

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 бутадиена

УДК 661.715.3:547.315.2

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2Д2А	Цой Валерия Валерьевна		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры ТОВМП	Волгина Т. Н.	Кандидат химических наук		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры МЕН	Рыжакина Т. Г.	Кандидат экономических наук		

По разделу «Социальная ответственность»

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

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ТОВПМ	Юсубов М. С.	Доктор химических наук.		

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

(Подпись) _____ (Дата) Юсубов М. С.
(Ф.И.О)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

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

Студенту:

Группа	ФИО
2Д2А	Цой Валерии Валерьевне

Тема работы:

Проект узла синтеза бутадиена	
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 бутадиену – 100000 тонн в год
2. Состав свежей бутановой фракции, % (масс.):
 - изобутан – 0,3 %
 - н-бутан – 99,2 %
 - углеводороды C₅ и выше – 0,6 %Состав рециркулирующей бутан-бутиленовой фракции, % (масс.):
 - пропилен – 0,1 %
 - пропан – 0,1 %
 - бутадиен – 0,1 %
 - изобутен – 19,3 %
 - н-бутен – 19,3 %
 - изобутан – 0,4 %
 - н-бутан – 60,5 %
 - углеводороды C₅ и выше – 0,2 %Состав продуктов разложения, % (масс.):
 - водород – 3,5 %
 - метан – 1,8 %
 - этилен – 1,4 %
 - этан – 1,4 %
 - пропилен – 1,8 %
 - пропан – 1,8 %
 - бутадиен – 25,7 %
 - изобутен – 28,1 %
 - н-бутен – 28,1 %
 - углеводороды C₅ и выше – 2,0 %
 - С в СО – 0,2 %
 - С в СО₂ – 0,6 %
 - Кокс – 3,8 %
3. Годовой фонд рабочего времени – 8400 ч
4. Полный рабочий цикл – 20 мин

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i>	1. Литературный обзор. 2. Объекты и методы проектирования. 3. Инженерные расчеты. 4. Результаты разработки. 5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность, ресурсосбережение. 6. Социальная ответственность.
Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	1. Технологическая схема процесса 2. Реактор дегидрирования. Вид общий 3. Реактор дегидрирования. Сборочные единицы
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 кафедры ТОВПМ	Волгина Т.Н.	Кандидат химических наук		09.09.2015г.

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2Д2А	Цой Валерия Валерьевна		09.09.2015г.

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

Студенту:

Группа	ФИО
2Д2А	Цой Валерии Валерьевне

Институт	ИПР	Кафедра	ТОВИМ
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	Химическая технология

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:	
1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Работа с информацией, представленной в российских и иностранных научных публикациях, аналитических материалах, статических бюллетенях и изданиях, нормативно-правовых документах; анкетирование; опрос.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Проведение предпроектного анализа. Определение целевого рынка и проведение его сегментирования. Выполнение SWOT-анализа проекта
2. Определение возможных альтернатив проведения научных исследований	Определение целей и ожиданий, требований проекта. Определение заинтересованных сторон и их ожиданий.
3. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	Составление календарного плана проекта. Определение бюджета НТИ
4. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	Проведение оценки экономической эффективности проекта узла синтеза бутадиина
Перечень графического материала(с точным указанием обязательных чертежей):	
1. Оценка конкурентоспособности технических решений 2. Матрица SWOT 3. График проведения и бюджет НТИ 4. Расчёт денежного потока 5. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НТИ 6. Сравнительная эффективность разработки	

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику				
Задание выдал консультант:				
Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Рыжакина Т.Г.	К.э.н.,доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
---------------	------------	----------------	-------------

2Д2А	Цой Валерия Валерьевна		
------	------------------------	--	--

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа	ФИО
2Д2А	Цой Валерии Валерьевне

Институт	ИПР	Кафедра	ТОВПМ
Уровень образования	бакалавр	Направление/специальность	180301 «Химическая технология»

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Описание рабочего места (рабочей зоны, технологического процесса, механического оборудования) на предмет возникновения: – вредных проявлений факторов производственной среды (метеоусловия, вредные вещества, освещение, шум, вибрации, электромагнитные поля, ионизирующие излучения) – опасных проявлений факторов производственной среды (механической природы, термического характера, электрической, пожарной и взрывной природы) – негативного воздействия на окружающую природную среду (атмосферу, гидросферу, литосферу) – чрезвычайных ситуаций (техногенного, стихийного, экологического и социального характера)	Установка дегидрирования находится на улице. Производство связано с вредными веществами, такими как метан, этан, водород, бутан, и т.д. Наличие источников шума и вибрации (действующих аппаратов). Освещение смешанное. Наличие источников опасности: - Высокая температура; - Электричество; - Наличие горючих веществ; Основное влияние производства на окружающую среду – загрязнение атмосферы, литосферы, аварийные ситуации.
2. Знакомство и отбор законодательных и нормативных документов по теме	

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности: – физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой; – действие фактора на организм человека; – приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); – предлагаемые средства защиты (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства)	Основная часть работ проводится на открытом воздухе при различных климатических условиях: высокой температуре летом и низкой температуре зимой, без защиты от снега и дождя. Данный фактор оказывает негативное влияние на работников. При отсутствии средств индивидуальной защиты и не соблюдении техники безопасности могут возникнуть несчастные случаи. Наличие средств индивидуальной защиты и соблюдение техники безопасности, препятствуют возникновению подобных случаев.
2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности – механические опасности (источники, средства защиты); – термические опасности (источники, средства защиты); – электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты); – пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения)	На установке дегидрирования бутана существует ряд опасных факторов, к ним относятся: - термические опасности; - механические опасности; - пожаровзрывобезопасность; - электробезопасность. Во избежание травм следует использовать средства индивидуальной и коллективной защиты, также соблюдать правила техники безопасности.
3. Охрана окружающей среды: – защита селитебной зоны	Основное влияние производства на окружающую среду – загрязнение атмосферы,

– анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); – анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); – анализ воздействия объекта на литосферу (отходы); – разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.	литосферы, аварийные ситуации.
4. Защита в чрезвычайных ситуациях: – перечень возможных ЧС на объекте; – выбор наиболее типичной ЧС; – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; – разработка мер по повышению устойчивости объекта к данной ЧС; – разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий	На участке синтеза бутадиена возможны следующие ЧС: - утечка газов, нарушение герметичности соединений трубопроводов и аппаратов, пожары и т.д. Во избежание получения травм необходимо использовать средства индивидуальной защиты. Далее необходимо сообщить диспетчеру о возникшей ЧС и принять соответствующие меры для ликвидации данной ситуации.
5. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: – специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны	В соответствии с законодательством РФ, рабочие и служащие, связанные по роду своей деятельности с вредными и опасными условиями труда, обязаны проходить медицинский осмотр. Правильное расположение рабочего места, обеспечение удобного расположения и свободы движений, использование оборудования, отвечающего требованиям эргономики и инженерной психологии, обеспечивают наиболее эффективный трудовой процесс, уменьшают усталость и предотвращают опасность возникновения профессиональных заболеваний.
Перечень графического материала:	
При необходимости представить эскизные графические материалы к расчётному заданию (обязательно для специалистов и магистров)	

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

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2Д2А	Цой Валерия Валерьевна		

Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 90 страниц, 9 рисунков, 27 таблиц, 18 литературных источников, 3 листа графического материала.

Ключевые слова: бутадиен, дегидрирование, н-бутан, алюмохромовый катализатор, реактор, технологическая схема.

Объектом разработки является производство бутадиена одностадийным дегидрированием н-бутана. Целью выпускной квалификационной работы является разработка взаимосвязанных между собой процессов, обеспечивающих получение бутадиена требуемого качества.

Бутадиен – один из важных продуктов химической промышленности, имеющий широкую область применения. В основном бутадиен используют для получения синтетических каучуков.

Введение.....	10
1. Теоретическая часть.....	11
1.1. Техничко-экономическое обоснование.....	11
1.2. Методы получения бутадиена -1,3.....	11
1.3. Получение бутадиена дегидрированием н-бутана.....	14
1.3.1. Одностадийное дегидрирование н-бутана.....	15
1.3.2. Двухстадийное дегидрирование н-бутан.....	16
1.3.3. Окислительное дегидрирование н-бутана.....	18
1.4. Выделение бутадиена из пиролизных фракций C ₄	18
1.5. Характеристика исходного сырья, продуктов и полупродуктов.....	20
1.6. Физико-химические основы.....	21
1.6.1. Химизм процесса.....	21
1.6.2. Выбор и обоснование условий процесса.....	22
1.6.3. Катализаторы дегидрирования.....	23
1.6.3.1. Катализаторы дегидрирования парафинов.....	24
1.7. Области применения бутадиена.....	29
1.8. Выбор конструкции основного аппарата.....	30
1.9. Выбор технологической схемы.....	34
2. Расчет и аналитика.....	36
2.1. Описание технологической схемы.....	36
2.2. Материальный баланс.....	38
2.3. Тепловой расчет основного аппарата.....	43
2.4. Технологический расчет основного аппарата.....	46
2.5. Гидравлический расчет основного аппарата.....	47
2.6. Конструктивно - механический расчет основного аппарата.....	48
2.7. Контроль производства.....	53
3. Финансовый менеджмент.....	55
4. Социальная ответственность.....	76
Заключение.....	88
Список использованных источников.....	89

Приложения

Спецификация

Введение

В настоящее время промышленный органический синтез условно можно разделить на две группы: первая группа – это основной органический синтез, вторая группа – это тонкий органический синтез.

Бутадиен является продуктом основного органического синтеза. Представляет собой бесцветный, горючий газ.

Увеличение спроса на бутадиен, в первую очередь, связано с развитием рынка-потребителя синтетического каучука. Бутадиен является основным сырьем для производства бутадиен-стирольных и полибутадиеновых каучуков. Кроме синтетических каучуков, бутадиен нашел также широкое применение в производстве АБС- пластика и адипонитрила, который используется для производства полиамида [13].

Мировое потребление бутадиен-стирольных каучуков на 2014 год составило 5 млн.тонн, бутадиеновых каучуков – 3,1 млн.тонн, АБС – пластиков – 6,9 млн.тонн. Шинная и автомобилестроительная промышленности потребляют около 75% производных бутадиена [14].

Целью данной выпускной квалификационной работы является разработка проекта узла синтеза бутадиена.

