

Школа: Инженерная школа природных ресурсов
 Направление подготовки (специальность): 18.03.01 Химическая технология
 Отделение школы (НОЦ): Отделение химической инженерии

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИНТЕЗА МЕТАНОЛА

УДК 661.721.091.3:519.876

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-2Д7Г	Ахунбаева Валентина Константиновна		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Юрьев Егор Михайлович	к.т.н.		

Консультант

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Кащук И.В.	к.т.н., доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Мезенцева И.Л.			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОХИ ИШПР	Кузьменко Елена Анатольевна	к.т.н., доцент		

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ ООП

Код компетенции	Наименование компетенции
Универсальные компетенции	
УК(У)-1	Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач
УК(У)-2	Способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений
УК(У)-3	Способен осуществлять социальное взаимодействие и реализовывать свою роль в команде
УК(У)-4	Способен осуществлять деловую коммуникацию в устной и письменной формах на государственном и иностранном(-ых) языке(-ах)
УК(У)-5	Способен воспринимать межкультурное разнообразие общества в социально-историческом, этическом и философском контекстах
УК(У)-6	Способен управлять своим временем, выстраивать и реализовывать траекторию саморазвития на основе принципов образования в течение всей жизни
УК(У)-7	Способен поддерживать должный уровень физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности
УК(У)-8	Способен создавать и поддерживать безопасные условия жизнедеятельности, в том числе при возникновении чрезвычайных ситуаций
Общепрофессиональные компетенции	
ОПК(У)-1	Способность применять естественнонаучные и общинженерные знания, методы математического анализа и моделирования в инженерной деятельности, связанной с проектированием и конструированием, технологиями производства оптоэлектроники, оптических и оптико-электронных приборов и комплексов
ОПК(У)-2	Способность осуществлять профессиональную деятельность с учетом экономических, экологических, интеллектуально правовых, социальных и других ограничений на всех этапах жизненного цикла технических объектов и процессов
ОПК(У)-3	Готовность использовать знания о строении вещества, природе химической связи в различных классах химических соединений для понимания свойств материалов и механизма химических процессов, протекающих в окружающем мире
ОПК(У)-4	Владение пониманием сущности и значения информации в развитии современного информационного общества, осознания опасности и угрозы, возникающих в этом процессе, способность соблюдать основные требования информационной безопасности, в том числе защиты государственной тайны
ОПК(У)-5	Владение основными методами, способами и средствами получения, хранения, переработки информации, навыками работы с компьютером как

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

Школа Инженерная школа природных ресурсов
Направление подготовки (специальность) 18.03.01. «Химическая технология» (Химическая технология подготовки и переработки нефти и газа)
Отделение школы Отделение химической инженерии

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель ООП
_____ Кузьменко Е.А.
(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
3-2Д7Г	Ахунбаевой Валентине Константиновне

Тема работы:

Математическое моделирование синтеза метанола	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	28-91/с от 28.01.2022 г.

Срок сдачи студентом выполненной работы:	06 июня 2022 г.
--	------------------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе <i>(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.).</i>	1) Данные для расчета процесса синтеза метанола повышенной производительности на моделирующей программе Таблица 1 — Технологические параметры для расчета на программе																					
	<table border="1"><thead><tr><th>№</th><th>Параметр</th><th>Значение</th></tr></thead><tbody><tr><td>1</td><td>Расход газа на 1 реактор, тыс. $\text{м}^3/\text{час}$</td><td><i>требует определения</i></td></tr><tr><td>2</td><td>Температура сырья на 1ую полку, °С</td><td>210-250</td></tr><tr><td>3</td><td>Температура байпасных потоков, °С</td><td>55-70</td></tr><tr><td>4</td><td>Давление в реакторе, МПа</td><td>4,0-8,2</td></tr><tr><td>5</td><td>Относительное распределение потоков по полкам реактора (об. %)</td><td>61/13/13/13</td></tr><tr><td>6</td><td>Длины катализаторных полок, м</td><td>1,63/2,26/1,73/3,08</td></tr></tbody></table>	№	Параметр	Значение	1	Расход газа на 1 реактор, тыс. $\text{м}^3/\text{час}$	<i>требует определения</i>	2	Температура сырья на 1ую полку, °С	210-250	3	Температура байпасных потоков, °С	55-70	4	Давление в реакторе, МПа	4,0-8,2	5	Относительное распределение потоков по полкам реактора (об. %)	61/13/13/13	6	Длины катализаторных полок, м	1,63/2,26/1,73/3,08
	№	Параметр	Значение																			
	1	Расход газа на 1 реактор, тыс. $\text{м}^3/\text{час}$	<i>требует определения</i>																			
2	Температура сырья на 1ую полку, °С	210-250																				
3	Температура байпасных потоков, °С	55-70																				
4	Давление в реакторе, МПа	4,0-8,2																				
5	Относительное распределение потоков по полкам реактора (об. %)	61/13/13/13																				
6	Длины катализаторных полок, м	1,63/2,26/1,73/3,08																				
Таблица 2 - Состав синтез-газа, поступающего в реактор																						
<table border="1"><thead><tr><th>Вещество</th><th>CO</th><th>CO₂</th><th>H₂</th><th>N₂</th><th>CH₄</th><th>H₂O</th><th>Метанол</th><th>Диметиловый эфир</th></tr></thead><tbody><tr><td>Содержание вещества, мольн. %</td><td>3,069</td><td>2,00</td><td>82,483</td><td>0,917</td><td>10,967</td><td>0,077</td><td>0,475</td><td>0,012</td></tr></tbody></table>	Вещество	CO	CO ₂	H ₂	N ₂	CH ₄	H ₂ O	Метанол	Диметиловый эфир	Содержание вещества, мольн. %	3,069	2,00	82,483	0,917	10,967	0,077	0,475	0,012				
Вещество	CO	CO ₂	H ₂	N ₂	CH ₄	H ₂ O	Метанол	Диметиловый эфир														
Содержание вещества, мольн. %	3,069	2,00	82,483	0,917	10,967	0,077	0,475	0,012														
2) Для расчета на моделирующей программе UniSim Design R470																						

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Юрьев Е.М.	К.Т.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-2Д7Г	Ахунбаева Валентина Константиновна		

подсистем разделения синтез-газа и метанола-сырца, а также компрессоров синтез-газа, используются данные о составе свежего синтез-газа и результаты расчета процесса повышенной производительности, полученные от программы моделирования реактора синтеза метанола.

Таблица 3 - Состав свежего синтез-газа

Вещество	CO	CO ₂	H ₂	N ₂	CH ₄	H ₂ O	Метанол	Диметиловый эфир
Содержание вещества, мольн. %	14,554	7,465	73,708	0,29	3,516	0,467	—	—

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов

(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).

- 1) Введение.
- 2) Теоретическая часть. Физико-химические основы синтеза метанола. Термодинамические основы синтеза метанола.
- 3) Современные катализаторы синтеза метанола.
- 4) Технология промышленного синтеза метанола на низкотемпературных катализаторах и технологическая схема. Конструкция реакторов синтеза метанола на низкотемпературных катализаторах.
- 5) Цели и задачи работы.
- 6) Характеристика объекта исследования — установки синтеза метанола «М-750».
- 7) Характеристика инструментов исследования: моделирующей программы синтеза метанола и моделирующей программы Unisim Design R470.
- 8) Моделирование установки синтеза метанола с четырехполочным реактором на компьютерной программе:
 - Исследование профилей температур и концентраций в реакторе;
 - Подбор расхода сырья для получения повышенного расхода метанола на установке;
 - Оценка показателей работы подсистемы разделения синтез-газа и метанола-сырца, а также компрессоров синтез-газа, при повышенной производительности по метанолу (в системе UniSim Design R470);
 - Исследование влияния увеличения расхода сырья на расход метанола из реактора при среднем давлении;
 - Прогноз изменения активности катализатора при повышенной производительности по метанолу;
- 9) Обсуждение результатов: показатели технологического режима установки М-750 при повышенной производительности по метанолу, длительная работа катализатора в условиях повышенной производительности — прогноз активности катализатора.
- 10) Раздел «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение».
- 11) Раздел «Социальная ответственность».
- 12) Заключение (выводы).

Перечень графического материала

(с точным указанием обязательных чертёжей)

- 1) Технологическая схема синтеза метанола на низкотемпературном катализаторе (агрегат М-750 или аналог).
- 2) Сырье (исходные данные) и продукты (результаты расчета на моделирующей программе) реактора синтеза метанола.
- 3) Технологическая схема разделения продуктов реактора синтеза метанола и подсистема компримирования синтез-газа.
- 4) Профили температур и концентраций продуктов в реакторе.
- 5) Результаты подбора технологического режима в реакторе для повышенной производительности по метанолу.
- 6) График зависимости относительного увеличения расхода

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Юрьев Е.М.	К.Т.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-2Д7Г	Ахунбаева Валентина Константиновна		

	метанола от относительного увеличения расхода сырья в реакторе. 7) Зависимость активностей катализатора на полках реактора от времени работы катализатора при разных мощностях установки.
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>	
Раздел	Консультант
«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	Кашук Ирина Вадимовна, к.т.н., доцент, отделение социально-гуманитарных наук ТПУ
«Социальная ответственность»	Мезенцева Ирина Леонидовна, старший преподаватель, отделение общетехнических дисциплин ТПУ
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
—	
Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	14.04.2022 г.

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Юрьев Е.М.	К.Т.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-2Д7Г	Ахунбаева Валентина Константиновна		

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

Инженерная школа природных ресурсов
 Отделение химической инженерии
 Направление 18.03.01 Химическая технология
 Профиль «Химическая технология природных энергоносителей и углеродных материалов»
 Уровень образования — бакалавриат
 Период выполнения — весенний семестр 2021/2022 учебного года

Форма представления работы:

бакалаврская работа

(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
выполнения выпускной квалификационной работы**

Срок сдачи студентом выполненной работы:	20 мая 2022 г.
--	----------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
25.02.2022 г.	Введение.	10
15.03.2022 г.	Теоретическая часть. Физико-химические основы синтеза метанола. Термодинамические основы синтеза метанола. Современные катализаторы синтеза метанола. Технология промышленного синтеза метанола на низкотемпературных катализаторах и технологическая схема. Конструкция реакторов синтеза метанола на низкотемпературных катализаторах.	20
05.04.2022 г.	Цели и задачи работы. Характеристика объекта исследования — установки синтеза метанола «М-750». Характеристика инструментов исследования: моделирующей программы синтеза метанола и моделирующей программы Unisim Design R470.	20
07.05.2022 г.	Моделирование установки синтеза метанола с четырехполочным реактором на компьютерной программе: Исследование профилей температур и концентраций в реакторе; Подбор расхода сырья для получения повышенного расхода метанола на установке; Оценка показателей работы подсистемы разделения синтез-газа и метанола-сырца, а также компрессоров синтез-газа, при повышенной производительности по метанолу (в системе UniSim Design R470); Исследование влияния увеличения расхода сырья на расход метанола из реактора при среднем давлении; Прогноз изменения активности катализатора при повышенной производительности по метанолу. Обсуждение результатов:	40
06.06.2022 г.	Раздел «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение». Раздел «Социальная ответственность». Заключение (выводы).	10

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Юрьев Е.М.	К.Т.Н.		

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-2Д7Г	Ахунбаева Валентина Константиновна		

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Кузьменко Е.А.	К.Т.Н.		

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

Студенту:

Группа	ФИО
3-2Д7Г	Ахунбаевой Валентине Константиновне

Школа	Инженерная школа природных ресурсов	Отделение школы (НОЦ)	Отделение химической инженерии
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	18.03.01.Химическая технология

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

<i>1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	<i>Стоимость материальных ресурсов и специального оборудования определены в соответствии с рыночными ценами г. Томска. Тарифные ставки исполнителей определены штатным расписанием НИ ТПУ</i>
<i>2. Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	<i>Норма амортизационных отчислений на специальное оборудование</i>
<i>3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	<i>Процент отчислений на социальные нужды – 30,2% от заработной платы.</i>

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<i>1. Оценка коммерческого потенциала инженерных решений (ИР)</i>	<i>Потенциальные потребители результатов исследования Анализ конкурентных технических решений SWOT-анализ</i>
<i>2. Формирование плана и графика разработки и внедрения ИР</i>	<i>Структура работ в рамках научного исследования Определение трудоемкости работ График проведения научного исследования</i>
<i>3. Составление бюджета инженерного проекта (ИП)</i>	<i>Расчет бюджетной стоимости НИ</i>
<i>4. Оценка ресурсной, финансовой, социальной, бюджетной эффективности ИР и потенциальных рисков</i>	<i>Интегральный финансовый показатель разработки Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки Интегральный показатель эффективности Сравнительная эффективность вариантов исполнения</i>

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

<ol style="list-style-type: none"> 1. Оценка конкурентоспособности технических решений 2. Матрица SWOT 3. Альтернативы проведения НИ 4. График проведения и бюджет НИ 5. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ 	
---	--

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Кашук Ирина Вадимовна	к.т.н доцент		28.02.22

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-2Д7Г	Ахунбаева Валентина Константиновна		28.02.22

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа		ФИО	
3-2Д7Г		Ахунбаева Валентина Константиновна	
Школа	Инженерная школа природных ресурсов	Отделение (НОЦ)	Отделение химической инженерии
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	18.03.01.Химическая технология

Тема ВКР:

Математическое моделирование синтеза метанола	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
<p>Введение</p> <ul style="list-style-type: none"> - Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика) и области его применения. - Описание рабочей зоны (рабочего места) при разработке проектного решения/при эксплуатации 	<p><i>Объект исследования: моделирование процесса синтеза метанола. Область применения: нефтехимическая промышленность Рабочая зона: лаборатория Размеры помещения 4 м * 5 м.</i></p> <p><i>Количество и наименование оборудования рабочей зоны: ЭВМ (ПК) – 3 шт.; МФУ Canon – 1 шт.</i></p> <p><i>Рабочие процессы, связанные с объектом исследования, осуществляющиеся в рабочей зоне: моделирование процессов в специализированной программе расчета синтеза метанола. Программа meth_K моделирует процесс синтеза метанола на агрегате М-750</i></p>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<p>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности при разработке проектного решения:</p> <ul style="list-style-type: none"> - специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; - организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	<p>ТК РФ Статья 351.6. Особенности регулирования труда работников в сфере электроэнергетики, сфере теплоснабжения, в области промышленной безопасности, области безопасности гидротехнических сооружений;</p> <p>Федеральный закон от 28 декабря 2013 г. N 426-ФЗ «О специальной оценке условий труда».</p>
<p>2. Производственная безопасность при разработке проектного решения:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Анализ выявленных вредных и опасных производственных факторов 	<p>Опасные факторы:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Неподвижные режущие, колющие, обдирающие, разрывающие части твердых объектов; 2. Производственные факторы, связанные с повышенным уровнем ионизирующих излучений; 3. Производственные факторы, связанные с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов, под действие которого попадает работающий. <p>Вредные факторы:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Повышенный уровень общей вибрации; 2. Повышенный уровень локальной вибрации; 3. Повышенный уровень шума; 4. Отсутствие или недостаток необходимого искусственного освещения; 5. Производственные факторы, связанные с

	<p>аномальными микроклиматическими параметрами воздушной среды на местонахождении работающего;</p> <p>6. Монотонность труда, вызывающая монотонию;</p> <p>Требуемые средства коллективной и индивидуальной защиты от выявленных факторов: изоляция проводов и её непрерывный контроль; предупредительная сигнализация и блокировка; использование знаков безопасности и предупреждающих плакатов; защита от случайного прикосновения; защитное заземление; защитное отключение оборудования.</p>
3. Экологическая безопасность при разработке проектного решения	<p>Воздействие на селитебную зону – не оказывается.</p> <p>Воздействие на литосферу– твердые отходы.</p> <p>Воздействие на гидросферу– не оказывается.</p> <p>Воздействие на атмосферу– тепловое воздействие оборудования.</p>
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях при разработке проектного решения	<p>Возможные ЧС: пожар, Природные катастрофы: наводнение, цунами ураган, удары молний и т.д.;</p> <p>Наиболее типичная ЧС: пожар.</p>
Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Мезенцева Ирина Леонидовна			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-2Д7Г	Ахунбаева Валентина Константиновна		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа бакалавра содержит 83 страницы, 16 рисунков, 23 таблицы, 22 источника.

Ключевые слова: метанол, синтез, катализатор, моделирование, расход сырья, работа подсистем, расход метанола.

Объектом исследования является установка синтеза метанола «М-750».

Целью работы является исследование параметров (режимов) работы агрегата синтеза метанола М-750 при повышении производительности реакторов по сырью.

В ходе подбора расхода сырья для получения повышенного расхода метанола на установке выявили, что при увеличении давления в реакторе требуется меньший расход сырья на производство метанола.

Также проводилось исследование работы подсистем сжатия синтез-газа и разделения продуктов синтеза метанола. Полученные результаты могут быть использованы при определении необходимости замены сепараторов разделения синтез-газа и метанола-сырца и компрессоров, служащих для сжатия синтез газа. А также для оценки потерь ценных газов с продувочными газами.

Оглавление

Введение	15
1 Теоретическая часть	17
1.1 Физико-химические основы синтеза метанола. Термодинамические основы синтеза метанола	17
1.2 Современные катализаторы синтеза метанола	20
1.3 Технология промышленного синтеза метанола на низкотемпературных катализаторах	22
2 Характеристика объекта исследования	26
2.1 Цели и задачи работы	26
2.2 Характеристика объекта исследования – установки синтеза метанола «М-750»	27
2.3 Характеристика инструментов исследования: моделирующей программы синтеза метанола и моделирующей программы Unisim Design R470	32
3 Моделирование установки синтеза метанола с четырехполочным реактором на компьютерной программе	36
3.1 Постановка задачи	36
3.2 Исследование профилей температур и концентраций в реакторе	36
3.3 Подбор расхода сырья для получения повышенного расхода метанола на установке	39
3.4 Оценка показателей работы подсистемы разделения синтез-газа и метанола-сырца, а также компрессоров синтез-газа, при повышенной производительности по метанолу (в системе UniSim Design R470)	40
3.5 Исследование влияния увеличения расхода сырья на расход метанола из реактора при среднем давлении	44
3.6 Прогноз изменения активности катализатора при повышенной производительности по метанолу	45

3.7 Обсуждение результатов.....	48
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение ...	50
4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	50
4.2 Планирование научно – исследовательских работ.....	55
4.3 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)	60
4.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования ..	65
5 Социальная ответственность	68
5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности разработке проектного решения.....	68
5.2 Производственная безопасность при разработке проектного решения .	71
5.3 Экологическая безопасность	76
5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях при разработке проектного решения.....	77
Заключение	80
Список использованных источников	82

ВВЕДЕНИЕ

Метанол является одним из актуальных по масштабам производства и по значению органическим соединением, выпускаемым химической промышленностью. В начале XXI века в мире значительно выросла потребность в метаноле. Это обуславливается расширением области применения метанола в качестве сырья в химической промышленности. На сегодняшний день в России метанол является основным сырьём для синтеза формальдегида (примерно 45% от всего объема производимого метанола), метиламина (~8%), диметилтерефталата (~4%), пентаэритрита и метилметакрилата (менее 3%) [1].

Помимо использования метанола в качестве сырья, также метанол используется непосредственно как продукт, например, в газовой промышленности для предотвращения образования газовых гидратов. В связи с увеличением спроса на метанол, создаются установки крупной единичной мощности и улучшаются действующие.

В XXI веке более интенсивно развиваются исследования по поиску новых областей применения метилового спирта для получения большого числа химических веществ из сырья не нефтяного происхождения. Это позволит не только обеспечить потребности природного хозяйства в необходимых продуктах, но и также позволит получить химической промышленности малую долю независимости от нефти и роста цен на её добычу.

Объектом исследования является установка синтеза метанола «М-750».

Цель работы – исследование параметров (режимов) работы агрегата синтеза метанола М – 750 при повышении производительности реакторов по сырью.

Для достижения поставленной цели в работе решаются следующие основные задачи:

- рассмотреть теоретические основы синтеза метанола;
- дать характеристику объекта исследования;
- провести моделирование установки синтеза метанола с четырехполочным реактором на компьютерной программе Unism Design.

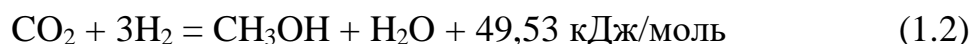
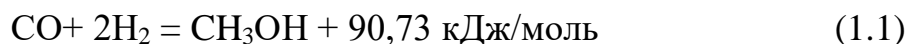
Также в работе рассматриваются разделы «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» и «Социальная ответственность».

1 ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

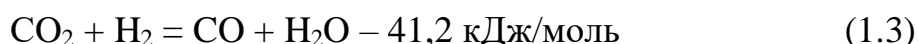
1.1 Физико-химические основы синтеза метанола.

Термодинамические основы синтеза метанола

Основные реакции образования метанола – взаимодействие оксида и диоксида углерода с водородом [1]:



Тепловой эффект реакции взаимодействия оксида углерода и водорода незначительно возрастает с повышением температуры и давления. Кроме этих реакций, при синтезе метанола протекает и эндотермическая обратимая реакция взаимодействия диоксида углерода и водорода [1].



Поскольку реакции (1.1) и (1.2) равновесны, синтез лучше проводить при повторной циркуляции газов после каждого прохождения через слой катализатора и удаления воды и метанола из циркулирующего газа. Объемная скорость циркуляции газа приводит к увеличению съема метанола на единицу объема катализатора. Однако, если кратность цикла больше 5 (отношение объема возвращенного газа к объему свежего синтез-газа), выход метанола незначительно увеличивается. [2, 3].

Для низкотемпературного синтеза метанола (200 – 260 °С) эффективным диапазоном давлений является 4,9 – 19,6 МПа, при дальнейшем увеличении давления равновесная концентрация CH_3OH изменяется незначительно. Концентрация H_2O также, как и CH_3OH увеличивается с повышением давления.

Удаление метанола из циркулирующего газа по принципу смещения равновесия перемещает основную реакцию вправо, то есть в направлении образования метанола, поэтому, чем меньше неконденсированного метанола

содержится в возвращаемом газе, тем выше производительность катализатора. В процессе работы реактора активность верхнего слоя катализатора постепенно снижается, а больший съём метанола постепенно перемещается в расположенные ниже слои.

Рассмотрим влияние различных факторов на процесс синтеза метанола.

Влияние состава исходного газа на процесс синтеза метанола.

Главной характеристикой состава синтез-газа является соотношение $H_2 : CO$, которое будет различным в зависимости от метода и сырья при котором был получен газ. При соотношении $H_2 : CO$ выше стехиометрического с ростом концентрации диоксида углерода в исходном газе (за счет изменения концентрации инертных компонентов при $H_2 : CO = const$) равновесная концентрация метанола и воды повышается. При стехиометрическом соотношении $H_2 : CO$ с увеличением концентрации CO_2 равновесный выход метанола снизится [4].

Максимальная концентрация метанола соответствует стехиометрическому соотношению $H_2 : CO$ в исходном газе. Концентрации CO_2 и CH_3OH в равновесной смеси проходят через максимум. При снижении соотношения $H_2 : CO$ степень превращения оксидов углерода в метанол уменьшается, а степень превращения водорода увеличивается.

При повышении содержания инертных компонентов в исходном газе равновесная концентрация метанола снижается. Это обусловлено тем, что с увеличением концентрации инертных компонентов в газовой смеси парциальные давления основных реагирующих компонентов становятся меньше [1, 4].

Влияние давления на процесс синтеза метанола. Увеличение давления процесса (по принципу смещения равновесия химических реакций) смещает равновесие основных реакций (1) и (2) вправо, т.е. в сторону образования метанола.

