\text{м}}$, руб.	$З_{\text{дн}}$, руб.	$T_{\text{р}}$, раб. дн.	$З_{\text{осн}}$, руб.
Руководитель	6	54	17000	0,3	0,4	1,3	37570	1822	88	160299
Инженер	5	47	11000	0,3	0,4	1,3	24310	1179	118	139083
Лаборант	4	39	6500	0,3	0,4	1,3	14365	696	80	55719
Итого $З_{\text{осн}}$										355100

3.2.4.4 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы (темы) является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции.

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в таблице 23.

Таблица 23 – Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб.			Примечание
	Исп.1	Исп.2	Исп.3	
1. Материальные затраты НТИ	579135	399646	181000	Пункт 2.4.1
2. Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	6715000	6715000	6715000	Пункт 2.4.2
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	390350	390350	326246	Пункт 2.4.3
4. Бюджет затрат НТИ	8263620	7504996	7222246	Сумма ст. 1- 4

3.3 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:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{\text{pi}}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (10)$$

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:

$$I_{\text{pi}} = \sum a_i \cdot b_i, \quad (11)$$

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 24.

Таблица 24 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Объект исследования Критерии	Весовой коэффициент параметра	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1. Способствует росту производительности пользователя труда	0,1	5	4	4
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,15	4	3	3
3. Помехоустойчивость	0,15	5	3	3
4. Энергосбережение	0,20	4	3	3
5. Надежность	0,25	4	4	4
6. Материалоемкость	0,15	4	4	4
ИТОГО	1			

$$I_{p-исп1} = 5*0,1 + 4*0,15 + 5*0,15 + 4*0,2 + 4*0,25 + 5*0,05 + 4*0,01 = 3,94.$$

$$I_{p-исп2} = 4*0,1 + 3*0,15 + 3*0,15 + 3*0,2 + 4*0,25 + 4*0,05 + 4*0,1 = 3,5.$$

$$I_{p-исп3} = 4*0,1 + 3*0,15 + 3*0,15 + 3*0,2 + 4*0,25 + 4*0,05 + 4*0,1 = 3,5.$$

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

$$I_{исп.1} = \frac{I_{p-исп1}}{I_{финр.1}}, \quad I_{исп.2} = \frac{I_{p-исп2}}{I_{финр.2}} \text{ и т.д.} \quad (12)$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта (см.табл.18) и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных. Сравнительная эффективность проекта ($\mathcal{E}_{cp}$):

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{исп.1}}{I_{исп.2}} \quad (13)$$

Таблица 25 –Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1	Интегральный показатель финансовой эффективности	8263620	7504996	7222246
2	Интегральный финансовый показатель	1	0,908197	0,873981
3	Интегральный показатель ресурсоэффективности	3,94	3,15	3,5
4	Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки	3,94	3,46841	4,004664
5	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1,135967	0,866093	1,016412

Сравнение значений интегральных показателей эффективности видно, что 1 испытание более эффективное решения поставленной в бакалаврской работе технической задачи с позиции финансовой и ресурсной эффективности.