1. Теоретическая часть

1.1. Техничко-экономическое обоснование

Бутадиен является крупнотоннажным продуктом, который имеет широкую область применения. В основном, бутадиен является сырьем для получения синтетических каучуков и АБС-пластика [13].

Синтетические каучуки применяют, в основном, в производстве резин для автомобильных, велосипедных и авиационных шин.

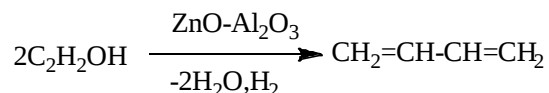
На основе АБС-пластика изготавливают полимерные материалы, имеющие высокие эксплуатационные и технические характеристики. Также АБС-пластик широко применяют в автомобильной промышленности, для изготовления деталей интерьера и внешней отделки. В приборостроении АБС-пластик используют в качестве конструкционного материала для корпусов различных приборов. В пищевой промышленности АБС – пластик используется для изготовления пластиковой посуды [15].

1.2. Методы получения бутадиена-1,3

В промышленности бутадиен-1,3 получают разными методами, которые отличаются исходным сырьем, количеством технологических стадий и экономичностью.

- *Метод Лебедева.*

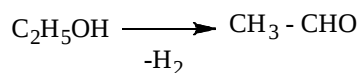
Данный метод был разработан в 1928г. Он стал первым промышленным способом получения бутадиена – 1,3 из этилового спирта, на основе которого впервые было создано производство синтетического каучука. Реакцию получения можно представить в следующем виде:



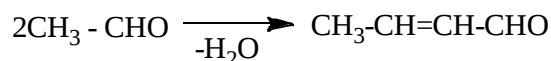
Реакция протекает при $T = 370^\circ \text{C}$ и $p = 0,1 \text{ МПа}$. Оксидный катализатор, предложенный С.В. Лебедевым, обладает дегидратирующими и дегидрирующими функциями. Его регенерацию проводят при $450 - 490^\circ \text{C}$.

Процесс превращения этилового спирта состоит из следующих стадий:

а) дегидрирование спирта в ацетальдегид:



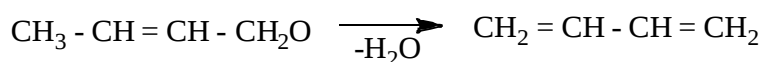
б) конденсация ацетальдегида с образованием кротонового альдегида и выделением воды:



в) восстановление карбонильной группы кротонового альдегида водородом, который выделяется на первой стадии, и образование кротилового спирта:



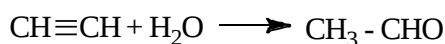
г) дегидратация кротилового спирта в бутадиен:



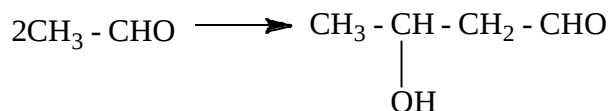
- *Метод Кучерова - Остромысленского*

Процесс получения бутадиена из ацетилена состоит из следующих стадий:

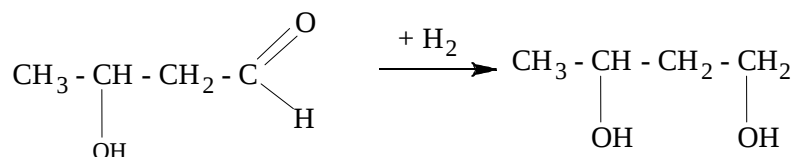
а) гидратация ацетилена в ацетальдегид при 92-97° С и 0,1 МПа (реакция Кучерова) в присутствии катализатора – сульфата ртути:



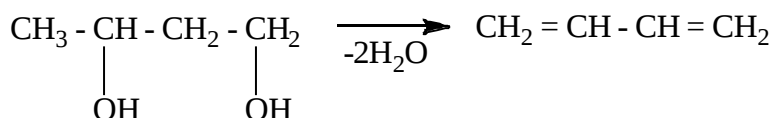
б) альдольная конденсация ацетальдегида при 20° С в присутствии гидроксида калия:



в) гидрирование ацетальдоля в бутиленгликоль - 1,3 при 55 – 70° С и 30 МПа в присутствии катализатора (медь, кобальт, никель):



г) дегидратация бутиленгликоля - 1,3 при 270-280° С и 0,1 МПа в бутадиен-1,3 в присутствии катализатора – фосфорной кислоты, нанесенной на небольшие кусочки кокса:

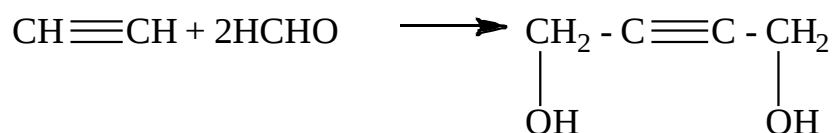


Выход бутадиена -1,3 составляет 80 % от теоретического. Доля бутадиена, получаемого из этилового спирта и ацетилена, составляет менее 10 %, и в настоящее время эти способы не представляют промышленного интереса.

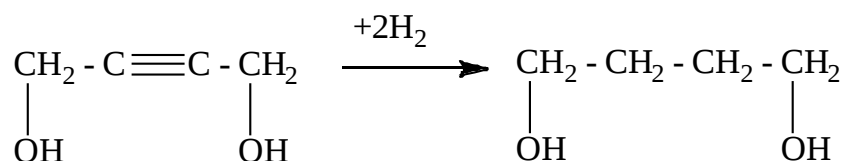
- *Метод Пенне*

Получение бутадиена из ацетилена через бутин-2- диол- 1,4 состоит из четырех стадий

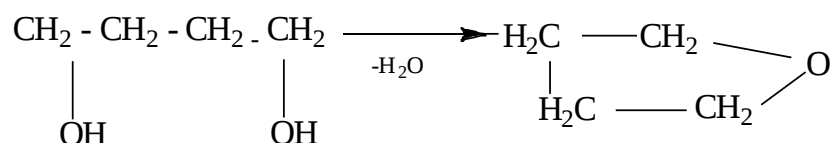
а) конденсация ацетилена с формальдегидом с образованием бутиндиола -1,4, протекающая при 100° С и 0,5 МПа в присутствии ацетиленида меди в качестве катализатора:



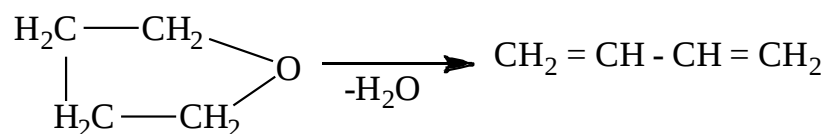
б) гидрирование бутиндиола -1,4 в бутандиол 1,4 при 180-200° С и 28 МПа в присутствии катализатора – смеси хрома, никеля и меди, нанесенной на силикагель:



в) дегидратация бутандиола -1,4 в тетрагидрофуран при 260° С и 7 МПа в присутствии катализатора (фосфорной кислоты) :



г) дегидратация тетрагидрофурана в бутадиен-1,3- 260- 270° С и 0,2 МПа в присутствии фосфата натрия:



Широкого распространения метод Реппе не получил из-за сложности технологии.

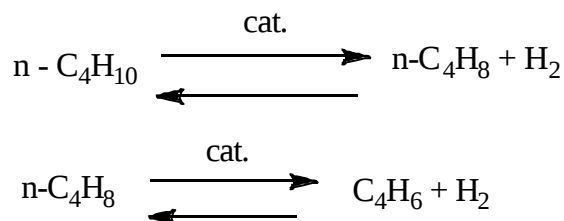
В настоящее время наиболее распространенными способами получения бутадиена в промышленности являются следующие: одностадийное дегидрирование н-бутана в вакууме, двухстадийное дегидрирование н-бутана, окислительное дегидрирование н-бутана и выделение бутадиена из пиролизных фракций C_4 .

Основным способом производства бутадиена -1,3 является дегидрирование н-бутана, ресурсы которого достаточно велики. Процесс дегидрирования н- бутенов имеет лучшие технические, а также экономические показатели в сравнении с показателями дегидрирования н – бутана, однако развитие данного процесса сдерживается недостаточным количеством ресурсов н-бутенов. За последние годы также наблюдается увеличение производства бутадиена выделением из пиролизной фракции C_4 .

1.3. Получения бутадиена дегидрированием н-бутана

На сегодняшний день в промышленности для производства бутадиена применяется двухстадийное и одностадийное дегидрирование бутана, выделение бутадиена из пиролизной фракции C_4 и контактное разложение этилового спирта. Способ получения бутадиена из этилового спирта является устарелым, по технико-экономическим показателям, значительно уступающим дегидрированию бутана и выделению бутадиена из пиролизных фракций [3].

В основе дегидрирования лежат следующие реакции:



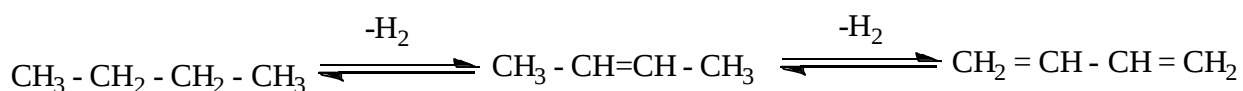
Данные реакции являются равновесными и протекают с большим поглощением теплоты при газообразном состоянии веществ в присутствии твердых катализаторов, в качестве которых обычно используют сочетание оксидов хрома и алюминия или платину на носителе. Дегидрирование проводят при температуре 530-650 °С.

Конверсия н-бутана и н-бутенов за один проход никогда не бывает полной и обычно не превышает 50 %. Параллельно с основными реакциями протекают побочные реакции, в частности реакции расщепления молекул углеводородов C₄ - фракции. Селективность превращения н-бутана в

1,3 - бутадиен обычно составляет 75-85%.

1.3.1. Одностадийное дегидрирование н-бутана

Процесс одностадийного дегидрирования н-бутана проводят на неподвижном катализаторе с адиабатическим регенерированным циклом. При одностадийном дегидрировании протекают следующие последовательные реакции:



Вместе с бутадиеном -1,3 образуется большое количество н-бутенов, которые возвращают в процесс. Для того, чтобы увеличить содержание бутадиена -1,3 в продуктах реакции, необходимыми условиями процесса является вакуум и повышенная температура, но не выше 600 °С (температура разложения н-бутана и н-бутенов). Процесс осуществляют в цилиндрических горизонтальных реакторах диаметром 6 м и длиной 12-14 м, изготовленных из углеродистой стали и футерованных огнеупорным кирпичом, на алюмохромовом катализаторе (18-20 % оксида хрома, нанесенного на оксид алюминия), расположенном в реакторе на решетке слоем 0,9-1.2 м. Срок службы катализатора примерно 2 года. Катализатор должен обладать высокой и стабильной активностью, повышенной прочностью, легко регенерироваться. Процесс проводят циклически в батарее из нескольких реакторов. Вследствие того, что дегидрирование является процессом

эндотермическим, для восстановления потерь тепла выжигают кокс, отлагающийся на катализаторе. Однако фактически количество тепла необходимо больше, чем образуется в результате выжигания кокса. В результате чего, необходимо регулировать температуру сырья, температуру и количество воздуха, подаваемого на регенерацию катализатора. Выход бутадиена значительно зависит от времени цикла. При продолжительности дегидрирования 9 мин температура контактной массы понижается на 30° С, а при 5 мин – всего на 10-15° С. Поэтому чтобы увеличить выход бутадиена, процесс осуществляют маленькими циклами. Следовательно, перепад температуры уменьшается при увеличении продолжительности цикла, и процесс приближается к изотермическому. Продолжительность каждого цикла равна 5-10 мин. Полный цикл работы для батареи из шести реакторов составляет 20 мин и распределяется следующим образом: дегидрирование 8 мин, продувка системы воздухом 2 мин, регенерация катализатора 8 мин, продувка системы воздухом 2 мин.

Основные показатели одностадийного дегидрирования бутана: содержание бутадиена в контактном газе 11-13 %; селективность по бутадиену 50-60 % (в расчете на исходный бутан); степень конверсии н-бутана 9,9 %; выход кокса 2,8 % в расчете на сырье.

Достоинства одностадийного процесса - упрощение технологической схемы производства за счет отсутствия второй стадии дегидрирования, сокращение расхода водяного пара, осуществление регенерации катализатора с помощью воздуха, наличие адиабатического регенеративного цикла. Недостатки процесса - короткие циклы контактирования и регенерации, низкий выход бутадиена -1,3.

1.3.2. Двухстадийное дегидрирование н-бутана

При двухстадийном дегидрировании н-бутана в 1,3- бутадиен на первой стадии н-бутан дегидрируют в н-бутены, из выходящей из реактора газовой смеси выделяют смесь углеводородов C_4 и затем из нее

экстрактивной ректификацией выделяют н-бутены, а н-бутан возвращают на вход в реактор дегидрирования первой стадии.

На второй стадии н-бутены дегидрируют в 1,3 - бутадиен в стационарном слое катализатора с подачей перегретого водяного пара. Из образующейся газовой смеси выделяют смесь углеводородов C_4 с помощью абсорбции «тяжелым» растворителем и затем из указанной смеси экстрактивной ректификацией извлекают 1,3 - бутадиен, а н-бутены возвращают на вход в реактор второй стадии дегидрирования (рис. 1,а).

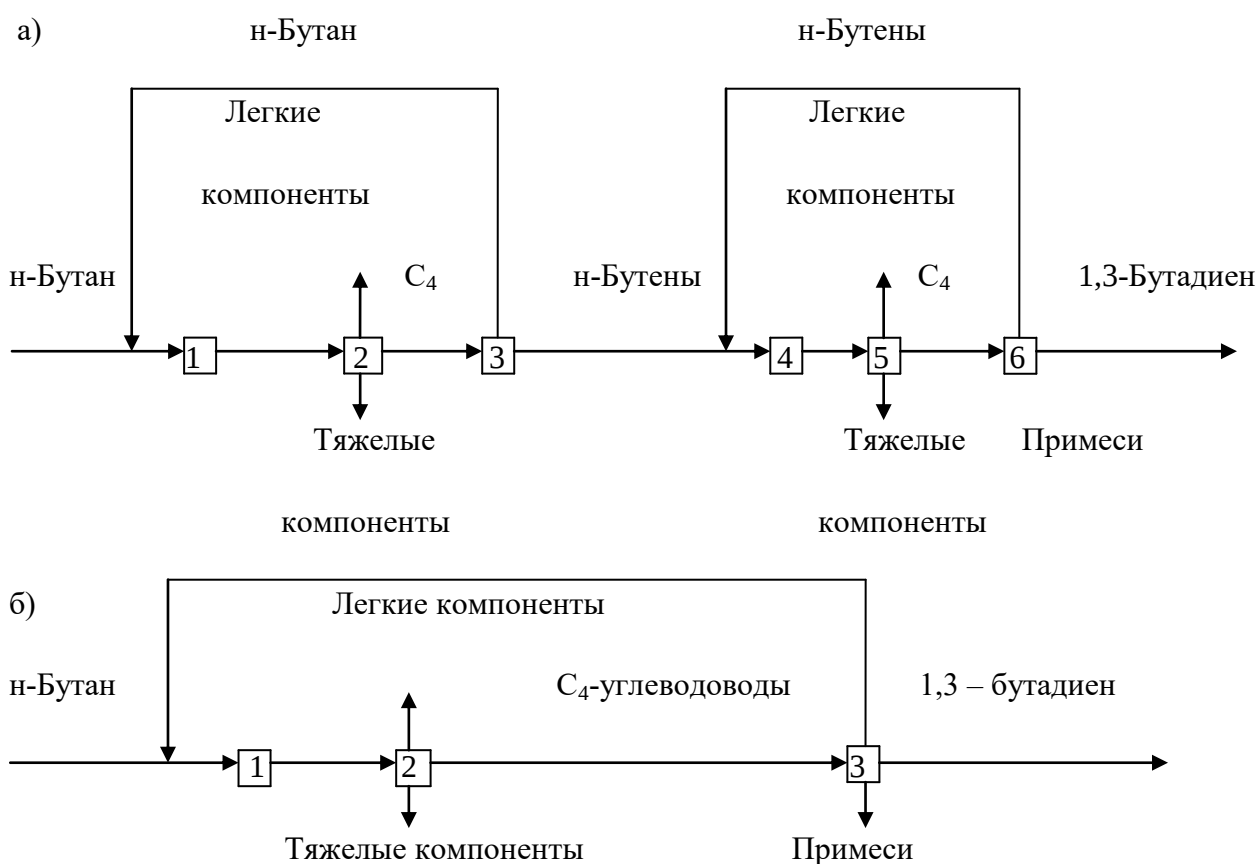


Рисунок 1 Блок-схема получения 1,3-бутадиена из н-бутана дегидрированием при двухстадийном (а) и одностадийном (б) дегидрировании:

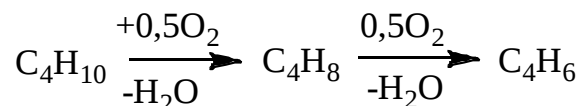
1 и 4 - дегидрирование первой и второй стадий; 2 и 5 - газоразделение первой и второй стадий; 3 и 6 - экстрактивная ректификация первой и второй стадий.

Недостатками двухстадийного дегидрирования является сложность технологии, его дорогая стоимость, в частности его вторая стадия.

1.3.3. Окислительное дегидрирование н-бутана

Различают окислительное дегидрирование кислородом (воздухом) на катализаторах и окислительное дегидрирование в присутствии галогенов.

При окислительном дегидрировании н-бутана воздухом выделяющийся водород связывается кислородом:



Добавление кислорода смещает равновесие реакции в сторону образования бутадиена. Эти реакции являются практически необратимыми, сопровождаются выделением тепла, что обуславливает их меньшую энергоемкость; протекают при более низких температурах и при более высоком давлении, причем выход целевого продукта выше, чем при прямом дегидрировании.

В качестве катализаторов окислительного дегидрирования н-бутана применяют оксиды и соли металлов переменной валентности IV, V и VI групп периодической системы. На выход бутенов и бутадиена положительно влияют инертные разбавители - вода, азот, оксид и диоксид углерода. Основные показатели окислительного дегидрирования н-бутана: температура 550-650 °С, мольное соотношение н-бутана, кислорода и водяного пара равно 1 : (1,4 / 1,8) : (5/10). Выход бутадиена составляет 30-40 % при 50-60 % - ной селективности.

Окислительное дегидрирование н-бутана можно проводить на установках с псевдоожиженным слоем катализатора.

1.4.Выделение бутадиена из пиролизных фракций C₄

В процессах дегидрирования н-бутана образуется контактный газ, который подвергают переработке с целью выделения бутадиена -1,3. Промышленная переработка контактного газа включает следующие стадии:

- компримирование и частичную конденсацию контактного газа;
- абсорбцию углеводородов C_4 и их выделение;
- отгонку углеводородов C_1 - C_3 из углеводородного конденсата;
- отгонку бутен-бутадиеновой фракции;
- абсорбцию бутадиена -1,3 растворителем;
- отгонку углеводородов из поглотительного раствора;
- десорбцию бутадиена – 1,3 из поглотительного раствора;
- очистку бутадиена -1,3.

На практике для выделения бутадиена -1,3 применяют в основном два метода: хемосорбцию растворами медных солей и экстрактивную ректификацию.

В первом случае хемосорбентом служит водно-аммиачный раствор ацетата меди, который с бутадиеном -1,3 образует медно-аммиачно-ацетатный комплекс. При нагревании этот комплекс разлагается с выделением бутадиена -1,3.

Бутадиен - ректификат, полученный хемосорбцией, имеет концентрацию 98,5-99 %.

Существенный недостаток метода хемосорбции - высокий расход активного угля на регенерацию поглотительного раствора. Приемлемых для промышленности методов восстановления активного угля для повторного использования пока не найдено.

Более перспективным является метод экстрактивной ректификации. В промышленности в качестве растворителей - экстрагентов применяют ацетонитрил, диметилформамид, диметилацетамид, N-метилпирролидон, фурфурол.

Для выделения бутадиена из фракции C_4 проводят одно- и двухступенчатую экстрактивную ректификацию.

В таблице 1 приведены расходы материалов и энергии на выделение бутадиена - 1,3 из фракций C_4 различными методами.

Таблица 1 - Расход материалов и энергии.

Процесс	Расход, %		
	Вспомогательные материалы	энергозатраты	всего
Хемосорбция	45,8	54,2	100,0
Одноступенчатая экстрактивная ректификация:			
с фурфуролом	2,7	59,0	61,7
с ацетонитрилом	2,3	47,5	49,8
Двухступенчатая экстрактивная ректификация:			
с ацетонитрилом	2,5	35,7	38,2
с диметилформамидом	5,1	27,7	42,8
с N- метилпирролидоном	6,0	33,2	39,2
с диметилацетамидом	4,7	37,2	41,9

Из приведенных данных можно сделать вывод, что наименее экономически выгодным является процесс хемосорбции, а наиболее рентабельны процессы двухступенчатой экстрактивной ректификации ацетонитрилом.

Таким образом, изучив все процессы получения бутадиена можно сделать вывод, что наиболее выгодным является процесс одностадийного дегидрирования бутана. Несмотря на невысокий выход бутадиена в результате данного процесса, одностадийное дегидрирование имеет ряд преимуществ: упрощенная технологическая схема, за счет отсутствия второй стадии процесса; уменьшение расхода водяного пара; а также регенерация катализатора.

1.5. Характеристика исходного сырья, продуктов и полупродуктов

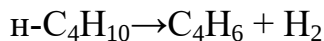
Таблица 2 – Характеристика исходного сырья, продуктов и полупродуктов [6].

Вещество	Физические свойства	Химическая формула	Молярная масса,(г\моль)	Т кипения, °С	Плотность, кг\м ³
н - бутан	бесцветный горючий газ, без запаха.	C ₄ H ₁₀	58	-1	2,48
Водород	бесцветный легкий газ. В смеси с воздухом горюч и взрывоопасен.	H ₂	1	-253	0,0899
Бутадиен	Газ с характерным неприятным запахом. Малорастворим в воде.	C ₄ H ₆	54	-4,41	640
Бутилен	Бесцветный газ с характерным запахом	C ₄ H ₈	56	-6,6	2,503
Метан	Бесцветный газ, без запаха. Малорастворим в воде, легче воздуха	CH ₄	16	-161	0,656
Этан	Бесцветный газ, без запаха и вкуса.	C ₂ H ₆	30	-88	1,342
Этилен	Бесцветный горючий газ со слабым запахом. Частично растворим в воде.	C ₂ H ₄	28	-103	1,18
Пропан	Бесцветный газ, без запаха. С воздухом образует взрывоопасные смеси.	C ₃ H ₈	44	-42	2,01
Пропилен	Горючий газ, оказывает наркотическое действие.	C ₃ H ₆	42	-47	1,81

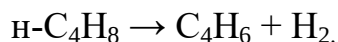
1.6. Физико-химические основы процесса

1.6.1. Химизм процесса

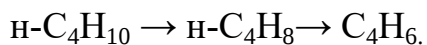
При дегидрировании бутан-бутиленовых смесей над алюмохромовым катализатором в вакууме скорость реакции



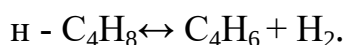
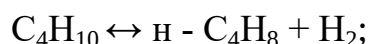
приблизительно в 25 раз меньше скорости реакции



Тем самым экспериментально подтверждено, что дивинил образуется в основном в результате последовательной реакции:



То есть, при одностадийном дегидрировании первой стадией является образование бутилена, при дальнейшем дегидрировании которого получается бутadiен. Следовательно, при одностадийном дегидрировании бутана протекают те же реакции, что и при двухстадийном:



В результате побочных реакций образуются: кокс, углеводороды C5 и выше, бутелены.

1.6.2. Выбор и обоснование условий процесса

Для получения достаточно высокой фактической степени конверсии реагентов при обратимых процессах гидрирования - дегидрирования необходимо выбрать условия, при которых достигается возможно более выгодное положение равновесия, зависящее от термодинамических факторов.

Реакции дегидрирования всегда являются эндотермическими и, следовательно, равновесие в сторону образования ненасыщенных углеводородов должно сдвигаться с повышением температуры. При дегидрировании ввиду отщепления водорода всегда происходит увеличение объема газов, и, следовательно, повышению степени конверсии благоприятствует низкое давление. Степень превращения углеводородов возрастает с повышением температуры и понижением давления. На практике при температурах выше 773-823 К даже в отсутствие катализаторов предельные углеводороды претерпевают реакции изомеризации, крекинга и др. Поэтому процесс дегидрирования бутана проводят при температурах до 923-973 К, т.е. при температурах более низких, чем термодинамические оптимальные.

Процесс дегидрирования происходит при $T = 863-898\text{ K}$, парциальном давлении 11,3-22,7 кПа. Полный рабочий цикл продолжается 21 мин 30 с, дегидрирование - 8 мин 15 с [1].

1.6.3. Катализаторы дегидрирования

Согласно анализу данных по равновесию реакций дегидрирования, экономически и технологически приемлемая глубина превращения углеводородов (40-50 %) при получении олефинов может быть достигнута при температурах 500-600 °С, а при получении диенов - в интервале 600-700 °С и давлении, близком к атмосферному или ниже, то есть в условиях, когда все побочные реакции протекают интенсивно.

Вследствие чего, промышленные катализаторы дегидрирования должны удовлетворять следующим требованиям:

- высокая селективность и активность при высоких температурах;
- хорошая регенерируемость, возможность многократной регенерации путем выжигания кокса;
- высокая термостабильность в окислительной и восстановительной средах.

Помимо этого, к катализаторам дегидрирования могут предъявляться и другие требования, в зависимости от условий эксплуатации. Например: высокая теплоемкость (если катализатор является одновременно теплоносителем), высокая механическая прочность (особенно при эксплуатации в движущемся или кипящем слое).

В 1920-х гг. в результате установления возможности получения олефинов данным методом, начались интенсивные исследования катализаторов дегидрирования. Изначально было предложено использовать гидрирующие катализаторы для процессов дегидрирования. Но металлические катализаторы на основе Ni, Pd, Pt, Fe, Co, Cu, а также хроматы кобальта и кадмия были в основном нестабильны и малоселективны. Наиболее эффективными оказались оксидные катализаторы.

В настоящее время, все известные нам катализаторы дегидрирования по химическому составу можно разделить на три основные группы: платиновые, металлооксидные и фосфатные.

По области применения катализаторы делятся на две группы:

- катализаторы дегидрирования олефиновых и алкилароматических углеводородов;
- катализаторы дегидрирования парафинов [2].

1. 6.3.1. Катализаторы дегидрирования парафинов

1. Металлооксидные катализаторы

Эффективными катализаторами дегидрирования низших парафинов (бутанов и пентанов) оказались оксиды металлов IV группы, способные к активированной адсорбции водорода при высоких температурах. На практике наибольшее применение получили катализаторы на основе оксида хрома. С 1940-х гг., в промышленности стали широко применяться алюмохромовые катализаторы, которые представляют собой оксид хрома, нанесенный на оксид алюминия в количестве 3-40%. Активность таких катализаторов зависит от вида и содержания оксида хрома, а также от способа приготовления.

Аморфный оксид хрома, содержащий некоторое количество соединений шестивалентного хрома, является наиболее активным в реакции дегидрирования. Однако аморфный оксид в чистом виде термически неустойчив и уже при 350-400 °С довольно быстро переходит в существенно менее активную кристаллическую форму $\alpha\text{-Cr}_2\text{O}_3$. Оксид алюминия резко замедляет процесс кристаллизации, а также стабилизирует хром в высшей степени окисления за счет образования хроматов алюминия. С другой стороны, кислотные центры оксида алюминия способствуют протеканию реакций крекинга и изомеризации, что приводит к снижению селективности процесса. Таким образом, оксид алюминия, выступающий в качестве носителя, определяет не только механические и физические свойства катализатора (прочность, удельная поверхность и т.д.), но и каталитические.

Для повышения активности, селективности и стабильности в катализатор вводят оксиды щелочных или щелочноземельных металлов, церия, тория, марганца, бериллия, цинка, серебра и других элементов. Наибольшее распространение в промышленных катализаторах получили калий, натрий и бериллий. Подавление кислотных центров достигается введением в катализатор щелочных металлов. Предполагается, что калий также способствует дополнительной стабилизации структуры хрома, образуя в окислительной среде хромат калия, а в восстановительной – алюминат калия.

Существует три способа приготовления алюмохромовых катализаторов:

- пропитка гранул оксида алюминия растворами соединений хрома;
- соосаждение гидроксидов хрома и алюминия аммиаком из растворов солей;
- смешение высокодисперсных кристаллических оксидов хрома и алюминия.

Завершающей стадией всех способов получения катализатора является термообработка.

Наиболее распространенным стал метод пропитки, который используется для приготовления практически всех промышленных алюмохромовых катализаторов.

Основными преимуществами метода является простота и возможность получения катализаторов с достаточной активностью и высокой термостабильностью.

Срок службы алюмохромовых катализаторов определяется их термостабильностью и механической прочностью. Опыт промышленной эксплуатации таких катализаторов показывает, что обычно причиной выхода их из строя является механическое разрушение.

Катализаторы на основе оксида алюминия неустойчивы к действию влаги и не могут эксплуатироваться в среде водяного пара, вводимого в

процесс для снижения парциального давления реагентов и повышения активности и селективности. Алюмохромовые катализаторы применяются для дегидрирования н-бутана в бутилены, а также в одностадийном процессе вакуумного дегидрирования бутана в дивинил [2].

Характеристика промышленных алюмохромовых катализаторов представлена в таблице 3.

Таблица 3 – Характеристика промышленных алюмохромовых катализаторов [2].

Показатели	Катализатор			
	Филипс	Гудри	№ 6448	ИМ-2201
Состав, масс. %	Cr ₂ O ₃ – 20 BeO – 5-10 Al ₂ O ₃ – 70-75	Cr ₂ O ₃ – 18 Na ₂ O – 0,4 Al ₂ O ₃ – 81,6	Cr ₂ O ₃ – 8 K ₂ O – 2 Al ₂ O ₃ – 90	-
Способ приготовления	Тонкое измельчение компонентов, таблетирование	Пропитка оксида алюминия хромовой кислотой	Пропитка оксида алюминия хромовой кислотой и бихроматом калия	Формирование распылением суспензии с последующим прокаливанием
Условия эксплуатации: Тип реактора	Трубчатый с неподвижным слоем	Полый с неподвижным слоем	С циркулирующим шариковым катализатором	Взвешенный слой микросферического катализатора
Температура, °C: реакции регенерации	560-580 600-650	530-630 600-700	560-590 600-650	570-590 640-650
Продолжительность, ч: реакции регенерации объемная скорость, ч ⁻¹	1 1 400-600	0,12-0,25 0,12-0,25 700-720	1 1 600	0,2-0,5 0,2-0,5 200-250
Выход бутиленов, масс. %	30	-	22	31
Селективность, масс. %	80	70-85	74	85
Срок службы, ч	4000	2 года	300-400	>4000

2. Платиновые катализаторы

Монометаллические платиновые катализаторы процессов переработки углеводородов (риформинга, изомеризации) обладают длительным реакционным циклом только при значительном парциальном давлении водорода, что в случае дегидрирования парафинов в олефины недопустимо

по условиям термодинамического равновесия. Применение платиновых катализаторов в реакции дегидрирования парафинов стало возможным после создания полиметаллических катализаторов риформинга, отличающихся повышенной стабильностью и селективностью в жестких условиях эксплуатации (при высоких температурах и пониженном парциальном давлении водорода).

Первый платиновый катализатор дегидрирования был разработан фирмой “UOP” в конце 1960-х гг. для процесса получения высших олефинов C_{10} - C_{13} из соответствующих парафинов. В 1980-х гг. появились сообщения о возможности применения данных катализаторов в процессах дегидрирования парафинов C_3 - C_5 , отличающихся более жесткими условиями протекания по сравнению с дегидрированием высших парафинов.

Платиновые катализаторы дегидрирования представляют собой высокодисперсные многокомпонентные системы, нанесенные на термостойкий оксидный носитель с развитой удельной поверхностью (как правило, оксид алюминия). Содержание платины в катализаторах составляет не более 1 масс. %.

Состав платиновых катализаторов определяется механизмом превращения парафинов на бифункциональных системах. Побочные реакции катализируются как кислотными центрами носителя (крекинг, изомеризации), так и металлическими активными центрами (гидрогенолиз, глубокое дегидрирование), что определяет необходимость двойного модифицирования: отравления кислотных центров носителя и селективного подавления металлических центров, обладающих повышенной активностью. В соответствии с механизмом промотирующего действия все предложенные промоторы катализаторов дегидрирования можно условно разбить на две основные группы (табл.4).

Таблица 4 Действие промоторов на алюмоплатиновый катализатор дегидрирования [2].

Промотор	Направление действия	Наблюдаемое изменение свойств	Положительный эффект в процессе дегидрирования парафинов
Щелочные и щелочноземельные элементы	Носитель	Подавление скелетной изомеризации, коксообразования и крекинга.	Повышение селективности и стабильности.
Элементы подгрупп меди, цинка, германия, фосфора, серы, галлия.	Платина	Подавление гидрогенолиза, предотвращение отложения кокса на платине.	Повышение активности, селективности, существенный рост стабильности.

Действие промоторов второй группы, как правило, связано с электронным модифицированием платины с целью повышения степени энергетической однородности ее поверхности и подавления наиболее сильных центров адсорбции ненасыщенных углеводородов. Результатом такого модифицирования является рост удельной активности катализатора, а также предотвращение закоксовывания платины вследствие изменения локализации кокса в системе металл-носитель. Последний фактор в значительной степени обуславливает возможность работы катализатора в жестких условиях при высоком уровне коксообразования на катализаторе в целом.

Технология приготовления платиновых катализаторов дегидрирования практически не отличается от технологии производства катализаторов риформинга и заключается в нанесении платины и промоторов на алюмооксидный носитель методом пропитки его водными растворами соединений платины и промоторов с последующей сушкой и прокаливанием катализатора. Часть промоторов может быть введена также на стадии получения носителя, например, добавление хлорида олова к гидрозолю оксида алюминия.

Полиметаллические алюмоплатиновые катализаторы эксплуатируются в процессах дегидрирования парафинов в среде водорода в реакторах со стационарным или медленно движущимся слоем. Продолжительность рабочего цикла в зависимости от вида сырья и условий эксплуатации составляет 3-10 суток в случае легких парафинов и более 45

суток в случае высших парафинов. Важнейшим преимуществом платиновых катализаторов по сравнению с алюмохромовыми является их высокая селективность и производительность. Основной причиной дезактивации платиновых катализаторов в процессе реакции является отложение кокса [2].

Таким образом, можно сделать вывод, что наиболее выгодно и рационально будет использовать алюмохромовый катализатор. Несмотря на наиболее высокую селективность и производительность алюмоплатинового катализатора, алюмохромовый катализатор является наиболее выгодным в экономическом плане, отличающийся долгим сроком службы и более низкой ценой.

1.7. Области применения бутадиена

Бутадиен применяют для получения синтетических каучуков. Бутадиеновые каучуки-продукт полимеризации бутадиена.

Сополимеризацией бутадиена с акрилонитрилом и стиролом получают АБС – пластик [12].

АБС – пластик – это ударопрочная техническая термопластическая смола. АБС –пластик используется как один из самых практичных материалов для 3D –печати, так же используется для изготовления крупных деталей автомобилей, корпусов крупной бытовой техники, промышленных аккумуляторов, мебели, чемоданов, игрушек и т.д [12].

Основные направления использования дивинила изображены на рисунок 2

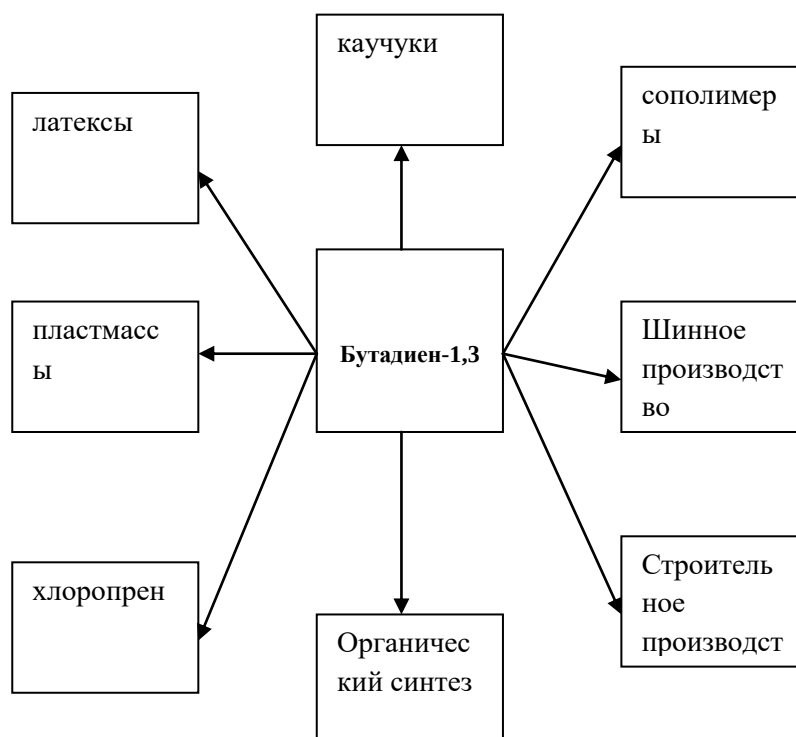


Рисунок 2 – Направления использования бутадиена – 1,3.

1.8. Типы реакторов, которые могут быть использованы

1. Реактор с кипящим слоем мелкозернистого катализатора

Реактор для дегидрирования углеводородов с кипящим слоем мелкозернистого катализатора представляет собой вертикальный цилиндрический аппарат. Данный реактор имеет секционирующие решетки с одинаковым свободным сечением. Это приводит к увеличению скорости газа в отверстиях решеток в связи с тем, что реакция дегидрирования протекает с увеличением объема, а температура кипящего слоя реактора увеличивается от нижней решетки до верхней. При этом только верхняя решетка имеет максимальную скорость газа и работает в режиме, близком к предпочтительному режиму захлебывания, при противоточном движении газа и катализатора. Остальные решетки, имеют пониженные скорости газа, которые являются неэффективными, вследствие повышенного обратного перемешивания катализатора и газа и ухудшения массообмена на этих решетках.

Недостатками данного реактора являются используемые решетки дырчатого типа. Данный недостаток, связан с тем, что при опорожнении реактора на решетках остается большое количество катализатора в

пространстве между отверстиями. Также неравномерное распределение катализатора по секциям реактора [11].

2. Реактор с движущимся крупнозернистым катализатором

Движение крупнозернистого катализатора в слое реактора, а также между реактором и регенератором обеспечивается механическими транспортерами.

Недостатком данного реактора является сложность конструкции и невозможность создания реакторов большей производительности в связи с трудностями организации движения катализатора в системе реактор – регенератор. Еще одним существенным недостатком данного реактора является катализаторная пыль, которая образуется в результате движения и истирания катализатора. Катализаторная пыль выходит из реакторной системы с отходящими газами, что приводит к загрязнению окружающей среды пылевидными отходами катализатора [11].

3. Реактор радиального типа

Реактор радиального типа может быть использован для процессов дегидрирования. И реактор состоит из цилиндрического корпуса, коаксиально установленной кольцевой корзины с катализатором.

Недостатком данного реактора является неравномерное распределение потока реакционной смеси по объему катализатора.

Но для повышения эффективности процесса за счет равномерного распределения потока, необходимо выдерживать соотношение внутреннего и внешних цилиндров 0,68:1, расстояние между цилиндрами составляет 0,08 [10].

4. Адиабатический реактор

Реакторы со сплошным слоем катализатора (адиабатические) широко используются в нефтехимических производствах.

Конструктивно адиабатические реакторы выполняются в виде цилиндрической шахты большей или меньшей высоты. Иногда используют корпус сферической формы, при которой требуется меньше металла на

изготовление реактора. Катализатор укладывается на решетку и слой инертной насадки, препятствующий его просыпанию сквозь решетку.

Важное значение для работы адиабатических реакторов имеет входное распределительное устройство, задачей которого является равномерное распределение газового потока по сечению реактора. Несовершенство этого устройства приводит к неравномерной работе слоя катализатора как по диаметру, так и по высоте, и к ухудшению показателей процесса.

Адиабатические реакторы работают в таких условиях, когда теплообмен с внешней средой практически исключен. Данное условие достигается за счет хорошей теплоизоляции внешней поверхности реактора. При протекании реакций в адиабатических условиях изменяется температура в реакторе и, следовательно, меняется скорость реакции.

Эндотермические реакции в адиабатических условиях проводить невыгодно ввиду того, что уменьшение скорости реакции приводит к значительному увеличению времени пребывания компонентов в реакторе.

Достоинства реактора: полнота использования объема реактора; простота конструкции и удобство в эксплуатации; небольшой удельный расход металла.

К недостаткам таких реакторов относятся: ограниченность применения только такими процессами, для которых адиабатический перепад температуры не слишком велик и не выводит процесс в область недопустимо низких или высоких температур; невозможность осуществления оптимального или близкого к нему температурного профиля по высоте слоя катализатора; трудности осуществления равномерного распределения подачи газа на слой катализатора и однородной работы слоя по сечению, возрастающее по мере увеличения диаметра аппарата [5].

5. Реактор риформинга

Реактор риформинга с радиальным движением представляет собой цилиндрический корпус, выполненный с эллиптическими днищами и изолированный изнутри.

По оси аппарата установлен сборник вывода продуктов реакции. Сырье вводится сверху, пройдя в радиальном направлении через слой катализатора, выводится через штуцер внизу аппарата.

К недостаткам данного реактора относятся: сложность системы армирования, отсутствие возможности проводить периодический осмотр внутренней поверхности, отсутствие надежных способов контроля качества футеровки.

К преимуществам относятся: большой (по сравнению с футерованными) реакционный объем; пониженные эксплуатационные расходы; отсутствие работ, связанных с ремонтом футеровки и ее защитного кожуха; возможность проведения внутреннего осмотра корпуса реактора перед гидравлическим испытанием; возможность проводить гидроиспытание водой и т.д. [9].

6. Трубчатый реактор

Конструктивно трубчатые реакторы выполняются подобно трубчатым теплообменникам. Катализатор чаще всего загружается в трубки, а через межтрубчатое пространство пропускается теплоноситель. Для улучшения теплоотдачи в межтрубном пространстве с помощью перегородок создается поперечное по отношению к трубкам движение теплоносителя.

Достоинства трубчатых реакторов при использовании их в гетерогенно-каталитических процессах: режим течения потока близок к полному вытеснению, что обеспечивает глубокое превращение сырья и высокую селективность; развитая поверхность теплообмена; высокие значения коэффициента теплоотдачи от катализаторного пространства к стенкам трубок.

Недостатки трубчатых реакторов, ограничивающие область их применения: невысокая доля полезного объема от общего объема

катализатора; большой расход металла на трубки; сложность загрузки катализатора в реактор и выгрузки; недостаточная, в ряде случаев, интенсивность теплообмена.

Исходя из изученного материала, выбираем реактор риформинга. Данный реактор обладает рядом весомых преимуществ связанных с низкими эксплуатационными расходами и отсутствия дополнительных работ [5].

1.9. Выбор технологической схемы

Для одностадийного процесса применяют алюмохромовые катализаторы с содержанием оксида хрома 18-20%. Водяной пар для снижения парциального давления не используется, процесс проводится под вакуумом.

Технологический процесс одностадийного дегидрирования бутана в бутадиен состоит из следующих стадий (рисунок 3): дегидрирование бутан-бутеновой фракции; выделение фракции C_4 из контактного газа методом абсорбции и ректификации; разделение фракции C_4 на бутадиен и бутан-бутеновую фракцию [3].

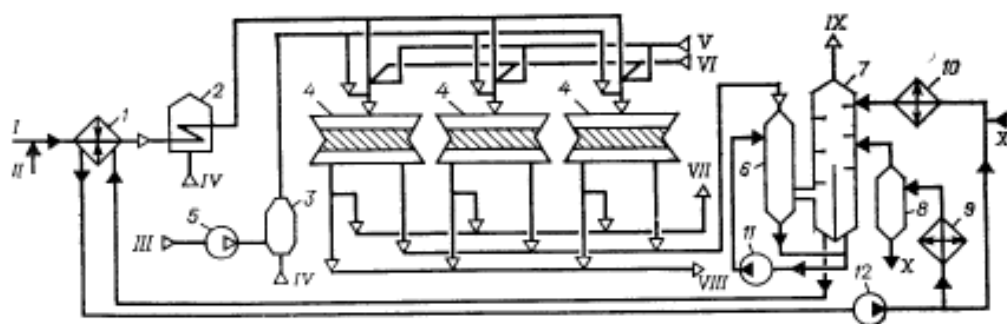


Рисунок 3 - Схема одностадийного дегидрирования бутана в бутадиен:

1 – испаритель, 2 – трубчатая печь, 3 – топка, 4 – реакторы, 5 – воздухоподувка, 6,7 – скрубберы, 8 – емкость, 9 – подогреватель масла, 10 – холодильник, 11,12 – насосы.

I – свежий бутан, II – возвратный бутан, III – воздух, IV – топливный газ, V – абгаз, VI – водяной пар, VII – линия вакуума, VIII – в котел-утилизатор, IX – к турбовакуум-компрессору, X – отработанное охлаждающее масло, XI – свежее охлаждающее масло.

Смесь бутана и возвратной бутан-бутеновой фракции (рисунок) - испаряется в испарителе 1 и при 313 К поступает в трубчатую печь 2. Перегретые пары сырья направляют в реактор 4, где при 863-898 К и остаточном давлении 11,3 - 22,7 кПа происходит процесс дегидрирования. Реактор представляет собой горизонтальный цилиндрический аппарат диаметром 6 м и длиной 12 м. полный рабочий цикл продолжается 21 мин. 30с. , дегидрирование - 8 мин. 15 с. Продувка паром, опорожнение реактора - 2 мин. 35 с. Из реакторного блока контактный газ подают в орошаемый охлаждающим маслом скруббер 6, в котором его охлаждают до 328 К, и затем в блок выделения бутадиена. Конверсия бутана в одностадийном процессе составляет ~ 20 %, а выход бутадиена 50-55 % на превращенное сырье [4].

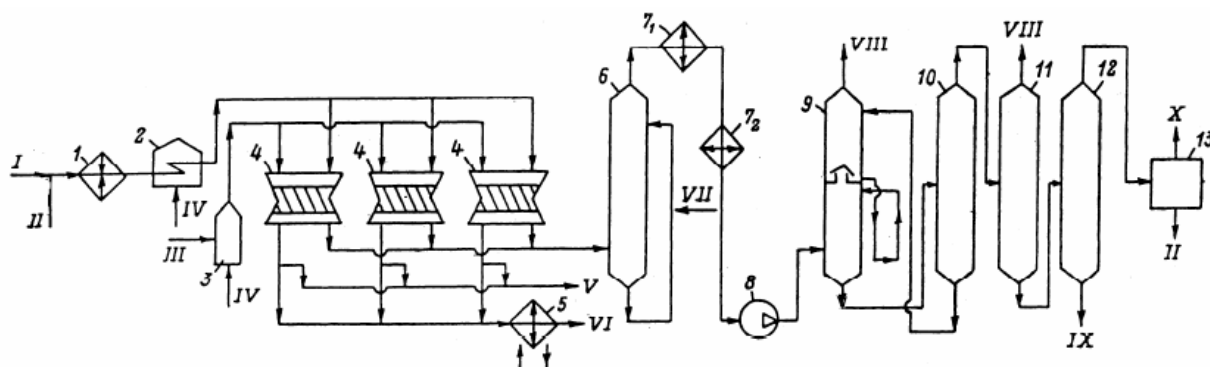


Рисунок 4 - Схема одностадийного дегидрирования бутана.

1 – испаритель; 2 – трубчатая печь; 3- топка; 4 – реакторы; 5 – котел-утилизатор; 6 – скруббер; 7 – холодильник; 8 – турбокомпрессор; 9- абсорбер; 10 – десорбер; 11,12 – ректификационные колонны; 13 – узел экстрактивной ректификации.

Потоки: I – свежий бутан; II- возвратная бутан-бутиленовая фракция; III – воздух; IV – топливный газ; V – линия вакуума; VI – сброс в атмосферу; VII – отдувки в топливную сеть; VIII – углеводороды C_3 на сжигание; IX – фракция C_4-C_{12} ; X – бутадиен.

Жидкий свежий бутан, смешанный с возвратными бутан-бутиленами, насосом подается на испарение. Пары подогреваются в перегревателе бутана 1 до температуры $600^{\circ}C$ и поступают в реакторы на дегидрирование. Контакт сырья с катализатором, помещенным в реакторе, длится около 8 мин при температуре $560-590^{\circ}C$ и разрежении 630 мм рт.ст., после чего аппарат продувается водяным паром и переключается на регенерацию.

Реакционный газ на выходе из реактора подвергается быстрому охлаждению до 45°C в охладителе 6, орошаемом маслом, и направляется в систему разделения. В результате первичного разделения получают фракцию C_4 с содержанием около 12 % бутадиена. Эта фракция после бутадиена возвращается на дегидрирование.

Таким образом из представленных ранее технологических схем, выбираем первую схему одностадийного дегидрирования н-бутана. Данный выбор основан на простоте и наименьшем количестве аппаратов [8].

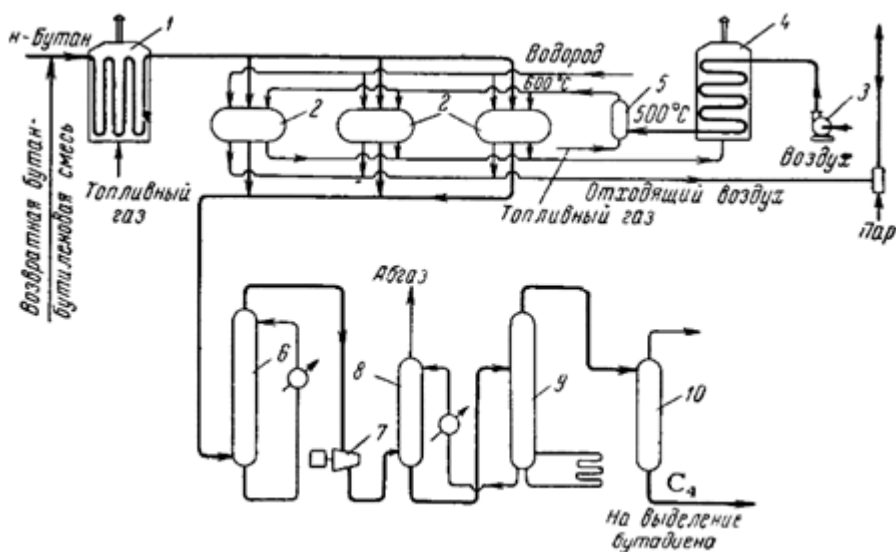


Рисунок 5 - Схема одностадийного дегидрирования н-бутана.

1 - перегреватель н-бутана; 2 - реакторы; 3 - воздуходувка; 4 - подогреватель; 5 - перегреватель; 6 - башенный охладитель; 7 - компрессор; 8 - абсорбер; 9 - десорбер; 10 - отгонная колонна.

3 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективности и ресурсосбережение

Оценить перспективность научного исследования на основе масштаба открытия достаточно трудно, нежели чем определить данную перспективу на основании коммерческой ценности разработки.

Производство бутадиена является привлекательным проектом. На настоящий момент бутадиен является востребованным продуктом на рынке, а технологии производства отвечают современным требованиям.

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

1.1. Потенциальные потребители бутадиена

Бутадиен - один из крупнотоннажных продуктов химической промышленности.

Органический синтез на основе бутадиена получил за последние десятилетия очень большое промышленное развитие.

Главное практическое применение получили следующие процессы:

1) Процесс полимеризации бутадиена, с целью получения синтетических каучуков.

2) Процесс сополимеризации бутадиена с акрилонитрилом и стиролом, для получения АБС – пластика.

На мировом рынке, производственные мощности АБС - пластика достигли 8млн.тонн.

Также бутадиен используют для получения полибутадиена, термоэластопласты, янтарной кислоты и т.д.

Синтетический каучук – применяется для производства резин для автомобильных, авиационных и велосипедных шин.

АБС - пластик - используется для изготовления крупных деталей автомобилей, мебели, игрушек, чемоданов, деталей медицинского оборудования, корпусов крупной бытовой техники и т.д.

Термоэластопласты – применяются в автомобильной промышленности в качестве уплотнителей дверей и окон, ремней, прокладки, трубки и т.д. Так же применяются в обувной промышленности в качестве подошвы, фиксаторов, каблуков и т.д.

К отраслям, в которых используется бутадиен, относятся автомобильная, пищевая, приборостроительная, обувная и нефтехимическая промышленности. Ассортимент продукции на основе бутадиена разнообразен и зависит от области применения того или иного продукта.

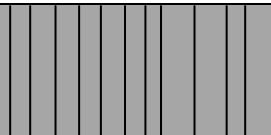
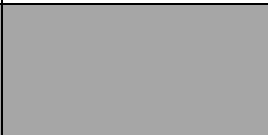
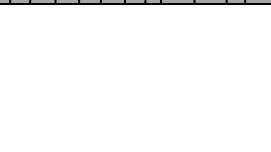
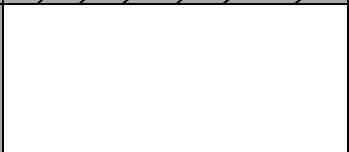
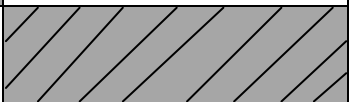
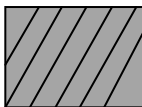
		Вид производимой продукции		
		Синтетический каучук	АБС - пластик	Термоэластопласты
Промышленность	автомобильная			
	пищевая			
	обувная			

Рисунок 8- Карта сегментирования рынка производства бутадиена.

	ОАО «ТрастПолимер» Г.Нижний Новгород		«Сибур» г.Красноярск		«ПолимПартнер» г.Минск
---	---	---	-------------------------	---	---------------------------

1.2. Анализ конкурентных технических решений.

Проведем анализ трех конкурирующих компаний по производству бутадиена с помощью оценочной карты, приведенной в таблице 2.

Таблица 10 – 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 бутадиена (Массовая доля бутадиена)	0,6	5	5	5	3	3	3
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,05	5	5	5	0,25	0,25	0,25
3. Надежность	0,03	5	5	5	0,15	0,15	0,15
4. Энергоэкономичность	0,02	4	5	4	0,08	0,1	0,08
5. Безопасность	0,02	5	5	5	0,1	0,1	0,1
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Конкурентоспособность продукта	0,04	4	5	5	0,16	0,2	0,2
2. Уровень проникновения на рынок	0,03	5	5	5	0,15	0,15	0,15
3. Цена	0,05	5	4	4	0,25	0,2	0,2
4. Предполагаемый срок эксплуатации	0,07	5	5	5	0,35	0,35	0,35
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				4,92	4,95	4,93

где B_{ϕ} – проектируемое предприятие, B_{K1} – ОАО «Нижнекамскнефтехим» (Нижнекамск) и B_{K2} – ОАО «Сибур-Нефтехим» (г. Тобольск).

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot B_i$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

B_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя.

Таким образом, конкурентоспособность продукта можно оценить по экономическим критериям эффективности.

1.3.SWOT – анализ

Проведем SWOT – анализ который представляет собой, комплексный анализ научно – исследовательского проекта. Для этого проведем исследования внешней и внутренней среды проекта.

Таблица 11 – Анализ факторов макросреды (факторы внешней среды дальнего действия)

Группа факторов	Факторы	Характер влияния на организацию «+», «-»	Действия организации
Экономические	1.Снижение покупательской способности потребителя 2.Рост инфляции 3. Увеличение эффективной ставки налогов	«-» снижение выручки от продаж	Наработка конкурентного преимущества
		«-» снижение покупательской способности потребителя	
		«-» уменьшение чистой прибыли	Применение упрощенной системы налогов
Научно-технические	1. Появление новых технологий	«+» увеличение прибыли (повышение стоимости продуктов предприятия)	Внедрение новых оборудования с целью увеличения конкурентных способностей продукта
		«-» уменьшение прибыли в случае внедрения НТП конкурентами	Внедрение новых оборудования с целью увеличения конкурентных способностей продукта
Социо-культурные	1.Повышение уровня образования	«+» появление на рынке труда квалифицированных кадров	Прием на работу высококвалифицированных сотрудников.
		«-» проблема старения кадров	Обучение кадров

Таблица 12 – Анализ факторов микроокружения

Группа факторов	Факторы	Характер влияния на организацию «+», «-»	Действия Организации
Потребители	Увеличение покупательской способности	«+» возможность увеличение объема продуктов производства, увеличение прибыли	Усовершенствование производства и технологий.
	Уменьшение покупательской способности	«-» уменьшение объема продуктов производства, уменьшение прибыли	Поиск путей привлечения потребителей.
Поставщики	Увеличение стоимости сырья.	«-» сбой поставок «-» увеличение цены готового продукта	Поиск новых поставщиков.
	Несоблюдение сроков поставки и ассортимента.	«-» сбой работы предприятия	Введение пункта системы штрафов в договор за несоблюдение условий и сроков поставки. Поиск новых поставщиков.
	Наличие скидок, в зависимости от объема партии сырья.	«+» снижения себестоимости готового продукта, увеличение прибыли от продаж	Разработка программы по продвижению продукта. Увеличение стоимости предприятия.
Конкуренты	Увеличение числа и мощности фирм, конкурирующих на рынке	«-» снижение прибыли	Разработка эффективной программы по продвижению продукта предприятия. Поддержание постоянства рыночной деятельности.
	Наличие высоких барьеров проникновения	«+» снижение конкуренции, возможность отсутствия конкурентов	Создание высоких барьеров проникновения для возможных конкурентов.

Проведем анализ внутренней среды предприятия по следующим направлениям: маркетинг, финансы, кадры, производство, организация.

Таблица 13 – Анализ внутренней среды предприятия

Факторы среды	Сильные стороны	Слабые стороны
Маркетинг	1.Наличие эффективной стратегии продвижения продукта на рынок 2.Наличие стратегии ценообразования	1. Наличие неэффективных путей распределения готового продукта
Финансы	1.Обеспечение прибыли 2.Высокий уровень ликвидности 3. Разработка инвестиционных возможностей	1. Низкий уровень ликвидности
Кадры	1.Наличие эффективной системы мотивации и стимулирования сотрудников 2.Высокой уровень квалификации сотрудников 3.Обучение и продвижение кадров	1. Возможность текучести кадров 2.Отсутствие эффективной системы мотивации и стимулирования сотрудников
Производство	1.Наличие современного оборудования 2.Наличие усовершенствованных технологий 3.Проведение научно-технических исследований и разработок	1. Длительный срок поставки материалов используемых в производстве. 2.Отсутствие современного оборудования
Организационная культура	1.Наличие организационной структуры	2. Отсутствие организационной структуры

Таблица 14 – Матрица SWOT

	Сильные стороны: С1. Заявленная экономичность и энергоэффективность технологии синтеза на основе бутадиена С2. Экологичность технологии синтеза на основе бутадиена С3. Более низкая стоимость производства по сравнению с другими технологиями. Наличие бюджетного финансирования С5. Квалифицированные сотрудники .	Слабые стороны: Сл1. Отсутствие достаточного финансирования. Сл2. Развитая конкуренция технологий производства. Сл3. Отсутствие спроса на новую технологию производства.
Возможности: В1. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ В2. Использование инфраструктуры Тобольск-НефтеХим г.Тобольск В3. Появление дополнительного спроса на продукты В4. Снижение таможенных пошлин на исходное сырье: бензол, водород. В5. Повышение стоимости конкурентных разработок	Выход бутадиена на рынок, будет способствовать развитию разработки, что увеличит спрос на продукцию.	Использование инфраструктуры заводов Тобольска Тобольск - Нефтехим позволят создать прототип научной разработки, а так же обеспечит возможность построения производства.
Угрозы: У1. Отсутствие спроса на новые технологии У2. Развитая конкуренция технологий производства У3. Введение дополнительных требований к сертификации продукции	1.Разработка программы для продвижения проекта. 2.Изучение конкурентов и создание конкурентных стратегий. 3.Сертификация продукции	1.Разработка программы для продвижения проекта. 2.Приобретение необходимого оборудования. 3.Изучение конкурентов и создание конкурентных стратегий. 4.Сертификация продукции.

2. Планирование научно-исследовательских работ

2.1. Структура работ в рамках научного исследования

Для получения бутадиена на производстве формируется рабочая группа, в состав которой входят руководитель проекта и инженер (дипломник).

Составим перечень этапов и работ в рамках проведения научного исследования. Порядок составления работ и этапов, распределение исполнителей по видам работ приведены в таблице 7.

Таблица 15 - Перечень этапов, работ и распределение исполнителей.

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель
Выбор направления исследований	2	Выбор направления исследований	Руководитель, бакалавр
	3	Обзор современных методов исследований по выбранному направлению	Руководитель, бакалавр
	4	Календарное планирование работ по теме	Руководитель, бакалавр
Теоретическое обоснование и проведение экспериментальных исследований	5	Теоретическое обоснование и выбор экспериментальных методов исследований	Руководитель, бакалавр
	6	Построение моделей и проведение экспериментов	Руководитель, бакалавр
	7	Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими исследованиями	Руководитель, бакалавр
Обобщение полученных результатов, выводы по проделанной работе	8	Оценка эффективности провед. исследований	Руководитель, бакалавр
	9	Определение целесообразности проведения ОК	Руководитель, бакалавр
Разработка технической документации и проектирование	10	Разработка принципиальной схемы	Руководитель, бакалавр
	11	Расчет конструкции оборудования	Руководитель, бакалавр
	12	Оценка эффективности производства и применения проектируемого оборудования	Руководитель, бакалавр
Оформление отчета по НИР	13	Составление пояснительной записки	Руководитель, бакалавр
	14	Сдача работы на рецензию	Бакалавр
	15	Предзащита	Руководитель, бакалавр
	16	Подготовка к защите дипломной работы	Бакалавр
	17	Защита дипломной работы	Руководитель, бакалавр

2.2. Определение трудоемкости выполнения работ

Трудоемкость проектирования узла синтеза бутадиена 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:

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

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

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

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

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, 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.

Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой:

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

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:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{366}{366 - 119 - 8} = 1,53,$$

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

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

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

Рассчитанные значения T_{ki} в календарных днях по каждой работе необходимо округлить до целого числа.

Все рассчитанные значения необходимо свести в таблицу 16.

Таблица 16 – 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 технологических 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 реактору 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 17 – Календарный план-график проведения НИОКР по теме

№ 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	10																
2	Работа с литературой	Бакалавр	30																
3	Выполнение технологических расчетов для проектируемого процесса и его оформление	Руководитель, Бакалавр	50																
4	Выполнение чертежа технологической схемы проектируемого процесса	Руководитель, Бакалавр	47																
5	Выполнение чертежа общего вида реактора и его основных узлов	Руководитель, Бакалавр	46																
6	Выполнение спецификации к технологической схеме, к реактору и его узлам	Бакалавр	38																
7	Оформление пояснительной записки проекта	Бакалавр	26																



- руководитель



- бакалавр

3. Бюджет выпускной квалификационной работы (ВКР)

3.1. Расчет материальных затрат ВКР

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$З_m = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m Ц_i \cdot N_{расхi},$$

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

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

$Ц_i$ – 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. Примем $k_T = 0,2$.

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 (с учетом амортизации), ($З_m$), руб.		
		Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
Бутановая фракция	кг/ч	24601,6	22000	23000	16,4	15	16	403466,2	330000	368000
Алюминий - хром	м ³	903,9	600	700	6,7	6,5	6,2	6053,13	3900	4340
Итого:								409519,33	333900	372340

3.2. Расчет затрат на специальное оборудование для проектирования узла дегидрирования н-бутана

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 19.

Таблица 19 – Расчет бюджета затрат на приобретение спецоборудования (цены, включая НДС)

№ 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.	Реактор	2	3	4	250000	240000	260000	500000	720000	1040000
2.	Испаритель	1	1	1	16000	14000	15000	16000	14000	15000
3.	Трубчатая печь	1	1	1	11000	10000	12000	11000	10000	12000
4.	Топка	1	1	1	20000	18000	16000	20000	18000	16000
5.	Воздуходувка	1	1	1	19000	18000	17000	19000	18000	17000
6.	Скруббер	1	2	2	65000	70000	85000	65000	140000	170000
7.	Подогреватель масла	1	1	1	14000	18000	13000	14000	18000	13000
8.	Холодильник	1	1	1	10000	12000	14000	10000	12000	14000
9.	насос	1	2	1	18000	19000	20000	18000	38000	19000
Итого:								672000	970000	1316000

3.3. Основная заработная плата исполнителей темы

В данный раздел 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 20.

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:

$$З_{\text{дн}} = \frac{З_{\text{м}} \cdot М}{F_{\text{д}}},$$

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

$М$ – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

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

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

Таблица 20 – 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			2,8	5	2,2	604,43	632,57	547	1692,4	3162,9	1203,4
2.	Работа с литературой			Бакалавр			10,5	15	4,5	300,85	264,35	268,8	3158,9	3965,3	1209,6
3.	Выполнение технологических расчетов для проектируемого процесса и его оформление			Руководитель			25	14	11	604,43	632,57	547	15110,8	8855,9	6017
				Бакалавр						300,85	264,35	268,8	7521,3	3700,9	2956,8
4.	Выполнение чертежа технологической схемы проектируемого процесса			Руководитель			12,6	20,4	14	604,43	632,57	547	7615,8	12904,4	7658
				Бакалавр						300,85	264,35	268,8	3790,7	5392,7	3763,2
5.	Выполнение чертежа общего вида реактора и его основных узлов			Руководитель			16	13,8	16,2	604,43	632,57	547	9670,9	8729,5	8861,4
				Бакалавр						300,85	264,35	268,8	4813,6	3648	4354,6
6.	Выполнение спецификации к технологической схеме, к реактору и его узлам			Бакалавр			18	11	9	300,85	264,35	268,8	5415,3	2907,9	2419,2
7.	Оформление пояснительной записки проекта			Бакалавр			7	8	11	300,85	264,35	268,8	2105,9	2114,8	2956,8
	Сумма:												60895,6	55382,3	41400

Таблица 21 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней	366	366
Количество нерабочих дней - выходные дни - праздничные дни	127	127
Потери рабочего времени - отпуск - невыходы по болезни	30	30
Действительный годовой фонд рабочего времени	209	209

Тарифная заработная плата $Z_{\text{тс}}$ находится из произведения тарифной ставки исполнителей по категориям на тарифный коэффициент $k_{\text{т}}$ и учитывается по единой для бюджетных организации тарифной сетке. Расчёт основной заработной платы приведён в таблице 22.

Таблица 22 – Расчёт основной заработной платы

Исполнители	Исполнители по категориям	$k_{\text{т}}$	$Z_{\text{тс}}$, руб.	$k_{\text{пр}}$	$k_{\text{д}}$	$k_{\text{р}}$	$Z_{\text{м}}$, руб.	$Z_{\text{дн}}$, руб.	$T_{\text{р. раб. дн.}}$	$Z_{\text{осн.}}$, руб.
Руководитель	доцент	1,407	6000	0,3	0,4	1,3	12441,1	666,7	153	102000
Бакалавр	студент	1,142	2500	0,3	0,4	1,3	5183,9	277,8	237	65838,6
Итого $Z_{\text{осн}}$										167838,6

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.

Таблица 23 – Социальные отчисления

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.			
	Исп.1	Исп.2	Исп.3	
Руководитель	34089,9	33652,7	23739,8	
Бакалавр	26805,7	21729,6	17660,2	
Социальные отчисление				
	ПФР (22%)	ФСС (2,9%)	ФОМС (5,1%)	Страхование по классу опасности (0,5%)
Исп.1	13397	1766	3106	304
Исп.2	12185	1606	2824	277
Исп.3	9108	1200	2112	207

3.5. Формирование бюджета затрат проекта

Рассчитанная величина затрат выпускной квалификационной работы (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 выпускную квалификационную работу по каждому варианту исполнения приведен в таблице 24.

Таблица 24 – Расчет бюджета затрат ВКР

Наименование статьи	Сумма, руб.		
	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1. Материальные затраты	409519,33	333900	372340
2. Затраты на специальное оборудование	672000	970000	1316000
3. Затраты на электроэнергию	76121	76121	76121
4. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	60895,6	55382,3	41400
5. Страховые отчисления	18573	16892	12627
6. Бюджет затрат НТИ	781105,9	763295,3	803488

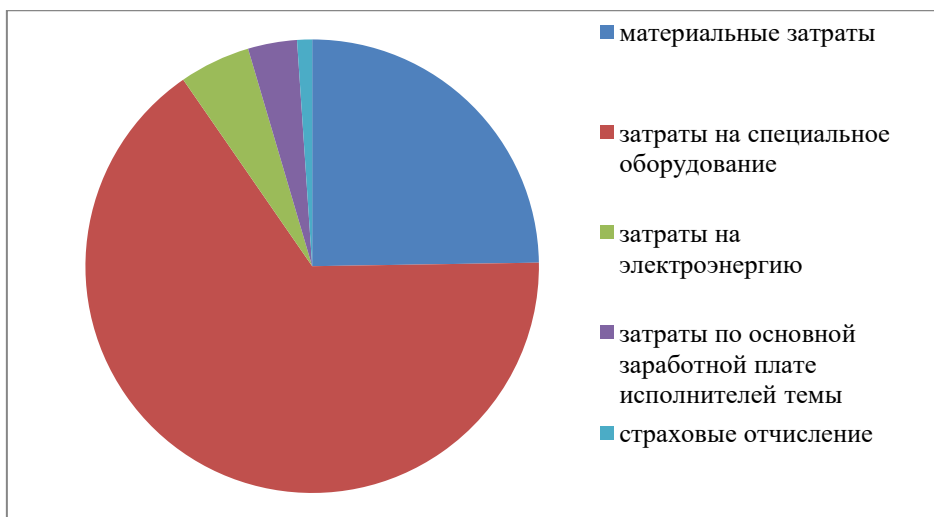


Рисунок 9. Распределение бюджета НТИ по статьям.

4. *Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования*

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

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;

$\Phi_{\max}$ – 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. 25).

Таблица 25 – 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 бутадиеп соответствует ГОСТ 55066	0,15	4	4	4
3. Энергосбережение	0,25	4	2	3
4. Надежность	0,35	4	4	4
5. Материалоемкость	0,15	4	3	4
ИТОГО	1			

I_{pi}		13,1	3,3	3,8
----------	--	------	-----	-----

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения

проекта ($I_{исп.}$) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{рук} = \frac{I_{p-рук}}{I_{финр}}, \quad I_{бак} = \frac{I_{p-бак}}{I_{финр}} \text{ и т.д.}$$

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 26 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1	Интегральный финансовый показатель	1,00	0,75	0,85
2	Интегральный 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.