Из рисунка 1.1 видно, что с увеличением давления равновесный выход метанола увеличивается. Для низкотемпературного синтеза метанола (200 – 260 °С) эффективным диапазоном давлений является 4,9 – 19,6 МПа, при дальнейшем увеличении давления равновесная концентрация CH_3OH изменяется незначительно [5]. Концентрация H_2O также, как и CH_3OH увеличивается с повышением давления.

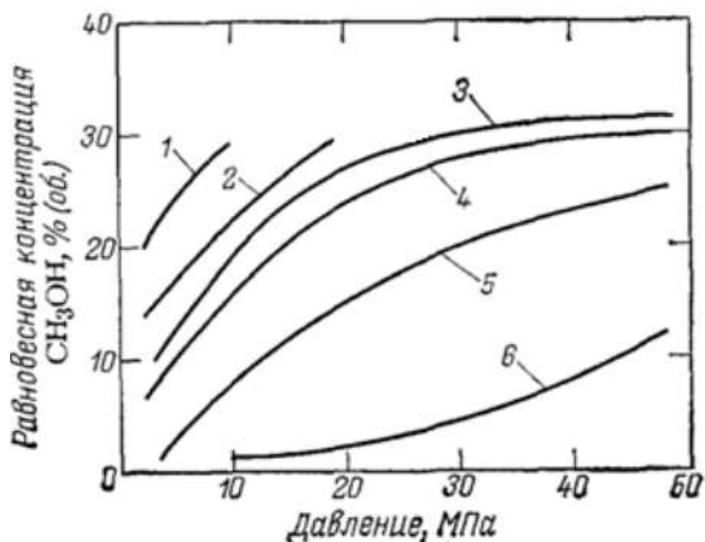


Рисунок 1.1 – Зависимость равновесной концентрации метанола от давления при различных температурах: 1-6 – кривые концентрации метанола при температурах 200, 220, 240, 260, 300, 400 °С соответственно [4]

Рисунок 1.1 иллюстрирует, что для низкотемпературного синтеза метанола (200 – 260 °С) эффективным диапазоном давлений является 4,9 – 19,6 МПа, при дальнейшем увеличении давления равновесная концентрация CH_3OH изменяется незначительно [5]. Концентрация H_2O также, как и CH_3OH увеличивается с повышением давления.

Влияние температуры на процесс синтеза метанола. В условиях синтеза при низких температурах увеличение температуры процесса приводит к уменьшению равновесной концентрации метанола, концентрация воды увеличивается. В таблице 1.1 представлены данные равновесного состава газа при давлении 29,4 МПа [6].

Таблица 1.1 – Равновесный состав газа при давлении 29,4 МПа и различных температурах [7]

Температура, °С	Содержание в равновесной смеси, % об.					
	CO ₂	CO	H ₂	H ₂ O	CH ₃ OH	CH ₄ +N ₂
240	8,88	2,91	10,15	0,68	29,62	47,76
260	8,52	4,45	12,86	0,73	27,15	46,29
280	8,08	6,32	16,11	0,82	24,17	44,50
300	7,59	8,42	19,76	0,91	20,82	42,50
400	5,16	18,45	37,00	1,43	4,97	32,99

В условиях синтеза при низких температурах увеличение температуры процесса приводит к уменьшению равновесной концентрации метанола, концентрация воды увеличивается.

1.2 Современные катализаторы синтеза метанола

Мировыми лидерами в производстве катализаторов синтеза метанола являются такие крупные и всемирно известные компании, как «Johnson Matthey», «Sud-Chemie» AG – Германия, «Haldor Topsoe» – Дания [8]. Катализаторы синтеза метанола, предлагаемые этими компаниями, охватывают почти весь мировой рынок.

Катализаторы компании «Johnson Matthey» серии «Katalco-51» нашли широкое применение в мировой практике синтеза метанола [8]. Новейшими катализаторами являются Katalco-51-8 и Katalco-51-9 [8]. В его состав помимо обычного носителя ZnO-Al₂O₃ входит и оксид магния, способствующий образованию кристаллитов при приготовлении катализатора и такому их распределению по поверхности носителя, чтобы высокая поверхность меди сохранялась все время службы катализатора [8].

Катализаторы фирмы «Johnson Matthey» применяются на трех российских производствах метанола – ОАО «Метанол» (Томск), ОАО «Метафракс» (Губаха), ОАО «Тольяттиазот» [9].

Катализаторы фирмы «Sud-Chemie» AG характеризуются лучшей селективностью, длительным сроком службы, наилучшими эксплуатационными показателями. Не так давно был разработан новый катализатор С 79–7 GL, сочетающий в себе длительный срок службы с высокой активностью (до 7 лет) и высокую селективность [10].

Обычно ресурс стойкости катализаторов метанола варьируются между 4 и 6 годами. При синтезе метанола образуется некоторое количество побочных продуктов, главные из которых – этанол, высшие спирты и ацетон. В данном отношении катализатор значительно превзошел прогнозы.

Несмотря на то, что гарантированный срок службы равняется 5 годам, однако ожидаемый ресурс стойкости достигает 7 лет. Катализатор показал очень высокую активность при старте, а сравнительно быстрая деактивация, которая часто встречается у катализаторов метанола, в данном случае не наблюдалась.

В России катализаторы С 79–5 GL и С 79–6 GL активно применяются на ОАО «Акрон» (Великий Новгород) [10].

Компанией «Haldor Topsoe» были разработаны и выпущены катализатор синтеза метанола МК–101 (1984 г.) и более новый и совершенный катализатор МК–121 (1999 г.) [10]. Катализатор МК–101 имеет высокую и стабильную каталитическую активность, что обеспечивает оптимальную эффективность использования углеводородного сырья. Он также обладает высокой селективностью. Рекомендуемый диапазон рабочих температур для него составляет 205 – 310°C. Возможно также кратковременное воздействие высоких температур вплоть до 350°C. Катализатор разработан для рабочих давлений 4 – 12 МПа, но ими не ограничен [10].

Ожидаемый срок службы катализатора МК–101 составляет 3 – 6 лет в зависимости от конструкции агрегата и установленного объема катализатора. В 1999 году компанией был разработан катализатор синтеза метанола МК–

121. Данный катализатор обладает на 10% большей активностью, большей стабильностью активности, а также большей селективностью (примерно на 15%), чем МК–101.

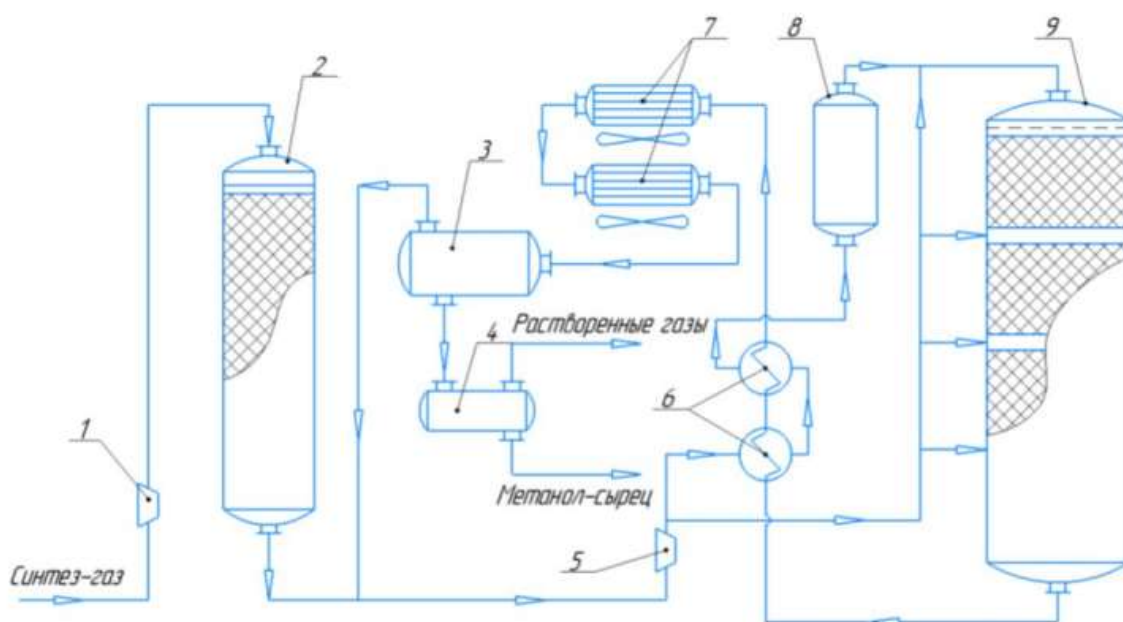
В России катализаторы компании использовались на ОАО «Акрон» (Новгород) [10].

1.3 Технология промышленного синтеза метанола на низкотемпературных катализаторах

Снижение температуры процесса способствует повышению равновесных выходов метанола, увеличению селективности процесса и позволяет проводить его при пониженных давлениях. Именно поэтому широкое распространение получили технологические схемы синтеза метанола на низкотемпературных катализаторах при пониженном давлении. Процесс проводят в основном при 5 – 10 МПа на медьсодержащих катализаторах с циркуляцией газа.

Основная особенность заключается в том, что исходный газ для синтеза метанола на низкотемпературном медьсодержащем катализаторе должен быть тщательно очищен от каталитических ядов (серы, хлора). Природный газ содержит соединения серы 10 – 300 мг/м³, содержание которых в природном газе не должно превышать 0,5 мг / м³. Для низкотемпературного синтеза метанола (200 – 260 °С) эффективным диапазоном давлений является 4,9 – 19,6 МПа, при дальнейшем увеличении давления равновесная концентрация СН₃ОН изменяется незначительно [5]. Концентрация Н₂О также, как и СН₃ОН увеличивается с повышением давления. Содержание серы в свежем газе (исходный+циркуляционный) не должно превышать 0,15 мг/м³ [8]. В связи с этим схема представляет большой интерес, поскольку соединения серы в природном газе поглощаются ацетиленовыми растворителями. Схема получения метанола из

синтез-газа (рисунок 1.2) компактна и эффективна. Производственные мощности определяются ресурсом природного газа и обычно достигают 100 – 110 млн тонн в год [11].



1, 5 – компрессоры; 2 – фильтр; 3 – сепаратор; 4 – сборник; 6 – теплообменники; 7 – воздушные холодильники; 8 – электроподогреватель; 9 – реактор

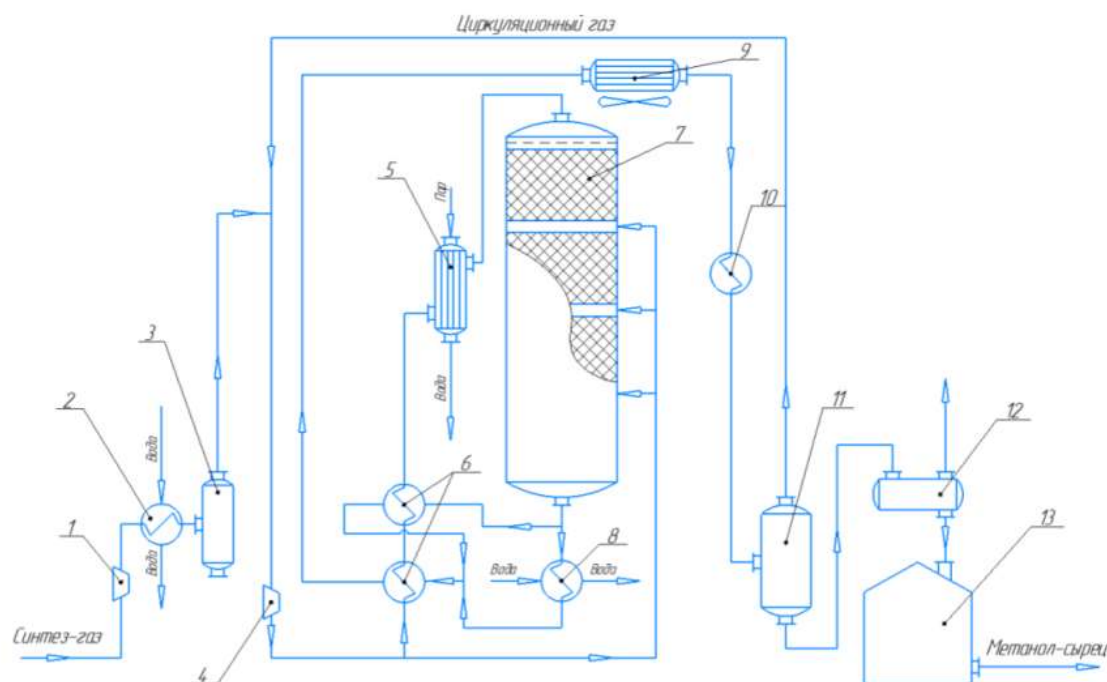
Рисунок 1.2 – Схема синтеза метанола под давлением 5 Мпа

Синтез-газ подается на турбокомпрессор 1, очищается от паров растворителя ацетилена на угольном фильтре 2 и смешивается с циркуляционным газом. Для регулирования соотношения реагирующих компонентов в синтез-газ добавляется газ с высоким содержанием водорода (12 – 16% отн.), например продувочный газ из производства метанола под высоким давлением. Циркуляция газа обеспечивается центробежным компрессором 5. Циркуляционный газ, проходя теплообменник 6 и электроподогреватель 8, поступает в шахтный реактор синтеза 9. Понижение температуры процесса осуществляется подачей в слой катализатора байпасного потока газа, который распределяется с помощью специально сконструированных камер смешения.

Температура газа на входе в реактор 205 – 225°C, максимальная

температура в слое катализатора 290°C . Выходящий из реактора циркуляционный газ отдает тепло газу, поступающему в реактор в рекуперационных теплообменниках 6 и направляется в воздушные холодильники-конденсаторы 7. Сконденсировавшийся метанол, вода и другие побочные продукты отделяются в сепараторе 3. Метанол-сырец из сборника 4 направляется на ректификацию. Циркуляционный газ из сепаратора возвращается на всасывающую линию циркуляционного компрессора 5. Недостатком схемы является применение турбокомпрессоров с электроприводами, что приводит к расходованию электроэнергии до 800 – 900 кВт-ч/т [12].

На рисунке 1.3 приведена схема синтеза метанола с агрегатом мощностью 300 – 400 тыс. т в год под давлением 5 – 9 МПа из газа, полученного конверсией метана в трубчатых печах.



1, 4 – компрессоры; 2, 10 – холодильники; 3, 11 – сепараторы; 5 – подогреватель; 6 – теплообменники; 7 – реактор; 8 – подогреватель конденсата; 9 – воздушный холодильник, 12 – сборник, 13 – хранилище метанола-сырца

Рисунок 1.3 – Схема синтеза метанола под давлением 9 МПа

Для привода дожимающего и циркуляционного компрессоров используется перегретый пар, полученный непосредственно в агрегате. Исходный газ давлением 1,2 – 2,2 МПа компрессором сжимается до давления 5,0 – 9,0 МПа. Циркуляционный газ нагревается в теплообменниках Т2/1,2 до температуры не менее 120°С, затем нагревается в теплообменниках Т3/1,2 до температуры от 210 до 240°С. В зависимости от режима работы установки паровой конверсии и качественного состава природного газа, состав циркуляционного газа может меняться. Давление до и после компрессора обусловлено схемой подготовки газа и давлением в цикле синтеза метанола. Различие схем синтеза метанола под давлением 5 и 9 МПа состоит в использовании катализатора: при более высоком давлении применяется несколько менее активный, но более термостойкий катализатор [8].

Смесь исходного и циркуляционного газов подогревается до температуры начала реакции в рекуперационном теплообменнике 6 и поступает в паровой подогреватель 5. Последний используется при разогреве реактора и при нарушениях технологического режима. Нагретый до 205 – 225 °С циркуляционный газ направляется в шахтный реактор синтеза 7, в котором на медьсодержащем катализаторе протекает процесс образования 24 метанола. Поддержание температуры по слоям катализатора в реакторе осуществляется вводом холодного газа [11].

Используемые в настоящее время технологические схемы принципиально не отличаются от схемы, изображенной на рисунке 1.3. Промышленным объектом, с которого были взяты исходные данные для моделирования процесса, является установка реакторного блока синтеза метанола агрегата «М – 750», описание которой приведено в разделе 2.

2 ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЪЕКТА ИССЛЕДОВАНИЯ

Ранее были рассмотрены теоретические основы синтеза метанола. Данный процесс протекает в условиях, близких к равновесным. Это подтверждают рассмотренные технологические схемы. Поэтому для изучения процесса важно использовать такие инструменты, которые будут учитывать константы равновесия, смогут оценивать конверсию сырья в метанол и работу схемы разделения продуктов и циркуляции непревращенного синтез-газа.

2.1 Цели и задачи работы

Цель работы – исследование параметров (режимов) работы агрегата синтеза метанола М – 750 при повышении производительности реакторов по сырью.

Для достижения поставленной цели в работе решаются следующие основные задачи.

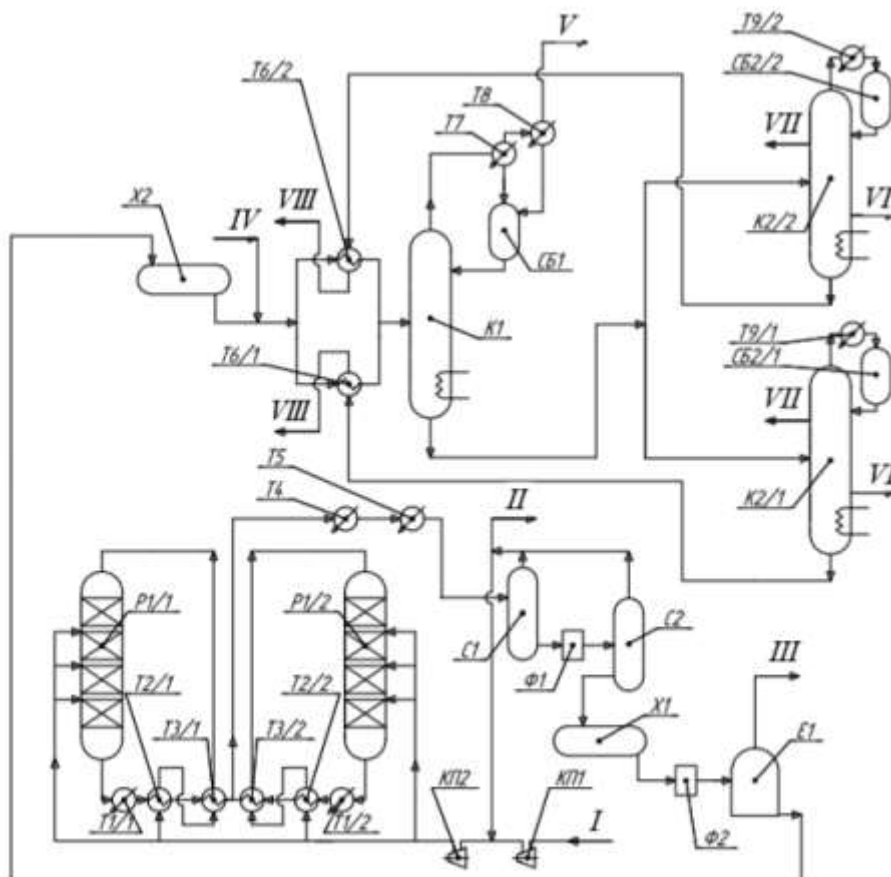
В теоретической части – рассмотреть теоретические основы синтеза метанола.

В экспериментальной части – провести моделирование установки синтеза метанола с четырехполочным реактором на компьютерной программе.

Также в работе рассматриваются разделы «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» и «Социальная ответственность».

2.2 Характеристика объекта исследования – установки синтеза метанола «М-750»

Объектом исследования является узел реакторного блока, узлы ректификации и сепарации метанола агрегата – М-750 ООО «Сибметахим». На рисунке 2.1 представлена принципиальная схема узла реакторного блока, узлов ректификации и сепарации метанола агрегата М-750.



КП1, КП2 – компрессоры; Т1/1,2, Т2/1,2, Т3/1,2, Т4, Т5, Т6/1,2, Т7, Т8, Т9/1,2 – теплообменники; Р1/1,2 – реакторы синтеза метанола; С1, С2 – сепараторы; Ф1, Ф2 – фильтры; Х1, Х2 – резервуары хранения метанола; Е1 – расширительный сосуд; СБ1, СБ2/1,2 – сборники флегмы; К1 – ректификационная колонна отделения легких фракций; К2/1,2 – основные ректификационные колонны.

Обозначения основных потоков: I – синтез-газ; II – продувочные газы; III – газы десорбции из расширительного сосуда; IV – раствор гидроксида натрия; V – легкие фракции; VI – фракция метанол-масло-вода; VII – метанол-ректификат; VIII – кубовый остаток колонн К2/1,2.

Рисунок 2.1 – Принципиальная схема реакторного блока, узлов ректификации и сепарации метанола агрегата М-750

Синтез-газ I компрессором КП1 подается в линию циркуляционного газа на вход циркуляционного компрессора КП2. После циркуляционного компрессора газ с давлением не более 8,7 МПа и температурой от 55 до 70°C, распределяется на два потока и направляется в реактора синтеза метанола P1/1,2. Циркуляционный газ нагревается в теплообменниках T2/1,2 до температуры не менее 120°C, затем нагревается в теплообменниках T3/1,2 до температуры от 210 до 240°C.

В зависимости от режима работы установки паровой конверсии и качественного состава природного газа, состав циркуляционного газа может меняться. В таблице 2.1 представлен качественный состав циркуляционного газа.

Таблица 2.1 – Состав циркуляционного газа

Составляющее вещество	Объемная доля, %
CO	от 0,1 до 10,0
CO ₂	от 2,0 до 15,0
H ₂	от 75,0 до 85,0
N ₂	от 1,0 до 2,0
CH ₄	от 0,1 до 14,0
Метанол	от 0,002 до 0,5

Реакторы синтеза метанола агрегата М-750 представляют собой цилиндрические аппараты диаметром 4,38 м и высотой 17,5 м. В данных реакторах есть 4 полки, на которых расположен низкотемпературный Zn-Cu-Al катализатор синтеза метанола. На первые полки поступает разогретый от 210 до 240°C циркуляционный газ, а на три остальных дополнительно поступают «холодные» байпасы с температурой от 55 до 70°C, делается это для того, чтобы катализатор на трех последних полках не перегревался т.к.

реакции синтеза метанола в сумме дают экзотермический эффект. Расход газа подаваемого по «холодным» байпасам не должен превышать 60 % от общей газовой нагрузки реактора. Режим работы реакторов синтеза метанола представлен в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Режим работы реакторов синтеза метанола P1/1,2

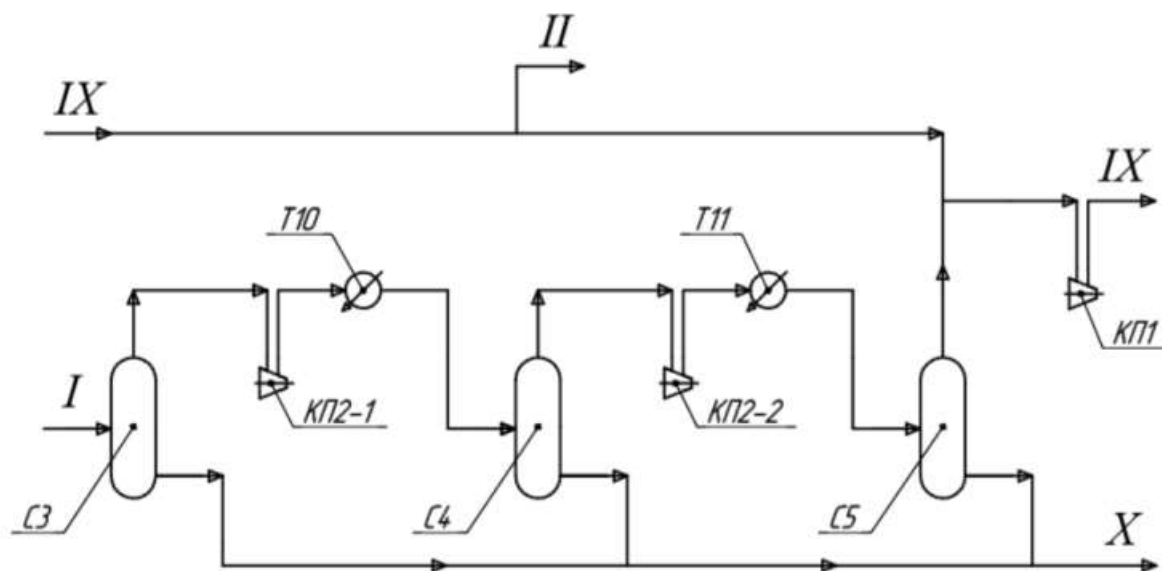
Слои катализатора	На выходе с 1 слоя катализатора	На входе в 2 – 4 слои катализатора	На выходе из 2 – 4 слоев катализатора
Температура, °С	от 240 до 285	от 210 до 250	от 240 до 290
Давление, МПа	от 4,0 до 8,5		

Продуктовая смесь выходит из реакторов синтеза метанола P1/1,2 с температурой от 240 до 290°С. Затем проходит через каскад теплообменников T1/1,2, T2/1,2, T3/1,2 и объединяется в один поток с температурой от 105 до 110°С. Далее этот поток проходит через воздушный холодильник-конденсатор T4, охлаждаясь до 60°С, затем газожидкостная смесь поступает в водяной холодильник T5 и охлаждается до температуры не более 45°С.

После охлаждения и конденсации газожидкостная смесь поступает в сепараторы C1, C2, где происходит отделение несконденсированных газов от метанола-сырца, который затем поступает в резервуар хранения метанола X1. Циркуляционный газ, выходящий из сепараторов C1, C2 смешивается со свежим синтез-газом и поступает на вход циркуляционного компрессора КП2. Продувочные газы П, которые отделяются от циркуляционных газ, необходимы для стабилизации давления в цикле синтеза метанола, и для отдувки инертных газов, которые могут накапливаться в циркуляционном газе.

Отделившийся метанол-сырец в сепараторах С1, С2 очищается от механических примесей в фильтрах Ф1 и Ф2.

На рисунке 2.2 представлена принципиальная схема узла компрессии конвертированного газа агрегата М-750.



КП1, КП2-1, КП2-2 – компрессоры (КП1 – одноступенчатый, КП2-1 и КП2-2 – двухступенчатый);
С3, С4, С5 – сепараторы; Т10, Т11 – воздушные холодильники.

Обозначения основных потоков: I – синтез-газ (конвертированный газ); II – продувочные газы; IX – циркуляционный газ; X – газовый конденсат

Рисунок 2.2 – Принципиальная схема узла компрессии конвертированного газа агрегата М-750

Поток синтез-газа I с температурой от 20 до 60°С и давлением от 1,2 до 1,8 МПа поступает в сепаратор С3, где отделяется газовый конденсат X. Качественный состав синтез-газа на компримирование представлен в таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Состав синтез-газа

Составляющее вещество	Мольные доли, %
СО	от 13 до 17
СО ₂	от 6 до 9
Н ₂	от 70 до 78
Ν ₂	от 0,1 до 1,0
СН ₄	от 0,5 до 4,5
Метанол	от 0,002 до 0,5

Затем, газ поступает в двухступенчатый компрессор КП2-1 и КП2-2. Синтез-газ на всасе первой ступени компрессора КП2-1 с давления от 1,4 до 1,6 МПа сжимается до давления от 2,0 до 3,8 МПа. На всасе второй ступени компрессора КП2-2 газ с давления от 2,0 до 3,8 сжимается до давления от 4,0 до 8,1 МПа. Температура газа после первой и второй ступени не должна превышать 160 и 175°С соответственно.

После каждой ступени сжатия синтез-газ охлаждается в холодильниках Т10, Т11 до температуры от 10 до 60°С, а выделившийся при этом газовый конденсат отделяется в сепараторах С4, С5.

Затем компримированный синтез-газ после сепаратора С5 смешивается с циркуляционным газом IX (температура которого от 30 до 50°С) и поступает на всас компрессора КП1 с давлением не более 7,65 МПа. После компрессора КП1 циркуляционный газ IX с давлением от 4,0 до 8,7 МПа и температурой от 45 до 70°С подается в реактора синтеза метанола.

На линии циркуляционного газа IX стоит клапан, через который сбрасываются необходимое количество продувочных газов II.

2.3 Характеристика инструментов исследования: моделирующей программы синтеза метанола и моделирующей программы Unisim Design R470

Математическое моделирование синтеза метанола представляет собой последовательность этапов, включающих в себя: детальное изучение механизма реакций протекающих на поверхности катализатора, определение кинетических параметров; составление схемы превращения и кинетической модели процесса; разработка модели дезактивации катализатора; составление математической модели реактора.

Была составлена следующая схема превращения веществ в процессе синтеза:

Брутто-реакции синтеза	Реакции на поверхности катализатора
1. $\text{CO} + 2\text{H}_2 = \text{CH}_3\text{OH}$;	a. $[\text{Me}] + \text{CO} \rightarrow [\text{MeCO}]$;
2. $\text{CO}_2 + \text{H}_2 = \text{CO} + \text{H}_2\text{O}$;	b. $2[\text{Me}]' + \text{H}_2 \rightarrow 2[\text{Me}'\text{H}]$;
3. $\text{CH}_3\text{OH} + \text{CH}_3\text{OH} = \text{CH}_3\text{OCH}_3$;	c. $[\text{Me}'\text{H}] + [\text{MeCO}] \rightarrow [\text{Me}'] + [\text{MeCHO}]$;
4. $\text{CO} + 3\text{H}_2 = \text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O}$.	d. $[\text{MeCHO}] + [\text{Me}'\text{H}] \rightarrow [\text{MeCH}_2\text{O}] + [\text{Me}']$;
	e. $[\text{MeCH}_2\text{O}] + [\text{Me}'\text{H}] \rightarrow [\text{MeCH}_3\text{O}] + [\text{Me}']$;
	f. $[\text{MeCH}_3\text{O}] + [\text{Me}'\text{H}] \rightarrow \text{CH}_3\text{OH} + [\text{Me}] + [\text{Me}]'$.

где Me – активный центр катализатора.

При составлении кинетической модели процесса были получены уравнения 2.1–2.4, являющиеся уравнениями скоростей реакций 1–4:

$$r_1 = \frac{k_1 K_{\text{CO}} K_{\text{H}_2}^2 K_{\text{CH}_3\text{CO}} (P_{\text{CO}} P_{\text{H}_2}^2 - P_{\text{CH}_3\text{OH}} / K_{p1})}{(1 + K_{\text{CO}} P_{\text{CO}}) (1 + K_{\text{H}_2}^{0.5} P_{\text{H}_2}^{0.5} + K_{\text{H}_2\text{O}} P_{\text{H}_2\text{O}})} \quad (2.1)$$

$$r_2 = \frac{k_1 K_{\text{CO}_2} K_{\text{H}_2}^{0.5} (P_{\text{CO}_2} P_{\text{H}_2} - P_{\text{CO}} P_{\text{H}_2\text{O}} / K_{p2}) / P_{\text{H}_2}^{0.5}}{(1 + K_{\text{H}_2}^{0.5} P_{\text{H}_2}^{0.5} + K_{\text{H}_2\text{O}} P_{\text{H}_2\text{O}}) (1 + K_{\text{CO}_2} P_{\text{CO}_2})} \quad (2.2)$$

$$r_3 = \frac{k_{\text{ДМЕ}} K_{\text{CH}_3\text{OH}}^2 (C_{\text{CH}_3\text{OH}}^2 - ((C_{\text{H}_2\text{O}} C_{\text{ДМЕ}}) / K_{p,\text{ДМЕ}}))}{(1 + 2\sqrt{K_{\text{CH}_3\text{OH}} C_{\text{CH}_3\text{OH}}} + K_{\text{H}_2\text{O},\text{ДМЕ}} C_{\text{H}_2\text{O}})^4} \quad (2.3)$$

$$r_4 = \frac{k_{CH_4} K_{CH_3OH}^2 \left(C_{CH_3OH}^2 - \left(\frac{C_{H_2O} C_{CH_4}}{K_{p,CH_4}} \right) \right)}{\left(1 + 2\sqrt{K_{CH_3OH} C_{CH_3OH} + K_{H_2O,CH_4} C_{H_2O}} \right)^4} \quad (2.4)$$

где r_1 – скорость целевой реакции образования метанола из СО, моль/с; r_2 – скорость реакции конверсии СО, моль/с; r_3 – скорость реакции образования метанола, моль/с; r_4 – скорость реакции образования метана, моль/с; k – константа скорости соответствующей реакции, с⁻¹; K_i – константа равновесия по соответствующему веществу; P_i – парциальное давление соответствующего компонента, МПа; C – концентрация соответствующего компонента, % моль.

Дифференциальное уравнение модели реактора идеального вытеснения в общем виде записывается как

$$\frac{\partial C}{\partial t} = -U \frac{\partial C}{\partial x}, \quad (2.5)$$

Начальные и граничные условия:

$$t = 0, c(t, x) = c(0, x); t > 0, x = 0, c(t, 0) = c_{вход},$$

где $U = v/S$ – средняя линейная скорость потока, м/с; S – площадь сечения зоны идеального вытеснения, м².

Таким образом, математическая модель процесса синтеза метанола в слое катализатора в стационарном режиме согласно реакциям $r_1 - r_4$ (2.1 – 2.4) представляет собой систему уравнений материального и теплового баланса:

$$\begin{aligned} u \frac{dC_{CO}}{dl} &= r_3 - r_1; & u \frac{dC_{H_2}}{dl} &= -2r_1 - r_2 - 3r_4; \\ u \frac{dC_{CO_2}}{dl} &= -r_2; & u \frac{dC_{CH_3OH}}{dl} &= r_1 - 2r_3; \\ u \frac{dC_{CH_4}}{dl} &= r_4; & u \frac{dC_{H_2O}}{dl} &= r_2 + r_4; \\ u \frac{dC_{ДМЭ}}{dl} &= r_3; & u \cdot \rho \cdot C_p \frac{dT}{dl} &= \sum_{j=1}^m (\pm (r_j \cdot Q_j)) \end{aligned} \quad (2.6)$$

где C – мольная концентрация, моль/м³; u – линейная скорость, м/с; l – координата реакционной зоны, м; j – порядковый номер реакции; m – общее количество реакций в схеме превращения; ρ – плотность реакционной смеси,

кг/м³; C_p – теплоемкость реакционной смеси, Дж/(кг К); T – температура реакционной смеси, К; Q – тепловой эффект реакции, Дж/моль.

Для исследования процесса синтеза метанола была использована программа Methanol TPU (рис. 2.3).

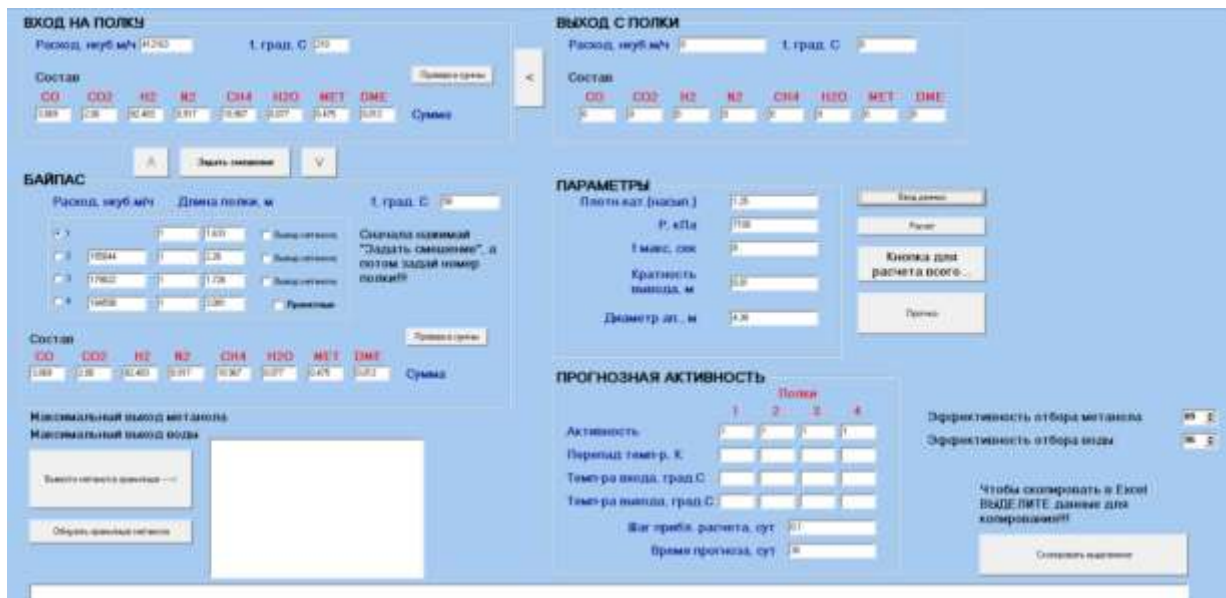


Рисунок 2.3 – Основное рабочее окно моделирующей программы

Фактически, программа все время считает одну полку, для которой меняем состав на входе, расход сырья и его температуру. Прочие данные, которые, от полки к полке остаются неизменными, задаем в панели «Параметры».

Чтобы провести расчет одной полки нужно последовательно нажать кнопки «Ввод данных» и «Расчет». Результаты расчета (состав продуктового потока на выходе с полки, его расход и температура) выводятся на панель «Выход с полки». Далее необходимо передать «выход с полки» на вход следующей полки, подлежащей расчету. Для этого нужно нажать кнопку копирования данных.

Далее необходимо задать смешение с байпасным потоком, характеристики которого задаются на соответствующей панели «Байпас». Это производится с помощью кнопки «Задать смешение». При этом происходит расчет новых параметров: температуры потока, его состава и

расхода. Результаты расчетов передаются на панель «Вход на полку». Последний шаг перед расчетом новой полки – задание ее длины, которое делается переключением номера полки.

Кнопка «Кнопка для расчета всего» заменяет последовательный расчет всех 4 полок реактора «М – 750». В конце расчета в панель «Выход с полки» выводятся данные о потоке из реактора. Этот тип расчета может быть использован для расчета производительности реактора в целом.

Оценка показателей работы подсистемы разделения синтез-газа и метанола-сырца, а также компрессоров синтез-газа, при повышенной производительности по метанолу проводилась в системе UniSim Design R470.

Программное обеспечение для автоматизированного проектирования (САПР) UniSim Design от Honeywell – это программное обеспечение для моделирования процессов на промышленных предприятиях, которое помогает повысить эффективность проектирования и оптимизировать решения. Данный программный продукт позволяет создавать статические и динамические модели для проектирования и оптимизации промышленных установок и систем управления, анализа нештатных ситуаций и рисков, оценки систем безопасности, мониторинга производительности, устранения неполадок, повышения производительности, бизнес-планирования и управления активами.

UniSim Design включает в себя следующие компоненты: База данных физико-химических свойств веществ; Пакеты для расчета свойств смесей; Пакет описания расчета нефтей и нефтяных фракций; Компьютерные модели различных аппаратов и оборудования; Методы и программы расчета и оптимизации ХТС; Средства визуализации схем, настройку пользовательского интерфейса, отчетность; