

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

Институт природных ресурсов
Направление подготовки 18.03.01 Химическая технология
Кафедра ТОВПМ

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Проект узла синтеза 1,2-дихлорэтана

УДК 661.716.001.6

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2Д2А	Климова Татьяна Александровна		

Руководитель

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

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. менедж- мента	Рыжакина Татьяна Гавриловна	к.э.н		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент каф. ЭБЖ	Раденков Тимофей Александрович			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ТОВПМ	Юсубов Мехман Су- лейманович	д. х. н., про- фессор		

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

Институт природных ресурсов
Направление подготовки (специальность) 18.03.01 Химическая технология
Кафедра ТОВПМ

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

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

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

Студенту:

Группа	ФИО
2Д2А	Климовой Татьяне Александровне

Тема работы:

Проект узла синтеза 1,2-дихлорэтана	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	от 22.03.2016 № 2235/С

Срок сдачи студентом выполненной работы:

06.06.2016 г.

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	1. Годовая производительность установки в расчете на 100%-ный 1,2-дихлорэтан – 250000 т/год; 2. Годовой фонд рабочего времени 8000 ч; 3. Потери 1,2-ДХЭ на последующих стадиях 2,5 %; 4. Степень конверсии этилена 0,983; 5. Селективность по 1,2-ДХЭ в расчете на этилен 0,940; 6. Степень конверсии хлора: 0,997.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	1. Литературный обзор. 2. Объекты и методы проектирования. 3. Расчеты. 4. Результаты разработки. 5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность, ресурсосбережение. 6. Социальная ответственность.
Перечень графического материала	1. Чертеж общего вида 2. Технологическая схема 3. Чертеж сборочных единиц

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
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	29.09.2015 г.
---	---------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент каф. ТОВПМ	Сорока Л.С.	к.х.н.		29.09.2015г.

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2Д2А	Климова Татьяна Александровна		29.09.2015г.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
2Д2А	Климовой Татьяне Александровне

Институт	ИПР	Кафедра	ТОВПМ
Уровень образования	Бакалавриат	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 НИИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	Составление календарного плана проекта. Определение бюджета НИИ
4. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	Проведение сравнительной эффективности вариантов исполнения исследования производства I,2-ДХЭ

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Оценка конкурентоспособности технических решений
2. Матрица SWOT
3. График проведения и бюджет НИИ
4. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИИ
5. Сравнительная эффективность разработки

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. менеджмента	Рыжакина Т.Г.	К.Э.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2Д2А	Климова Т.А.		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
2Д2А	Климовой Татьяне Александровне

Институт	ИПР	Кафедра	ТОВПМ
Уровень образования	бакалавриат	Направление/специальность	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, шумы, 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)	Основное оборудование расположено на улице. Производство 1,2-ДХЭ по характеру сырья и получаемых продуктов относится к взрывопожароопасным с вредными условиями труда. Вредными проявлениями факторов производственной среды являются вредные вещества, освещение, шумы, вибрации. Опасные проявления факторов производственной среды: механической природы, термического характера, электрической, пожарной и взрывной природы. Негативное воздействие на окружающую среду: атмосферу, гидросферу, литосферу. Возможны чрезвычайные ситуации техногенного, стихийного, экологического и социального характера.
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)	Большая часть работ проводится с опасными веществами, что может привести к отравлениям и ожогам. Для защиты работников от вредных веществ, вибрации и шума, используются средства индивидуальной и коллективной защиты, препятствующие возникновению профессиональных болезней.
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)	Аппараты установки имеют огромные размеры, их обслуживание и ремонт в связи с этим очень затруднителен и травмоопасен. В ходе эксплуатации установки может возникнуть взрыв или пожар. Из-за высоких температур поверхностей возможны термические ожоги. Повреждение изоляции электрических приборов и устройств может привести к поражению электрическим током. Пожарная опасность производства синтеза 1,2-ДХЭ определяется горючестью применяемых материалов, сырья и готовой продукции. Во избежание выше перечисленного, следует строго соблюдать технику безопасности и использовать средства индивидуальной защиты.
3. Охрана окружающей среды: – защита селитебной зоны – анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы);	Основными направлениями негативного воздействия производства на окружающую среду являются газовые выбросы, сточные воды, за-

– 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.	хоронение отходов.
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	В процессе производства возможны: нарушение герметичности соединений трубопроводов, аппаратов или их разрыв, неисправность средств контроля и автоматики. Типичной ЧС для нефтехимического производства является пожар, это обуславливается широким спектром горючих веществ, используемых в производстве.
5. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: – специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны	Каждый человек имеет право на труд в условиях, отвечающих требованиям безопасности и гигиены, и право на охрану здоровья. Работник обеспечивается средствами индивидуальной и коллективной защиты, проходит обязательный инструктаж по технике безопасности.
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 ЭБЖ	Раденков Т.А.			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2Д2А	Климова Татьяна Александровна		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 98 с., 16 рис., 28 табл., 29 источников.

Ключевые слова: 1,2-дихлорэтан, прямое хлорирование, этилен, хлор, жидкая фаза, галогенпроизводные.

Объект исследования: узел синтеза 1,2-дихлорэтана.

Цель работы: проектирование узла синтеза 1,2-дихлорэтана.

В процессе исследования проводились: выбор метода получения 1,2-дихлорэтана, технологической схемы, подбор основного аппарата и его расчет.

В результате исследования был спроектирован узел синтеза 1,2-дихлорэтана.

Основные конструктивные характеристики: реактор прямого хлорирования это барботажная газлифтная колонна с распределительными устройствами, внутренней циркуляционной трубой и тарелками.

Область применения: органическая химическая промышленность.

Экономическая эффективность: выделяющееся тепло расходуется на испарение и ректификацию продуктов, сточные воды отсутствуют, расход катализатора минимален.

ABSTRACT

Final qualifying work 98 p., 16 fig., 28 tab., 29 sources.

Keywords: 1,2-dichloroethane, direct chlorination of ethylene, chlorine, liquid phase, halogen derivatives.

The object of research: the synthesis unit of 1,2-dichloroethane.

Objective: To designing synthesis unit of 1,2-dichloroethane.

The study was conducted with the choice of the method of preparation of 1,2-dichloroethane, technological scheme, the selection of the main unit and its calculation.

The study was designed by the synthesis unit of 1,2-dichloroethane.

Basic constructive features: direct chlorination reactor is a bubble column with gas lift switchgear, the internal circulation pipe and plates.

Application: organic chemical industry.

Economic efficiency: the released heat is spent on evaporation and distillation products, no waste water, catalyst consumption is minimal.

Содержание

Введение	10
1 Теоретическая часть	11
1.1 Методы синтеза 1,2-дихлорэтана	11
1.2 Характеристика сырья и готовой продукции	13
1.2.1 Характеристика готовой продукции	13
1.2.2 Характеристика сырья	16
1.3 Физико-химические основы процесса	19
1.4 Подбор конструкции основного аппарата	22
1.5 Выбор и обоснование технологической схемы процесса	28
1.6 Технологический контроль производства	33
2 Инженерные расчеты	34
2.1 Материальный расчет	34
2.2 Тепловой расчет	37
2.3 Конструктивный расчет	41
2.3.1 Расчет основного аппарата	41
2.3.2 Расчет толщины обечайки	42
2.3.3 Расчет циркуляционной трубы	43
2.3.4 Расчет диаметров патрубков	44
2.3.5 Подбор фланцев	46
2.3.6 Подбор крышки и днища	46
2.3.7 Подбор решетки	48
2.3.8 Подбор перфорированных труб	50
2.3.9 Расчет опор	50
3 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	53
3.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	53

3.1.1 Сегментирование	53
3.1.2. Анализ конкурентных технических решений	54
3.1.3 SWOT-анализ	57
3.2 Планирование научно-исследовательских работ	61
3.2.1 Структура работ в рамках научного исследования	61
3.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ	63
3.3 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)	70
3.3.1 Расчет материальных затрат НТИ	70
3.3.2 Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	71
3.3.3 Основная заработная плата исполнителей темы	72
3.3.4 Дополнительная заработная плата исполнителей темы	74
3.3.5 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)	75
3.3.6 Накладные расходы	76
3.3.7 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта	76
3.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	77
4 Социальная ответственность	80
4.1 Характеристика вредных факторов производственной среды	81
4.1.1 Вредные вещества	81
4.1.2 Производственное освещение	82
4.1.3 Вибрация и шум	83
4.2 Анализ опасных факторов производственной среды	84
4.2.1 Механические опасности	84
4.2.2 Термические опасности	85
4.2.3 Электробезопасность	85
4.2.4 Пожаровзрывобезопасность	86
4.3 Охрана окружающей среды	88
4.3.1 Защита селитебной зоны	88

4.3.3 Воздействие на атмосферу	89
4.3.3 Воздействие на гидросферу	89
4.3.4 Воздействие на литосферу	90
4.4 Защита в чрезвычайных ситуациях	90
4.5 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	93
Заключение	95
Список литературы	96

Введение

1,2-Дихлорэтан (ДХЭ) – является одним из самых крупнотоннажных галогенпроизводных углеводородов. В основном ДХЭ используют в качестве промежуточного продукта для синтеза винилхлорида, винилиденхлорида, этилендиамина, этиленгликоля, полисульфидных каучуков [1].

Также свойства ДХЭ помогают применять его в качестве растворителя и компонента для изготовления лака, полирующих поверхностей. Он хорошо очищает нефтепродукты от парафина, обезжиривает меха и шерсть, экстрагирует жиры. ДХЭ входит в состав пятновыводителей.

В сельском хозяйстве ДХЭ используется для фумигации почвы (уничтожает вредителей и возбудителей болезней) зерновых культур, виноградников.

В современном мире вещество незаменимо для склеивания оргстекла, а также для удаления трещин, сколов, царапин, разрушенных частей. Благодаря своим характеристикам, двухлористый этилен идеально подходит для облицовки строительных конструкций и антикоррозионных производственных операций.

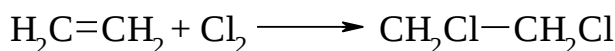
Производственные мощности по выпуску ДХЭ во всём мире составляют около 20 млн т в год [2, 3]. Основными производителями являются компании США, Западной Европы и Японии.

1 Теоретическая часть

1.1 Методы синтеза 1,2-дихлорэтана

В промышленности 1,2-ДХЭ получают двумя способами.

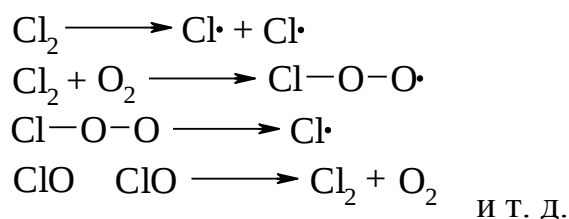
Первый – это прямое хлорирование этилена в жидкой фазе в присутствии катализатора – хлорида железа (III) при 50–100 °С с отбором продукта в жидкой или паровой фазе:



При получении ДХЭ взаимодействием этилена с хлором в среде жидкого дихлорэтана, который растворяет оба газа, реакция протекает в жидкой фазе. Это позволяет достигнуть безопасности процесса и улучшить условия теплопередачи от реакционной массы к охлаждающему агенту. Отвод реакционного тепла существенно упрощается, и совершенно исключается возможность местных перегревов. Вместе с тем, в среде ДХЭ процесс протекает аутокаталитически и скорость реакций значительно выше, чем при взаимодействии газообразных этилена и хлора. При взаимодействии C_2H_4 с хлором, помимо продукта присоединения хлора по двойной связи (1,2-ДХЭ), образуются также продукты замещения – трихлорэтан, тетрахлорэтан и высшие полихлориды:



Состав получаемых продуктов резко измениться, если в реакционную среду ввести свободный кислород. В присутствии кислорода цепная реакция замещения обрывается, что замедляет и прекращает образование продуктов замещения:

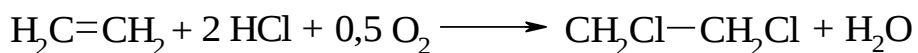


В виду этого обстоятельства существенно упрощается технология производства ДХЭ. Потому в присутствии кислорода реакцию взаимодействия

этилена с хлором можно проводить при 20–30 °С, отвод тепла реакции осуществляется холодной водой без охлаждения рассолом, необходимого при температуре ниже 0 °С. Благодаря чему выход побочных продуктов замещения снижается с 10 до 0,5–2 %, упрощается аппаратное оформление процесса и понижается себестоимость дихлорэтана [3, 4].

Технология прямого хлорирования этилена позволяет достигать почти 100 % конверсии хлора, конверсия этилена зависит от его избытка и составляет 90–97 %. При этом выход 1,2-ДХЭ равен 99 %.

Второй способ получения 1,2-ДХЭ – окислительное хлорирование этилена в газовой фазе в присутствии катализатора CuCl_2 на Al_2O_3 :



Данный процесс существует благодаря необходимости переработки больших объемов отходящего газообразного HCl , являющегося побочным продуктом на ряде химических предприятий, на которых имеются процессы заместительного хлорирования и дегидрохлорирования. Объединение стадий хлорирования и оксихлорирования позволяет сбалансировать промышленные производства по Cl_2 [5]. Промышленный процесс оксихлорирования проводят в газовой фазе на гетерогенном катализаторе. Катализатором служат соединения меди, щелочных и редкоземельных элементов или их смеси на пористых носителях. Основанием для оксихлорирования стал газофазный процесс окисления HCl .

Процесс получения 1,2-ДХЭ окислительным хлорированием включает 2 основные стадии [5]: синтез 1,2-ДХЭ и его выделение. В этом процессе конверсия этилена составляет 95 %, HCl – 99 %; выход 1,2-ДХЭ – 97 %.

Реакция окислительного хлорирования экзотермическая, чем больше атомов хлора вводится, тем больше выделяется тепла. Реакция идет в газовой фазе, потому с теплоотводом справиться трудно. Присутствие паров воды в реакционной массе при процессах окислительного хлорирования вызывает сильную коррозию аппаратуры. В изготовлении охлаждающих устройств, исполь-

зуются специальные сплавы, помимо обычной защиты корпусов реакторов керамическими материалами.

Недостатками этого метода является образование побочных продуктов замещения и трудности очистки ДХЭ. Процесс газофазного хлорирования требует особых требований по технике безопасности.

Процесс прямого хлорирования этилена идет с использованием тепла реакции для ректификации образующегося ДХЭ. Процесс ведут в жидкой фазе, благодаря чему достигается безопасность процесса [3].

Из представленных методов жидкофазный метод является оптимальным. Жидкофазный метод по своему процессу прост и экономически выгоден. Термическая нестабильность получаемых хлорпроизводных, обусловленная отщеплением хлористого водорода оправдывает выбор жидкофазного метода. После окончательной промывки получаем более чистый ДХЭ. Степень конверсии хлора близка к 100 %, а степень конверсии этилена зависит от взятого избытка его и составляет 90–97 %. Выход 1,2 – ДХЭ более 99 %.

1.2 Характеристика сырья и готовой продукции

1.2.1 Характеристика готовой продукции

1,2-ДХЭ ($\text{ClCH}_2\text{—CH}_2\text{Cl}$) — хлорорганическое соединение, прозрачная бесцветная жидкость с сильным запахом подобным хлороформу, практически не растворимая в воде. Хороший растворитель многих органических соединений и полимеров. Легко испаряется, образует азеотропную смесь с водой (71,5 °С, 82,9 вес % ДХЭ). 1,2-ДХЭ относится к токсичным веществам [1].

Физико-химические константы 1,2-ДХЭ:

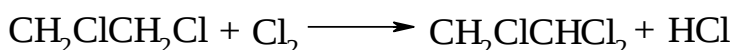
- молекулярная масса – 98,96 г/моль;
- плотность – 1,2530 г/см³;
- растворимость в воде – 0,871 г/100 мл;
- температура кипения – 83,5 °С;

- температура плавления – минус 35 °С;
- критическая температура – 288 °С;
- критическое давление – 5,371 МПа;
- критическая плотность – 440 кг/м³;
- концентрационные пределы воспламенения смеси с воздухом – нижний – не менее 6,2 % объемных, верхний – не более 16,0 % объемных;
- класс опасности – 2 (вещество высокоопасное);
- предельно – допустимая концентрация в рабочей зоне – 10 мг/ м³.

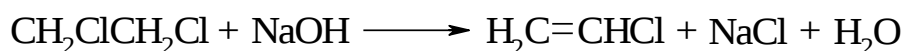
Термодинамические свойства:

- молекулярная теплоемкость C_p° (Дж/моль К) – 129;
- энтропия ΔS°_{298} (Дж/моль К) – 208,5;
- теплота образования ΔH°_{298} (кДж/моль) – минус 166,1;
- энергия Гиббса ΔG°_{298} (кДж/моль) – минус 80,3;
- теплота плавления $\Delta H_{пл}$ (кДж/моль) – 0,871;
- теплота испарения $\Delta H_{исп}$ (кДж/моль) – 31,45.

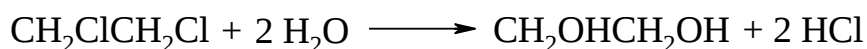
Химические свойства [6]. Галогенирование. 1,2-ДХЭ реагирует с хлором в жидкой или паровой фазе в присутствии радикальных инициаторов с образованием 1,1,2-трихлорэтана:



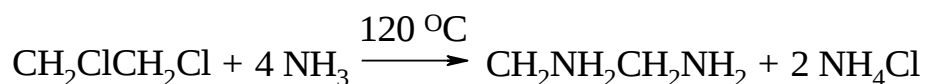
Дегидрохлорирование. При действии спиртовых или водных растворов щелочей или при нагревании выше 250 °С от 1,2-ДХЭ отщепляется хлористый водород с образованием винилхлорида:



Гидролиз. Действие воды в присутствии кислот или щелочей при 140–250 °С и давлении до 4 Мпа приводит к гидролизу 1,2-ДХЭ с образованием этиленгликоля:

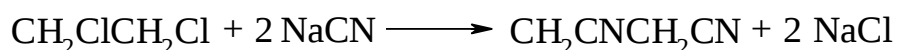


Аммонолиз. В водных или спиртовых средах в присутствии солей аммония 1,2-ДХЭ реагирует с аммиаком, давая этилендиамин:

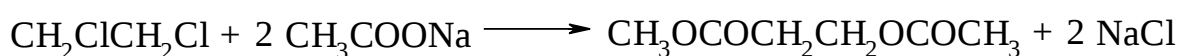


Наряду с первичным амином возможно образование вторичных и третичных аминов. А также получение этиленамина.

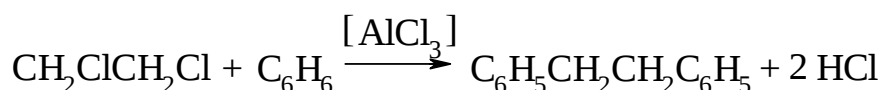
Цианирование. При взаимодействии 1,2-ДХЭ с цианистым натрием в спиртовой среде получается сукцинонитрил:



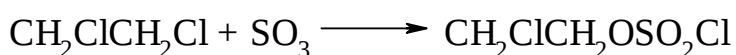
Этерификация. 1,2-ДХЭ реагирует с ацетатом натрия с образованием этиленгликоляцетата:



Алкилирование. В присутствии катализаторов Фриделя-Крафтса 1,2-ДХЭ реагирует с бензолом и его аналогами, давая соответствующие производные:



Действие SO_3 . При взаимодействии с олеумом образуется 2-хлорэтилсульфурилхлорид:



Действие Na_2S . Полисульфид натрия реагирует с 1,2-ДХЭ, образуя каучукоподобные материалы – полиэтилентетрасульфиды (тиокол).

Таблица 1 – Требования к техническому 1,2-ДХЭ [9]

Наименование сырья, материалов, продуктов	ГОСТ, ТУ.	Показатели обязательные для проверки	Нормы для сорта
1,2 – ДХЭ – ректификат (C ₂ H ₄ Cl ₂)	ГОСТ 1942–86	1) массовая доля 1,2 – дихлорэтана, % 2) массовая доля воды, % 3) массовая доля кислот в пересчете на HCl, % 4) массовая доля железа, % 5) массовая доля органических примесей в сумме, % 6) массовая доля нелетучего остатка, %	не менее 99,9 не более 0,005 не более 0,0002 не более 0,0004 не более 0,009 не более 0,0008

1.2.2 Характеристика сырья

Этилен $\text{CH}_2 = \text{CH}_2$

Физико-химические свойства [1]:

- молекулярная масса – 28,05 г/моль;
- плотность – 1,18 кг/м³;
- растворимость в воде при н.у. – 25,61 мл в 100 мл;
- температура кипения – минус 103,72 °С;
- температура плавления – минус 169,16 °С.
- критическая температура – 9,2 °С;
- критическое давление – 5,041 МПа;
- критическая плотность – 0,216 г/см³;
- концентрационные пределы воспламенения смеси с воздухом – нижний – не менее 3,0 % объемных, верхний – не более 32,0 % объемных;
- класс опасности – 4 (вещество малоопасное);
- предельно – допустимая концентрация в рабочей зоне – 100 мг/м³.

Термодинамические свойства:

- теплоемкость C_p° (Дж/моль К) (-193 °С) – 62,16;

– теплота сгорания $\Delta H_{\text{сгор}}$ (кДж/моль) – 1400.

Этилен – бесцветный газ с удушливым сладковатым запахом. Является простейшим алкеном (олефином), изологом этана. Частично растворим в воде (25,6 мл в 100 мл воды при 0 °С), этаноле (359 мл в 100 мл воды при 0 °С). Хорошо растворяется в диэтиловом эфире и углеводородах.

Этилен обладает наркотическим действием, может вызывать головокружение, ослабление дыхания, головную боль, нарушение кровообращения, потерю сознания. Этилен – горючий газ, потому при высоком давлении, повышенной температуре или вблизи открытого огня в присутствии кислорода способен к взрывному разложению.

Этилен играет очень значимую роль в промышленности, а также является фитогормоном. Этилен — самое производимое органическое соединение в мире [1]; общее мировое производство этилена в 2008 году составило 113 миллионов тонн и продолжает расти на 2—3 % в год [7].

Хлор Cl_2

Физико-химические свойства [1]:

- молекулярная масса – 35,5 г/моль;
- плотность – 3,215 г/л;
- растворимость в воде – 1,481 г/100 г;
- температура кипения – минус 34 °С;
- температура плавления – минус 100 °С;
- критическая температура – 144 °С;
- критическое давление – 76 атм;
- критическая плотность – 0,574 г/см³;
- класс опасности – 2 (вещество высокоопасное);
- предельно – допустимая концентрация в рабочей зоне – 1 мг/м³.

Термодинамические свойства:

- молекулярная теплоемкость C_p° (Дж/моль К) – 34,94;
- энтропия ΔS°_{298} (Дж/моль К) – 222,91;
- теплота образования ΔH°_{298} (кДж/моль) – 0;

- энергия Гиббса ΔG°_{298} (кДж/моль) – 0;
- теплота плавления $\Delta H_{пл}$ (кДж/моль) – 6,41;
- теплота испарения $\Delta H_{исп}$ (кДж/моль) – 20,41.

Хлор – негорючий, удушливый газ с резким запахом, желто – зеленого цвета, который в 2,5 раза тяжелее воздуха. Вызывает отек легких, раздражение верхних дыхательных путей и слизистых оболочек. Попадание на кожу, вызывает химический ожог. Образует взрывоопасные смеси с водородом [1].

Хлор применяется во многих сферах промышленности, науки и, зачастую, в быту. Область использования хлора в промышленности очень широка: он применяется при производстве поливинилхлорида, синтетического каучука, пластикаторов; в целлюлозно-бумажной промышленности хлор используют для отбеливания бумаги и картона; он задействован в производстве хлорорганических инсектицидов; используется в процессе обеззараживания («хлорирования») питьевой воды и очистки сточных вод; широко применяется в химическом производстве бертолетовой соли, лекарств, хлорной извести, ядов, соляной кислоты, хлоридов металлов; в металлургии его задействуют для производства чистых металлов; это вещество используют как индикатор солнечных нейтрино.

Ежегодное производство хлора в мире составляет 55,5 млн. т. За период с 2009 года по 2010 в России увеличились объемы производства хлора с 394161 тонн до 412824 тонн, что в процентном соотношении составляет 4,5 % [8].

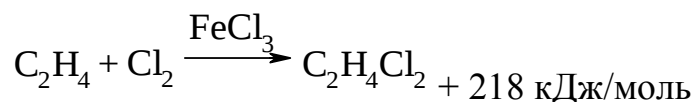
Таблица 2 – Требования к техническим этилену и хлору [10, 11]

Наименование сырья, материалов, продуктов	ГОСТ, ТУ.	Показатели обязательные для проверки	Регламентные показатели, допустимые отклонения
Этилен (C ₂ H ₄)	ГОСТ 25070–87	1) объемная доля этилена, % 2) объемная доля пропилена, % 3) объемная доля метана и этана в сумме, % 4) объемная доля ацетилена, %	не менее 99,9 не более 0,005 не более 0,1 не более 0,001
Хлор (Cl ₂)	ГОСТ 6718 – 93	1) объемная доля хлора, % 2) массовая доля воды, % 3) массовая доля треххлористого азота, % 4) массовая доля нелетучего остатка, %	не менее 99,8 не более 0,01 не более 0,002 не более 0,015

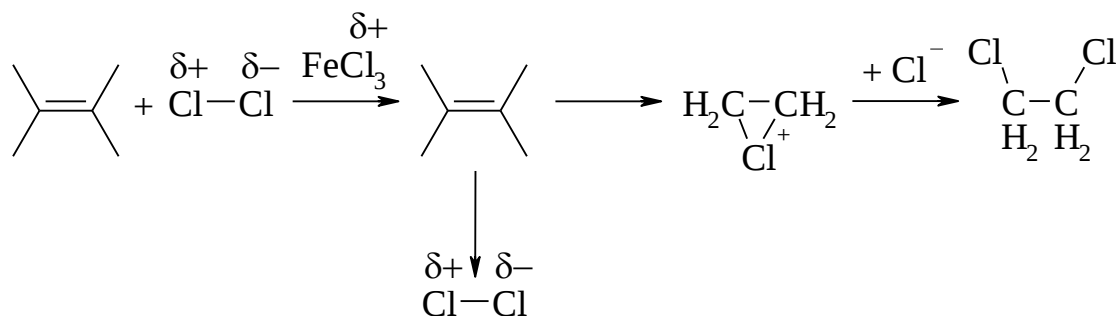
1.3 Физико-химические основы процесса

Получение 1,2 – ДХЭ методом прямого хлорирования этилена основано на реакции взаимодействия испаренного хлора и этилена в жидкой фазе. Эта реакция является каталитической и экзотермической. Процесс ведется в жидкой фазе дихлорэтана, так как реакция получения ДХЭ в объеме газовой фазы протекает с взрывом. С ростом температуры, увеличивается скорость процесса жидкофазного хлорирования этилена [13].

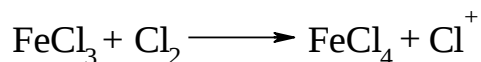
Получение 1,2 – ДХЭ методом прямого хлорирования этилена основано на реакции [13]:



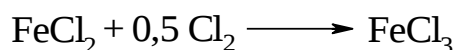
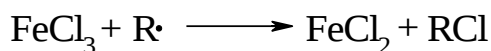
В качестве катализатора процесса используется хлорное железо (FeCl_3), растворенное в дихлорэтane. Механизм реакции образования 1,2 – ДХЭ при взаимодействии этилена с хлором в присутствии катализатора представляет собой электрофильное присоединение с промежуточным образованием π -комплекса.



Значение хлорида железа заключается в том, что он активирует молекулы хлора, ингибирует цепочки радикалов, ускоряет стадию перехода π – комплекса в σ – комплекс и образование комплекса.



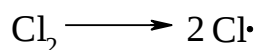
Хлорное железо также играет роль ингибитора радикальных процессов.



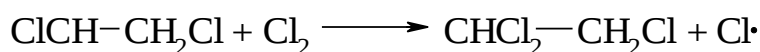
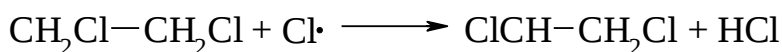
В синтезе используют безводные хлориды железа при температуре от 0 °С до температуры кипения 1,2 – ДХЭ при давлении 0,05–0,2 МПа.

Помимо основной реакции получения 1,2 – ДХЭ протекают реакции заместительного хлорирования, приводящие к образованию побочных продуктов, таких как 1,1,2 – трихлорэтан, винилхлорид и другие. Образование других примесей, равным образом связано со свободнорадикальными процессами.

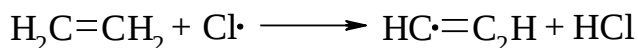
Механизм побочных реакций следующий, вначале образуется радикал хлора.



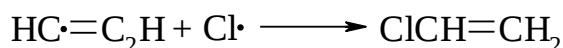
Свободный радикал хлора взаимодействует с молекулой 1,2 – ДХЭ с образованием 1,1,2 – трихлорэтана и хлористого водорода.



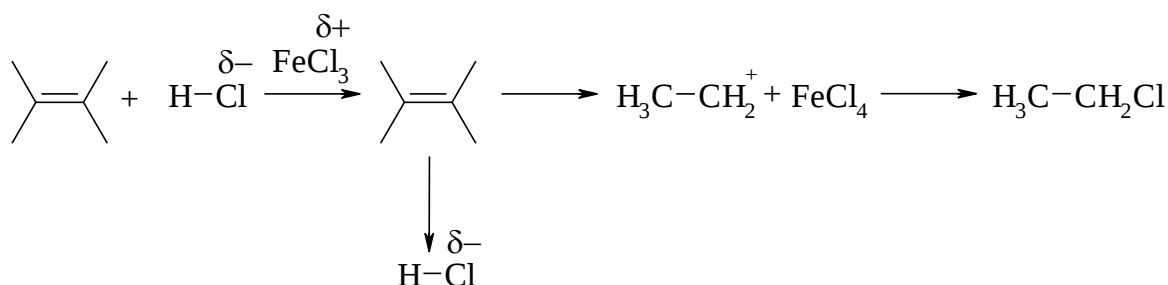
Подобным образом свободный радикал хлора может вступить в реакцию с молекулой этилена с образованием винильного радикала.



Далее идет образование винилхлорида в результате взаимодействия хлорного и винильного радикалов.



Образование этилхлорида происходит в результате взаимодействия этилена с хлористым водородом в присутствии хлорного железа.



Подача кислорода на уровне 1 % объемного, уменьшает активность радикалов в газовой фазе. Избыток этилена (2 – 5 %) приводит к снижению доли побочных свободнорадикальных процессов, так как препятствует выходу хлора в газовую фазу.

Основными параметрами, влияющими на чистоту получаемого продукта, являются [6]:

1. Температура процесса.
2. Концентрация катализатора.
3. Соотношение этилен: хлор.
4. Наличие посторонних примесей в исходном сырье.

Соотношение, между вступившими в реакцию этиленом и хлором, поддерживается 1:1. Избыток этилена приводит к дезактивации катализатора и

увеличению объема абгазов. Избыток хлора приводит к увеличению образования побочных продуктов.

1) Наличие примесей в инертных газах или насыщенных углеводородах существенно повышает потери продукта с абгазами, но не оказывают влияния на химизм процесса. Объемная доля влаги более 0,002 % дезактивирует катализатор, потому как хлорид железа гидрофильное вещество, которое при взаимодействии с водой образует нереакционноспособный комплекс $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$. Образованию свободных радикалов хлора препятствует кислород, наличие которого даже в малом количестве облегчает реакции присоединительного хлорирования.

2) Температуру в реакторе прямого хлорирования необходимо поддерживать в пределах 49–65 °С. При температуре менее 49 °С повышаются потери этилена и хлора с абгазами из-за неполного взаимодействия. При температуре выше 65 °С происходит рост образования побочных продуктов, в основном трихлорэтана, и ускоряется коррозионный износ оборудования.

3) Массовую долю катализатора FeCl_3 в ДХЭ нужно поддерживать в пределах 0,005 – 0,03 % (50–300 ppm). При массовой доле катализатора более 0,03 % (300 ppm) увеличатся его потери с ДХЭ-сырцом. При массовой доле катализатора в дихлорэтаноле менее 0,005 % (50 ppm) уменьшится скорость реакции присоединительного хлорирования.

1.4 Подбор конструкции основного аппарата

Близкими по конструкции реакторами получения 1,2-ДХЭ являются низкотемпературный и высокотемпературный реакторы жидкофазного хлорирования этилена [2, 12].

Реактор низкотемпературного процесса (рис. 1) представляет собой барботажную колонну (1), соединенную в верхней и нижней части с выносным

кожухотрубчатый теплообменник (4). Рабочей средой в реакторе является продукт реакции - 1,2-ДХЭ в жидком состоянии с примесью побочных продуктов. Катализатором процесса является хлорид железа (III), который находится в рабочей среде в растворенном состоянии. Хлор вводится в нижнюю часть колонны через распределитель (2). Выше в образовавшийся раствор хлора через распределитель (3) вводится этилен. За счет разности плотностей сред в холодильнике и колонне возникает циркуляция рабочей среды с восходящим потоком в колонне. Отвод синтезированного продукта осуществляется самотеком через перелив. Отделение продукта от катализатора осуществляется на стадии очистки. Катализатор после стадии очистки не подлежит регенерации. Продукты процесса со стадии очистки поступают на ректификацию.

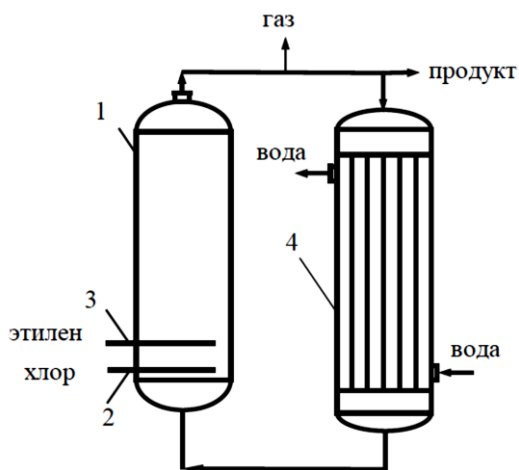


Рисунок 1 – Реактор низкотемпературного хлорирования

Достоинством низкотемпературного процесса является высокая селективность (99,8 %), объясняющаяся замедлением побочных реакций заместительного хлорирования при снижении температуры. К недостаткам низкотемпературного процесса относятся большой расход сточных вод на стадии очистки продукта от катализатора, значительный расход катализатора на единицу продукции, большие энергетические затраты на охлаждение реакционной массы и нерациональное использование теплоты реакции.

Наиболее близким прототипом для вакуумного реактора жидкофазного хлорирования этилена является реактор высокотемпературного хлорирования (рис. 2).



Рисунок 2 – Реактор высокотемпературного хлорирования

Реактор высокотемпературного хлорирования представляет собой барботажную газлифтную колонну (1), снабженную внутренней циркуляционной трубой (5). Через распределитель (2) газообразный хлор подается в нижнюю часть кольцевого пространства, где он растворяется в рабочей среде. Реакция осуществляется выше по потоку при вводе в реактор газообразного этилена через распределитель (3). Вследствие разности плотностей сред в циркуляционной трубе и в кольцевом пространстве возникает циркуляция жидкости. В верхней части реактора устанавливаются перфорированные тарелки (6), предназначенные для интенсификации перемешивания.

Рабочей средой в реакторе является продукт реакции - кипящий 1,2-ДХЭ. В зависимости от давления в верхней части реактора (1-1,4 ат) температура кипения рабочей среды составляет 83-110 °С. При данной температуре селективность процесса составляет в среднем 98 %. Побочными продуктами процесса являются: трихлорэтан, трихлоэтилен и другие высшие хлорпроизводные этана, которые образуются в реакторе в результате реакций заместительного хлорирования [2, 12]. При образовании 1 моля 1,2-ДХЭ выделяется количество

теплоты, достаточное для испарения 6 молей 1,2-ДХЭ. В результате этого теплота реакции отводится за счет испарения образующихся продуктов, которые отводятся сверху колонны в виде пара.

Важным преимуществом высокотемпературного процесса по сравнению с низкотемпературным является экономичность: выделяющееся тепло расходуется на испарение и ректификацию продуктов, сточные воды отсутствуют, расход катализатора минимален. Недостатком высокотемпературного процесса являются низкая селективность (98,0-98,7 %), связанная с увеличением скорости побочных реакций при росте температуры.

На рисунке 3 представлен вакуумный барботажный газлифтный реактор жидкофазного хлорирования этилена с выносным конденсатором и гидравлическим затвором. Он включает в себя колонну (1), газораспределители хлора и этилена (2) и (3), циркуляционную трубу (5), перфорированные тарелки (6), конденсатор (7), насос (8), вакуум-насос (9) и гидравлический затвор (10).

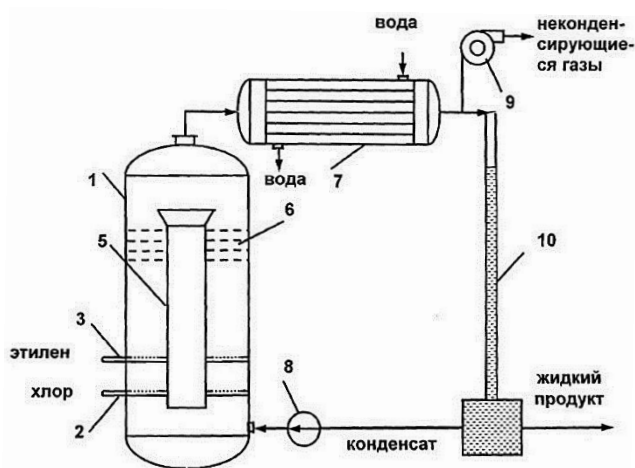


Рисунок 3 – Вакуумный барботажный газлифтный реактор жидкофазного хлорирования этилена с выносным конденсатором и гидравлическим затвором

На рисунке 4 представлен график зависимости селективности процесса от температуры реакционной среды.



Рисунок 4 – Зависимость селективности процесса от температуры реакционной среды

Вакуумный реактор жидкофазного хлорирования этилена работает следующим образом. Реактор заполняется жидким 1,2-ДХЭ до рабочего уровня. В конденсатор (7) подается охлаждающая вода. Газообразный хлор подается через распределитель (2) в нижнюю часть колонны, где растворяется в рабочей среде. Выше по потоку вводится этилен через распределитель (3). Вследствие выделения большого количества тепла реакции рабочая среда закипает. В результате этого в кольцевом пространстве образуется газожидкостная смесь, плотность которой меньше плотности чистого 1,2-ДХЭ в циркуляционной трубе. Благодаря разности плотностей в циркуляционной трубе и в кольцевом пространстве возникает движущая сила циркуляции, которая обеспечивает равномерность протекания реакции по всему реактору. В верхней части перемешивание реакционной среды усиливается на установленных перфорированных тарелках (6), которые улучшают протекание гетерогенной реакции.

Образующиеся вследствие кипения рабочей среды пары 1,2-ДХЭ выходят из реактора (1) и направляются в конденсатор (7), где, отдавая тепло охлаждающей воде, конденсируются. При конденсации пара происходит уменьшение занимаемого 1,2-ДХЭ удельного объема при постоянстве объема простран-

ства конденсатора и реактора. Это влечет за собой уменьшение давления в конденсаторе и реакторе.

Образующийся конденсат из конденсатора (7) стекает вниз по гидравлическому затвору (10). Гидравлический затвор устанавливается на выходе из конденсатора и представляет собой вертикальную барометрическую трубу с барометрическим ящиком, заполненную 1,2-ДХЭ. По барометрической трубе жидкость стекает в барометрический ящик, откуда часть ее отводится в виде продукта реакции, а другая возвращается насосом (8) обратно в реактор для поддержания постоянного уровня. Неконденсирующиеся газы отводятся при помощи вакуум-насоса (9).

Давление, создаваемое столбом жидкости в гидравлическом затворе, должно быть больше атмосферного давления. Поэтому высота трубы составляет примерно 10 м. Только в этом случае в реакторе сможет поддерживаться вакуум и при этом производиться отбор жидкого 1,2-ДХЭ в виде продукта.

Снижение абсолютного давления в реакторе до 0,3-0,45 ама позволяет понизить температуру кипения рабочей среды ниже 60 °С. Так как скорости побочных реакций уменьшаются при снижении температуры [12], то это будет благоприятно сказываться на селективности процесса.

В условиях многотонажного производства высокая селективность процесса позволяет снизить выход побочных продуктов, а, значит, и снизить потери исходных реагентов на их образование. Также это повлечет за собой уменьшение материальных затрат на переработку и утилизацию побочных продуктов.

Массовая концентрация 1,2-ДХЭ в продукте, равная 99,8 %, в большинстве случаев является достаточной, чтобы продукт можно было считать товарным. В этой связи отпадает необходимость в стадии ректификации смеси продуктов с целью выделения 1,2-ДХЭ требуемой чистоты.

Вследствие того, что 1,2-ДХЭ уходит из реактора в парообразном виде, он не содержит в себе примесей хлорида железа (III), который является катализатором процесса. В этой связи отпадает необходимость в стадии очистки 1,2-ДХЭ от катализатора.

Ликвидация стадии очистки приведет к снижению объема сточных вод, необходимых для очистки 1,2-ДХЭ от катализатора, уменьшению потерь хлорида железа (III) и сокращению выбросов промышленных отходов в окружающую среду.

Недостатком является габаритность реактора в целом и дорогостоящее обслуживание выносных элементов.

Из представленных реакторов, реактор высокотемпературного хлорирования является оптимальным для проведения процесса.

1.5 Выбор и обоснование технологической схемы процесса

По способу фирмы «Diamond Alkali Co.» (США) сухой хлор и этилен подают барботированием при 50–80 °С в реактор, заполненный 1,2-ДХЭ (рис. 5) [6]. Для подавления реакции дальнейшего замещения водорода на хлор (образование 1,1,2-трихлорэтана) снижают температуру и вводят ингибиторы — соли металлов переменной валентности, — роль которых состоит также в ускорении основной реакции электрофильного присоединения. В присутствии 0,1 % FeCl_3 при 30 °С выход продукта замещения при синтезе 1,2-ДХЭ снижается с 10 до 1–2 %. Молярное соотношение этилен: хлор сохраняется близким к стехиометрическому; небольшой избыток углерода (~5 %) требуется лишь для того, чтобы повысить степень превращения хлора. Сырой продукт для освобождения от солей железа промывают раствором каустической соды, водой и направляют на ректификацию. Сырой ДХЭ имеет чистоту 99 % и пригоден для производства перхлорэтилена.

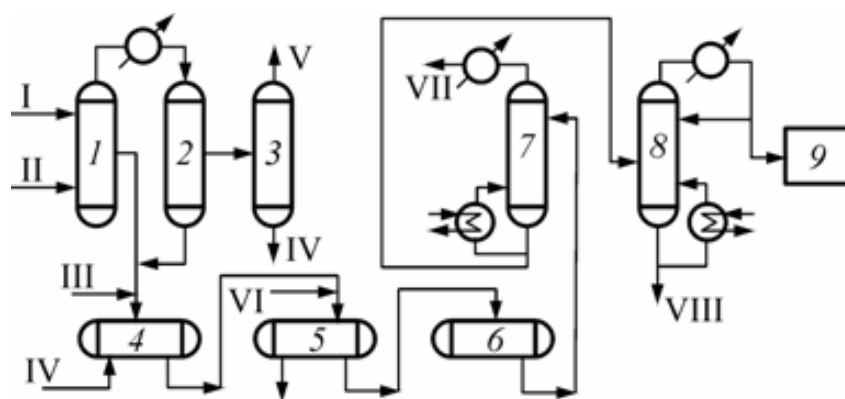


Рисунок 5 – Схема производства 1,2-ДХЭ жидкостным хлорированием этилена (фирма «Diamond Alkali Co.»): 1 – реактор; 2 – сепаратор; 3 – скруббер; 4 – нейтрализационный декантатор; 5 – промывной декантатор; 6 – промежуточный бак для сырого дихлорэтана; 7 – колонна осушки дихлорэтана; 8 – колонна кондиционирования дихлорэтана; 9 – емкость для хранения дихлорэтана; I – хлор; II – этилен; III – разбавленная каустическая сода; IV – в канализацию; V – сдувка; VI – вода; VII – рецикл; VIII – тяжелые концевые фракции

После дистилляции чистота ДХЭ – 99,9 %. Степень превращения хлора составляет 97 %, селективность по дихлорэтану – 98,5 %. В качестве сырья используют 99 % этилен и сухой газообразный электролитический хлор.

Достоинством данного способа получения 1,2-ДХЭ является высокая чистота ДХЭ, высокая степень превращения хлора и высокая селективность по дихлорэтану, а также низкие температуры протекания реакций. Недостатком является использование в качестве сырья высокочистого этилена и ингибиторов, что определяет большие затраты на производство.

По процессу фирмы «Shell Development Co.» (Великобритания) в качестве сырья используют 30 % этилен и хлор обычной промышленной чистоты (рис. 6) [6]. В этом процессе очищенный дихлорэтан подвергается пиролизу с получением винилхлорида и хлороводорода. Хлороводород подвергается конверсии в хлор.

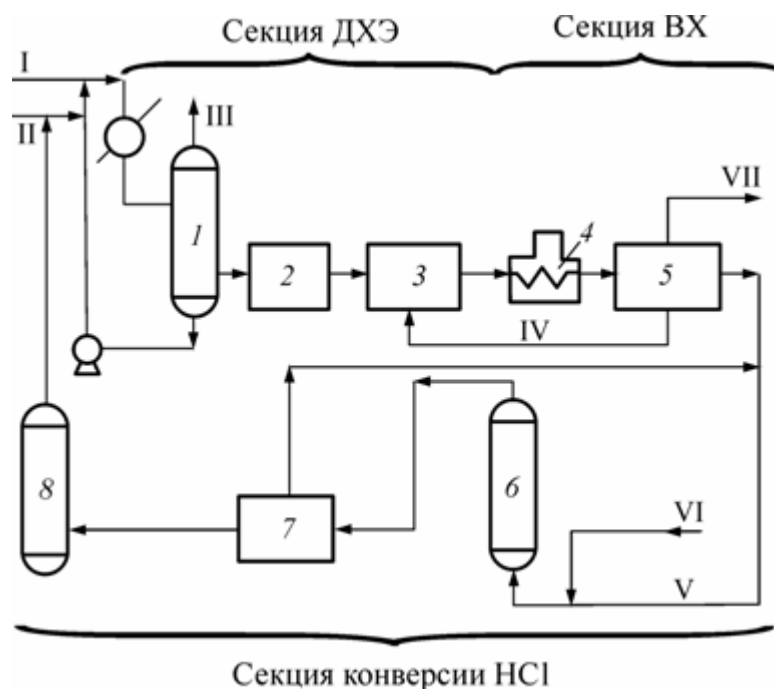
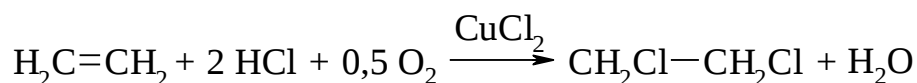


Рисунок 6 – Схема производства 1,2-дихлорэтана (ДХЭ) и винилхлорида (ВХ) (фирма «Shell Development Co.»): 1 – реактор; 2 – узел промывки ДХЭ; 3 – узел очистки ДХЭ; 4 – печь пиролиза ДХЭ; 5 – узел очистки ВХ; 6 – конвертор хлороводорода; 7 – узел извлечения хлороводорода; 8 – колонна осушки хлора; I – этилен; II – хлор; III – сдувка; IV – рецикл ДХЭ; V – рецикл хлороводорода; VI – воздух или кислород; VII – ВХ

Оксихлорирование этилена протекает при температуре 210–280 °С и давлении 0,3–1 МПа по схеме:



Процесс осуществляется в стационарном или псевдоожиженном слое катализатора — хлорной меди на носителе (оксид алюминия или алюмосиликат). Процесс состоит из трех стадий: синтеза ДХЭ, разделения продуктов оксихлорирования и ректификации ДХЭ-сырца. Используется избыток (~5 об. %) этилена, степень конверсии этилена ~95 %, хлороводорода ~90 %, выход 1,2-ДХЭ — 97 %.

Достоинством данного способа является использование этилена низкой чистоты. Недостатками являются невысокий выход ДХЭ, степень конверсии

этилена и хлороводорода, а также процесс протекает при повышенных температурах.

В общем виде технология процесса прямого хлорирования этилена представлен на рисунке 7 [3, 4]. Сухие этилен и хлор подают через барботеры в нижнюю часть пустотелого реактора 1, заполненного 1,2-ДХЭ. Прямое хлорирование осуществляют при 50–60 °С в растворе жидкого дихлорэтана. Выходящий из реактора 1,2-ДХЭ направляют на трехступенчатую отмывку от солей, которую проводят последовательно кислотой, щелочью и водой. Затем продукт процесса направляют на осушку в комплекс аппаратов 2.

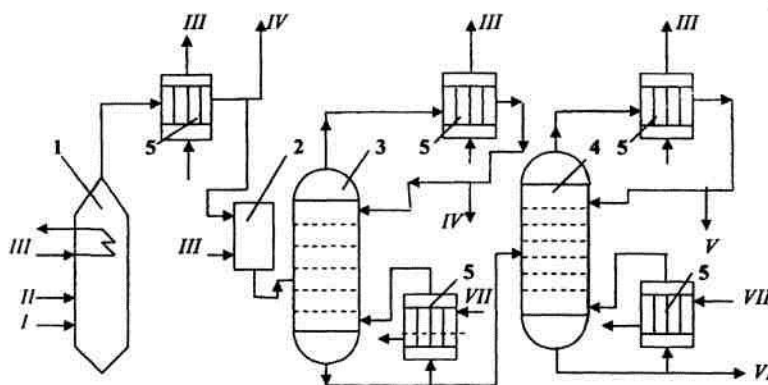


Рисунок 7 – Технологическая схема получения 1,2-ДХЭ хлорированием этилена: 1 – реактор; 2 – блок очистки; 3, 4 – ректификационные колонны; 5 – холодильники; I – хлор; II – этилен; III – вода; IV – легкокипящие фракции; V – 1, 2-ДХЭ; VI – полихлориды; VII – пар

Далее дихлорэтан подают в ректификационную колонну 3, где из него в качестве дистиллята удаляют более легкие компоненты, конденсируют в конденсаторе 5 и частично возвращают в колонну в качестве флегмы. Балансовое количество дистиллята выводят с установки. Кубовый продукт колонны 3 направляют в ректификационную колонну 4 для удаления из целевого продукта полихлоридов, которые выводят из куба колонны. Дихлорэтан отбирают с верха колонны, конденсируют в холодильнике-конденсаторе 5 и частично возвращают в колонну на орошение, а остаток направляют на товарный склад. Схемой

предусмотрен отвод избытка тепла процесса путем циркуляции внизу колонн части кубовых продуктов через выносные холодильники 5.

Технология прямого хлорирования этилена позволяет достигать почти 100 % конверсии хлора, а конверсия этилена зависит от его избытка и составляет 90–97 %. При этом выход 1,2-ДХЭ равен 99 %.

Достоинством данного способа является высокий выход ДХЭ и почти 100 % конверсия хлора, а также протекание реакций при достаточно низкой температуре. Недостатком является зависимость конверсии этилена от его избытка.

Из представленных способов последний является оптимальным, т. к. тут достигается высокий выход ДХЭ и конверсия сырья, реакции идут при невысоких температурах.

1.6 Технологический контроль производства

Таблица 3 – Технологический контроль производств

Место измерения параметра	Контролируемый параметр	Частота и способ контроля	Нормы и технологические показатели	Методы испытания и средства контроля	Кто контролирует
1	2	3	4	5	6
Трубопровод подачи этилена на входе в реактор поз. Р	Расход, кг/ч FRC-1	Непрерывно по прибору с записью в журнале каждый час	не более 10000	Диафрагма камерная ДКС 10-100, условное давление 10 МПа, условный диаметр 100 мм. Вторичный прибор Метран-43Ф-Вн-ДД-3494, погрешность 0,5%, верхний предел измерений 400 кПа, рабочее избыточное давление 4 Мпа, выходной сигнал 4...20 мА. Прибор А-100-2125, погрешность 0,5 %, верхний предел измерения 25000 кг/ч, входной сигнал 4...20 мА.	Аппаратчик
Трубопровод подачи хлора на входе в реактор поз. Р	Расход, кг/ч FRC-2	Непрерывно по прибору с записью в журнале каждый час	не более 30000	Диафрагма камерная ДКС 10-100, условное давление 10 МПа, условный диаметр 100 мм. Вторичный прибор Метран-43Ф-Вн-ДД-3494, погрешность 0,5%, верхний предел измерений 400 кПа, рабочее избыточное давление 4 Мпа, выходной сигнал 4...20 мА. Прибор А-100-2125, погрешность 0,5 %, верхний предел измерения 50000 кг/ч, входной сигнал 4...20 мА.	Аппаратчик
Реактор поз. Р	Давление, МПа PIR-3	Непрерывно по прибору с записью в журнале каждый час	не более 0,5	Датчик МС-П1, предел измерения (0÷0,1) МПа, класс точности 1,0. Вторичный прибор РПВ 4.3Э, шкала (0÷0,1) МПа, класс точности 1,0.	Аппаратчик
а) этилен на входе в реактор	Температура, °C TIR-4	Непрерывно по прибору с записью в журнале каждый час	не более 65	ТСПУ-205 Ех, гр.100П, предел измерения (0÷100) °C, класс точности 0,25.	Аппаратчик
б) хлор на входе в реактор	TIR-5		не более 70	Вторичный прибор КСМ4-019И, гр. гр.100П, предел измерения (0÷100) °C, класс точности 0,25.	
Трубопровод подачи 1,2-ДХЭ подпитки на выходе из холодильника поз. Х	Температура, °C TIR-6	Непрерывно по прибору с записью в журнале каждый час	не более 50	ТСПУ-205 Ех, гр.100П, предел измерения (0÷100) °C, класс точности 0,25. Вторичный прибор КСМ4-019И, гр. гр.100П, предел измерения (0÷100) °C, класс точности 0,25.	Аппаратчик
Трубопровод подачи катализатора из емкости поз. Е	Расход, кг/ч FRC-7	Непрерывно по прибору с записью в журнале каждый час	не более 60	Диафрагма камерная ДКС 10-100, условное давление 10 МПа, условный диаметр 100 мм. Вторичный прибор Метран-43Ф-Вн-ДД-3494, погрешность 0,5%, верхний предел измерений 400 кПа, рабочее избыточное давление 4 Мпа, выходной сигнал 4...20 мА. Прибор А-100-2125, погрешность 0,5 %, входной сигнал 4...20 мА.	Аппаратчик
Смеситель поз. См	Уровень, % LRC-8	Непрерывно по прибору с записью в журнале каждый час	30÷70	Датчик УБ-ПВ-1,6, предел измерения (0÷1600) мм. Класс точности 1,0. Вторичный прибор ПВ 10.1Э, шкала (0÷100) %, класс точности 1,0.	Аппаратчик

3 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

1,2-ДХЭ является одним из самых крупнотоннажных галогенпроизводных углеводородов. Применение 1,2-ДХЭ – хорошего растворителя – ограничивается его высокой токсичностью. В основном 1,2-ДХЭ используют в качестве промежуточного продукта для синтеза винилхлорида, винилиденхлорида, этилендиамина, полисульфидного каучука – тиокола, тетрахлорида углерода, перхлорэтилена, 1,1,1-трихлорэтана. В промышленности 1,2-ДХЭ получают двумя методами: прямым хлорированием этилена в жидкой фазе в присутствии катализатора – хлорида железа(III) – или окислительным хлорированием этилена в газовой фазе.

Производственные мощности по выпуску ДХЭ во всём мире составляют около 20 млн т в год.

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

3.1.1 Сегментирование

По результатам проведенного сегментирования рынка были определены основные сегменты, а также выбраны наиболее важные из них (табл. 8).

Таблица 9 – Карта сегментирования

		Характеристика метода				
		Высокий выход продукта	Высокая чистота целевого продукта	Высокая чистота сырья	Дешевое сырье	Низкая температура
Метод получения	Фирма «Diamond Alkali Co.»					
	Фирма «Shell Development Co.»					
	Проведенная исследователь- ская работа					

Карта сегментирования показывает, что все методы имеют преимущества и могут использоваться для производства 1,2-ДХЭ, но метод исследованный в дипломной работе является оптимальным, т. к. охватывает все важные аспекты производства: высокий выход продукта, полное использование сырья и дешевизна производства в целом.

3.1.2. Анализ конкурентных технических решений

Данная дипломная работа посвящена проектированию узла синтеза 1,2-ДХЭ. Для исследования выбран метод прямого хлорирования этилена в жидкой фазе в присутствии катализатора – хлорида железа (III).

В рамках исследования для проведения реакции хлорирования был выбран высокотемпературный реактор жидкофазного хлорирования этилена. Также в производстве используются другие типы реакторов: низкотемпературный реактор жидкофазного хлорирования этилена, вакуумный барботажный

газлифтный реактор жидкофазного хлорирования этилена с выносным конденсатором и гидравлическим затвором. Поэтому необходимо провести анализ конкурентных технических решений с целью убедиться в том, что проектируемая разработка не уступает по качеству конкурентным и после реализации проекта будет отвечать всем требованиям эффективности и надежности при эксплуатации.

Целесообразно проводить данный анализ с помощью оценочной карты (табл. 10). Для этого необходимо отобрать не менее трех-четырех конкурентных товаров и разработок. В качестве последних будем рассматривать следующие:

1) Низкотемпературный реактор жидкофазного хлорирования. Главным достоинством низкотемпературного процесса является высокая селективность (99,8 %), объясняющаяся замедлением побочных реакций заместительно-го хлорирования при снижении температуры. К недостаткам низкотемпературного процесса относятся большой расход сточных вод на стадии очистки продукта от катализатора, значительный расход катализатора на единицу продукции, большие энергетические затраты на охлаждение реакционной массы и нерациональное использование теплоты реакции.

2) Высокотемпературный реактор жидкофазного хлорирования этилена. Важным преимуществом высокотемпературного процесса по сравнению с низкотемпературным является экономичность: выделяющееся тепло расходуется на испарение и ректификацию продуктов, сточные воды отсутствуют, расход катализатора минимален. Недостатком высокотемпературного процесса являются низкая селективность (98,0-98,7 %), связанная с увеличением скорости побочных реакций при росте температуры.

3) Вакуумный барботажный газлифтный реактор жидкофазного хлорирования этилена с выносным конденсатором и гидравлическим затвором. Снижение абсолютного давления в реакторе позволяет понизить температуру кипения рабочей среды ниже 60 °С. Вследствие скорости побочных реакций уменьшаются и повышается селективность процесса. Высокий выход 1,2-ДХЭ

позволяет отказаться от дальнейшей ректификации и очистки от катализатора, что сократит выбросы отходов в окружающую среду. Главным недостатком является габаритность и дорогостоящее обслуживание установки.

Критерии для сравнения и оценки ресурсоэффективности и ресурсосбережения, приведены в таблице 10. Позиция разработки и конкурентов оценивается по каждому показателю экспертным путем по пятибалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 5 – наиболее сильная (баллы заносятся в столбцы 3,4,5). Веса показателей (столбец 2), определяемые экспертным путем, в сумме должны составлять 1. В столбцы 6,7 и 8 заносятся оценки с учетом весовых коэффициентов по каждому критерию. В последней строчке пишется итоговая оценка конкурентоспособности

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot B_i, \quad (29)$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

B_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя.

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

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		B_{ϕ}	B_{k1}	B_{k2}	K_{ϕ}	K_{k1}	K_{k2}
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Производительность по сырью	0,056 (5)	5	5	5	0,28	0,28	0,28
2. Выход 1,2-ДХЭ	0,056 (5)	5	4	5	0,28	0,224	0,28
3. Селективность процесса	0,045 (4)	5	4	4	0,225	0,18	0,18
4. Температура процесса	0,056 (5)	5	3	4	0,28	0,118	0,224
5. Производственный цикл эксплуатации	0,045 (4)	5	3	5	0,225	0,135	0,225
6. Побочные продукты	0,056 (5)	4	5	5	0,224	0,28	0,28
7. Расход сточных вод	0,045 (4)	4	2	5	0,18	0,09	0,225
8. Расход катализатора	0,045 (4)	4	3	4	0,18	0,135	0,18
9. Энергозатраты	0,045 (4)	4	3	4	0,18	0,135	0,18

Продолжение таблицы 10

10. Функциональная мощность (предоставляемые возможности)	0,045 (4)	5	4	4	0,225	0,18	0,18
11. Простота обслуживания	0,034 (3)	5	5	3	0,17	0,17	0,102
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Конкурентоспособность продукта	0,056 (5)	5	5	5	0,28	0,28	0,28
2. Капиталовложения	0,045 (4)	4	3	3	0,18	0,135	0,135
3. Цена	0,045 (4)	5	4	4	0,225	0,18	0,18
4. Предполагаемый срок эксплуатации	0,034 (3)	4	4	3	0,136	0,136	0,102
5. Обслуживание установки	0,045 (4)	5	4	2	0,225	0,18	0,09
6. Экономическая эффективность	0,056 (5)	5	4	4	0,28	0,224	0,224
Итого	1(88)				3,775	2,746	3,347

Б_ф – высокотемпературный реактор;

Б_{к1} – низкотемпературный реактор;

Б_{к2} – вакуумный реактор.

По результатам проведенного анализа видно, что высокотемпературный реактор жидкофазного хлорирования этилена не уступает реакторам другого типа и во многом превосходит их. Данный факт определенно обусловлен весьма весомыми достоинствами данной технологии, которые являются определяющими при выборе процесса: высокий выход продукта, высокая селективность процесса, температура процесса, долгий срок службы реактора.

3.1.3 SWOT-анализ

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

Он проводится в несколько этапов.

Первый этап – составление матрицы SWOT.

1. Сильные стороны. Сильные стороны – это факторы, характеризующие конкурентоспособную сторону научно-исследовательского проекта. Сильные стороны свидетельствуют о том, что у проекта есть отличительное преимущество или особые ресурсы, являющиеся особенными с точки зрения конкуренции.

2. Слабые стороны. Слабость – это недостаток, упущение или ограниченность научно-исследовательского проекта, которые препятствуют достижению его целей. Это то, что плохо получается в рамках проекта или где он располагает недостаточными возможностями или ресурсами по сравнению с конкурентами.

3. Возможности. Возможности включают в себя любую предпочтительную ситуацию в настоящем или будущем, возникающую в условиях окружающей среды проекта, например, тенденцию, изменение или предполагаемую потребность, которая поддерживает спрос на результаты проекта и позволяет руководству проекта улучшить свою конкурентную позицию.

4. Угроза представляет собой любую нежелательную ситуацию, тенденцию или изменение в условиях окружающей среды проекта, которые имеют разрушительный или угрожающий характер для его конкурентоспособности в настоящем или будущем.

Результаты SWOT-анализа представлены в таблице 11.

Таблица 11 – Матрица SWOT

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта: С1 Экономичность и энергоэффективность жидкофазного хлорирования этилена; С2 Более низкая стоимость производства по сравнению с другими технологиями. С3 Высокий выход продукта; С4 Совмещение производства 1,2-ДХЭ с производством винилхлорида; С5 Относительно низкая себестоимость получаемого 1,2-ДХЭ С6 Доступность сырья.	Слабые стороны научно-исследовательского проекта: Сл1 Для производства винилхлорида требуется более высокая чистота 1,2-ДХЭ; Сл2 В ходе процесса образуется большое число побочных продуктов, требующих утилизации; Сл3 Отсутствие прототипа научной разработки; Сл4 Большой срок поставок материалов и комплектующих, необходимых для построения установки.
Возможности: В1 Совершенствование процесса и оборудования для нее; В2 Использование инновационной инфраструктуры ТПУ; В3 Повышение стоимости конкурентных разработок; В4 Повышение спроса.		
Угрозы: У1 Низкая эффективность государственного регулирования отрасли; У2 Препятствия со стороны иностранных государств; У3 Упущение технических новинок; У4 Наступление техногенной аварии; У5 Снижение инвестиционной активности.		

Второй этап – составление интерактивных матриц.

Таблица 12 – Интерактивная матрица проекта «Сильные стороны и возможности»

		Сильные стороны					
		C1	C2	C3	C4	C5	C6
Возможности	B1	+	+	+	+	+	-
	B2	-	-	+	-	-	-
	B3	+	+	-	-	+	-
	B4	-	+	-	+	+	+

Таблица 13 – Интерактивная матрица проекта «Слабые стороны и возможности»

		Слабые стороны			
		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4
Возможности	B1	+	+	+	+
	B2	+	+	-	+
	B3	-	-	-	-
	B4	-	-	-	-

Таблица 14 – Интерактивная матрица проекта «Сильные стороны и угрозы»

		Сильные стороны					
		C1	C2	C3	C4	C5	C6
Угрозы	У1	-	+	-	-	+	-
	У2	+	+	-	-	+	-
	У3	+	+	+	+	+	-
	У4	+	+	-	+	-	-
	У5	-	+	-	-	+	-

Таблица 15 – Интерактивная матрица проекта «Слабые стороны и угрозы»

		Слабые стороны			
		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4
Угрозы	У1	-	+	+	+
	У2	-	+	+	+
	У3	+	+	+	+
	У4	+	+	+	-
	У5	-	-	+	+

Таким образом, в рамках третьего этапа может быть составлена итоговая матрица SWOT-анализа (табл. 16).

Третий этап – составление итоговой матрицы SWOT-анализа.

Таблица 16 – SWOT-анализ

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта: С1 Экономичность и энергоэффективность жидкофазного хлорирования этилена; С2 Более низкая стоимость производства по сравнению с другими технологиями. С3 Высокий выход продукта; С4 Совмещение производства 1,2-ДХЭ с производством винилхлорида; С5 Относительно низкая себестоимость получаемого 1,2-ДХЭ С6 Доступность сырья.	Слабые стороны научно-исследовательского проекта: Сл1 Для производства винилхлорида требуется более высокая чистота 1,2-ДХЭ; Сл2 В ходе процесса образуется большое число побочных продуктов, требующих утилизации; Сл3 Отсутствие прототипа научной разработки; Сл4 Большой срок поставок материалов и комплектующих, необходимых для построения установки.
Возможности: В1 Совершенствование процесса и оборудования для нее; В2 Использование инновационной инфраструктуры ТПУ; В3 Повышение стоимости конкурентных разработок; В4 Повышение спроса.	1. За счет инфраструктуры ТПУ возможно увеличение потенциала разработки. 2. Внедрение новых инновационных разработок позволит увеличить эффективность получения продукта.	1. Использование инфраструктуры ТПУ позволит создать прототип научной разработки, а также обеспечит возможность построения производства; 2. Совершенствование оборудования позволит повысить чистоту 1,2-ДХЭ.
Угрозы: У1 Низкая эффективность государственного регулирования отрасли; У2 Препятствия со стороны иностранных государств; У3 Упущение технических новинок; У4 Наступление техногенной аварии; У5 Снижение инвестиционной активности.	1. Угрозу отсутствия спроса и наличие развитой конкуренции уменьшит качество получаемого продукта. 2. Тенденция к использованию 1,2-ДХЭ в производстве винилхлорида обуславливает значимость процесса, в связи с этим инвестиционная активность не может быть снижена.	1. Необходима разработка новых технологий для повышения качества 1,2-ДХЭ; 2. Своевременное обновление оборудования по современным технологиям устраняет риск наступления техногенной аварии; 3. Разработка отечественных установок позволит снизить влияние иностранных государств на производство.

3.2 Планирование научно-исследовательских работ

3.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке [1]:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;

- построение графика проведения научных исследований.

Для выполнения научных исследований формируется рабочая группа, в состав которой могут входить научные сотрудники и преподаватели, инженеры, техники и лаборанты. По каждому виду запланированных работ устанавливается соответствующая должность исполнителей.

В данном разделе необходимо составить перечень этапов и работ в рамках проведения научного исследования, провести распределение исполнителей по видам работ. Порядок составления работ и этапов, распределение исполнителей по данным видам работ приведены в таблице 17.

Таблица 17 – 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 проведенных исследований	Руководитель, бакалавр
	9	Определение целесообразности проведения ОКР	Руководитель, бакалавр
Разработка технической документации и проектирование	10	Разработка принципиальной схемы	Руководитель, бакалавр
	11	Расчет конструкции нового оборудования	Руководитель, бакалавр
	12	Оценка эффективности производства и применения проектируемого изделия	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

3.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости $t_{ожі}$ используется следующая формула:

$$t_{ожі} = \frac{3 \cdot t_{min i} + 2 \cdot t_{max i}}{5}, \quad (30)$$

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

$t_{min i}$ – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы, чел.-дн.;

$t_{max i}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы, чел.-дн.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i}, \quad (31)$$

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

$t_{ож i}$ – 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:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{кал}, \quad (32)$$

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

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

$k_{кал}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{кал} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}}, \quad (33)$$

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

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

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

Все рассчитанные значения необходимо свести в таблицу 18.

Таблица 18 – Временные показатели проведения научного исследования

№	Наименование работ	Трудоемкость работ						Исполнители	
		t _{min} ,		t _{max} ,		t _{ож} ,			
		чел-дни		чел-дни		чел-дни			
		Руководитель	Бакалавр	Руководитель	Бакалавр	Руководитель	Бакалавр	Руководитель	Бакалавр
1	Составление и утверждение технического задания	4	3	5	6	4,4	4,2	Р	Р
2	Выбор направления исследований	3 3	3 3	5 5	5 5	3,8 3,8	3,8 3,8	Р Б	Р Б
3	Обзор современных методов исследований по выбранному направлению	2 2	2 2	7 7	6 6	3,4 3,4	3,6 3,6	Р Б	Р Б
4	Календарное планирование работ по теме	1 1	2 1	2 2	3 2	1,4 1,4	2,4 1,4	Р Б	Р Б
5	Теоретическое обоснование и выбор экспериментальных методов исследований	20 10	25 10	45 20	45 20	30 14	33 14	Р Б	Р Б
6	Построение моделей и проведение экспериментов	14 14	14 14	30 30	30 30	20,4 20,4	20,4 20,4	Р Б	Р Б
7	Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими исследованиями	5 5	5 5	7 7	7 7	5,8 5,8	5,8 5,8	Р Б	Р Б
8	Оценка эффективности проведенных исследований	1 1	1 1	3 3	3 3	1,4 1,4	1,4 1,4	Р Б	Р Б

Продолжение таблицы 18

9	Определение целесообразности проведения ОКР	3 3	3 3	7 7	7 7	4,6 4,6	4,6 4,6	Р Б	Р Б
10	Разработка принципиальной схемы	3 3	3 3	7 7	7 7	4,6 4,6	4,6 4,6	Р Б	Р Б
11	Расчет конструкции нового оборудования	5 5	5 5	14 14	14 14	8,6 8,6	8,6 8,6	Р Б	Р Б
12	Оценка эффективности производства и применения проектируемого изделия	1 1	1 1	1 1	1 1	1 1	1 1	Р Б	Р Б
13	Составление пояснительной записки	7 7	7 7	8 8	9 9	7 7	7 7	Р Б	Р Б
14	Сдача работы на рецензию	2	2	6	7	3,6	4	Б	Б
15	Предзащита	1 1	1 1	2 2	2 2	1,4 1,4	1,4 1,4	Р Б	Р Б
16	Подготовка к защите дипломной работы	5	5	6	6	5	5	Б	Б
17	Защита дипломной работы	1 1	1 1	1 1	1 1	1 1	1 1	Р Б	Р Б

Р – руководитель; Б – бакалавр.

На основе таблицы 19 строится календарный план-график. График строится для максимального по длительности исполнения работ в рамках научно-исследовательского проекта на основе таблицы 4 с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени дипломирования. При этом работы на графике выделяются различной штриховкой в зависимости от исполнителей, ответственных за ту или иную работу.

Таблица 19 – Расчет длительности исполнения работ

№	Наименование работ	Длительность работ в рабочих днях, T_{pi}		Длительность работ в календарных днях, T_{ki}		Исполнители	
		Руководитель	Бакалавр	Руководитель	Бакалавр	Руководитель	Бакалавр
1	Составление и утверждение технического задания	4,4	4,2	6,5	6,2	Р	Р
2	Выбор направления исследований	1,9 1,9	1,9 1,9	3 3	3 3	Р Б	Р Б
3	Обзор современных методов исследований по выбранному направлению	1,7 1,7	1,6 1,6	3 3	2,4 2,4	Р Б	Р Б
4	Календарное планирование работ по теме	0,7 0,7	1,2 0,7	1 1	1,8 1	Р Б	Р Б
5	Теоретическое обоснование и выбор экспериментальных методов исследований	15 7	16,5 7	22,5 10,5	24,7 10,5	Р Б	Р Б
6	Построение моделей и проведение экспериментов	20,4 20,4	20,4 20,4	30,6 30,6	30,6 30,6	Р Б	Р Б
7	Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими исследованиями	5,8 5,8	5,8 5,8	9 9	9 9	Р Б	Р Б
8	Оценка эффективности проведенных исследований	1,4 1,4	1,4 1,4	2 2	2 2	Р Б	Р Б
9	Определение целесообразности проведения ОКР	4,6 4,6	4,6 4,6	7 7	7 7	Р Б	Р Б
10	Разработка принципиальной схемы	4,6 4,6	4,6 4,6	7 7	7 7	Р Б	Р Б
11	Расчет конструкции нового оборудования	8,6 8,6	8,6 8,6	13 13	13 13	Р Б	Р Б
12	Оценка эффективности производства и применения проектируемого изделия	1 1	1 1	1 1	1 1	Р Б	Р Б
13	Составление пояснительной записки	7 7	7 7	11 11	11 11	Р Б	Р Б

Продолжение таблицы 19

14	Сдача работы на рецензию	3,6	4	5,4	6	Б	Б
15	Предзащита	0,7 0,7	0,7 0,7	1 1	1 1	Р Б	Р Б
16	Подготовка к защите диплом- ной работы	5	5	7	7	Б	Б
17	Защита дипломной работы	1 1	1 1	1 1	1 1	Р Б	Р Б

Таблица 20 – Календарный план-график проведения НИОКР по теме

№	Вид работ	Исполнители	T_{ki} , кал. дн.	Продолжительность выполнения работ												
				февраль		март			апрель			май			июнь	
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2
1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель	6	■												
2	Выбор направления исследований	Руководитель, бакалавр	3		▨											
3	Обзор современных методов исследований по выбранному направлению	Руководитель, бакалавр	3		■ ▨											
4	Календарное планирование работ по теме	Руководитель, бакалавр	1		■ ▨											
5	Теоретическое обоснование и выбор экспериментальных методов исследований	Руководитель, бакалавр	18			■ ▨										
6	Построение моделей и проведение экспериментов	Руководитель, бакалавр	31			▨	■ ▨									
7	Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими исследованиями	Руководитель, бакалавр	9							■ ▨						
8	Оценка эффективности проведенных исследований	Руководитель, бакалавр	2							▨	■ ▨					

Продолжение таблицы 20

[illegible]

■ – руководитель ▨ – бакалавр

3.3 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

3.3.1 Расчет материальных затрат НТИ

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_m = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{\text{рас } xi}, \quad (34)$$

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

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

C_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 $k_T = 0,1$.

Материальные затраты, необходимые для данной разработки, заносятся в таблицу 21.

Таблица 21 – Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество			Цена за ед.,руб.			Затраты на материалы, (Зм), руб.		
		Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
I Сырье и основные материалы										
Технический этилен	т	40000	40000	40000	12000	12000	12000	48000000	48000000	48000000
Технический хлор	т	100000	100000	100000	6000	6000	6000	60000000	60000000	60000000
II Вспомогательные материалы:										
Катализатор прямого хлорирования FeCl ₃	т	16000	20000	18000	4000	4000	4000	6400000	8000000	7200000
III Энергетические затраты										
Электроэнергия	кВт/ч	8000000	9000000	10000000	3,5	3,5	3,5	2800000	3150000	3500000
Вода оборотная	м3	10000	15000000	16000000	0,80	0,80	0,80	800	1200000	1280000
Итого								117200800	120350000	119980000

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

Все расчеты по приобретению спецоборудования и оборудования, используемого для каждого исполнения конкретной темы, сводятся в таблице 22.

Таблица 22 – 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.	Реактор прямого хлорирования	Реактор прямого хлорирования	Реактор прямого хлорирования	1	1	1	900 000	850 000	900 000	900 000	8500 00	900 000
2.	Кожухотрубный теплообменник	Кожухотрубный теплообменник	Кожухотрубный теплообменник	0	1	1	-	150 000 0	150 000 0	-	1500 000	150 000 0
3.	Гидравлический затвор	Гидравлический затвор	Гидравлический затвор	0	0	1	-	-	300 00	-	-	300 00
	Итого									900 000	2350 000	243 000 0
4.	Трубопроводы (5% от основного оборудования)	Трубопроводы (5% от основного оборудования)	Трубопроводы (5% от основного оборудования)							450 00	1175 00	121 500
5.	КИП и монтаж (12% от основного оборудования)	КИП и монтаж (12% от основного оборудования)	КИП и монтаж (12% от основного оборудования)							108 000	2820 00	291 600

Продолжение таблицы 22

6.	Электро- оборудо- вание (11% от основ- ного обо- рудования)	Электро- оборудо- вание (11% от основ- ного обо- рудования)	Электро- оборудо- вание (11% от основ- ного обо- рудования)						990 00	2585 00	267 300
Затраты по монтажу и доставке оборудования									135 000	3525 00	364 500
Итого:									128 700 0	3360 500	347 490 0

3.3.3 Основная заработная плата исполнителей темы

В настоящую статью 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.

Месячный должностной оклад работников рассчитывается по формуле:

$$З_{\text{м}} = З_{\text{тс}} \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) \cdot k_{\text{р}}, \quad (35)$$

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

$k_{\text{пр}}$ – премиальный коэффициент, равный 0,3;

$k_{\text{д}}$ – коэффициент доплат и надбавок составляет 0,2;

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

- Руководитель

$$З_{\text{м}} = 16751,29 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 32665 \text{ руб.},$$

- Бакалавр

$$З_{\text{м}} = 15000 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 29250 \text{ руб.}$$

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$З_{\text{дн}} = \frac{З_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}}, \quad (36)$$

где Z_m – месячный должностной оклад работника, руб.:

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года: при отпуске в 48 раб. дней $M = 10,4$ месяца, 6-дневная неделя;

F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб.дн.

- Руководитель

$$Z_{\text{дн}} = \frac{32665 \cdot 10,4}{245} = 1385,6 \text{ руб.},$$

- Бакалавр

$$Z_{\text{дн}} = \frac{29250 \cdot 10,4}{245} = 1241,6 \text{ руб.}$$

Таблица 23 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Бакалавр
Календарное число дней	366	366
Количество нерабочих дней:		
• выходные дни	52	52
• праздничные дни	14	14
Потери рабочего времени:		
• отпуск	48	48
• невыходы по болезни	7	7
Действительный годовой фонд рабочего времени	245	245

Основная заработная плата ($Z_{\text{осн}}$) от предприятия рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_p, \quad (37)$$

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

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

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

- Руководитель

$$Z_{\text{осн}} = 1385,6 \cdot 26 = 36025,6 \text{ руб.},$$

- Бакалавр

$$З_{\text{осн}} = 1241,6 \cdot 102 = 126643,3 \text{ руб.}$$

Таблица 24 –Расчёт основной заработной платы

Исполнители	З _{тс} , руб.	k _{пр}	k _д	k _р	З _м , руб.	З _{дн} , руб.	Т _р , раб. дн.	З _{осн} , руб.
Руководитель	16751,29	0,3	0,2	1,3	32665	1385,6	26	36025,6
Бакалавр	15000	0,3	0,2	1,3	29250	1241,6	102	126643,3
Итого								162668,9

3.3.4 Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы учитывают величину предусмотренных Трудовым кодексом РФ доплат за отклонение от нормальных условий труда, а также выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций (при исполнении государственных и общественных обязанностей, при совмещении работы с обучением, при предоставлении ежегодного оплачиваемого отпуска и т.д.).

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$З_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot З_{\text{осн}}, \quad (38)$$

где $k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12 – 0,15).

- Руководитель

$$З_{\text{доп}} = 0,14 \cdot 36025,6 = 5043,6 \text{ руб.},$$

- Бакалавр

$$З_{\text{доп}} = 0,14 \cdot 126643,3 = 17730 \text{ руб.}$$

3.3.5 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Отчисления во внебюджетные фонды являются обязательными по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$З_{внеб} = k_{внеб} \cdot (З_{осн} + З_{доп}), \quad (39)$$

где $k_{внеб}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

На 2016 г. в соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30%. На основании пункта 1 ст.58 закона №212-ФЗ для учреждений осуществляющих образовательную и научную деятельность в 2014 году водится пониженная ставка – 30%.

Отчисления во внебюджетные фонды представлены в таблице 25.

Таблица 25 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.
Руководитель	36025,6	5043,6
Бакалавр	126643,3	17730
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,30	
Итого		
Руководитель	11129,7	
Бакалавр	39125,2	

3.3.6 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергия, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д. Их величина определяется по следующей формуле:

$$З_{\text{накл}} = k_{\text{нр}} \cdot (\text{сумма статей } 1 \div 4), \quad (40)$$

где $k_{\text{нр}}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы. Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%.

$$З_{\text{накл}} = 0,16 \cdot (2940 + 162668,9 + 22773,6 + 50254,9) = 38182 \text{ руб.}$$

3.3.7 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской 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 научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в таблице 26.

Таблица 26 – Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб.		
	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1. Материальные затраты НТИ	117200800	120350000	119980000
2. Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	1287000	3360500	3474900
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	162669	162669	162669
4. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	22774	22774	22774

Продолжение таблицы 26

5. Отчисления во внебюджетные фонды	50255	50255	50255
6. Накладные расходы	38182	38182	38182
7. Бюджет затрат НТИ	118761680	123984380	123728780

Как видно из таблицы 26 основные затраты НТИ приходятся на материальные затраты.

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

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (41)$$

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).

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

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i, \quad (42)$$

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 – балльная оценка i -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

n – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности приведен в форме таблице 27.

В качестве возможных исполнений проекта условно были приняты: исполнение 1 – высокотемпературный реактор прямого хлорирования, исполнение 2 – низкотемпературный реактор прямого хлорирования, исполнение 3 – вакуумный реактор прямого хлорирования.

Таблица 27 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии \ Объект исследования	Весовой коэффициент параметра	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1. Способствует росту производительности труда	0,1	4	4	5
2. Удобство в эксплуатации	0,15	5	4	3
3. Энергосбережение	0,15	5	4	3
4. Надежность	0,20	4	4	5
5. Воспроизводимость	0,25	5	4	5
6. Материалоемкость	0,15	5	4	3
ИТОГО	1	4,7	4	4,1

Сравнив значения интегральных показателей ресурсоэффективности можно сделать вывод, что реализация технологии в первом исполнении является более эффективным вариантом для проектирования с позиции ресурсосбережения.

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

$$I_{исп1} = \frac{I_{р-исп1}}{I_{финр}}, \quad I_{исп2} = \frac{I_{р-исп2}}{I_{финр}}, \text{ и т.д.} \quad (43)$$

Сравнительная эффективность проекта ($\mathcal{E}_{ср}$):

$$\mathcal{E}_{ср} = \frac{I_{исп1}}{I_{исп2}} \quad (44)$$

Таблица 28 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,96	1	0,98
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,7	4	4,1
3	Интегральный показатель эффективности	4,86	4	4,18
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	0,82	0,86

Вывод: сравнительный анализ интегральных показателей эффективности показывает, что предпочтительным является первый вариант исполнения, так как данный вариант исполнения является наиболее экономичным и ресурсоэффективным.

В рамках данного раздела ВКР была проведена оценка конкурентоспособности высокотемпературного реактора хлорирования этилена по сравнению с аналогами, рассчитан показатель, оценивающий перспективность данной технологии, который определяет уровень перспективности как «выше среднего». Был составлен перечень этапов работ и определена их трудоемкость, построен календарный план-график выполнения работ. Рассчитан ориентировочный бюджет на создание научной разработки, а также проведена оценка эффективности научного исследования с позиции ресурсосбережения и сравнительная эффективность разработки.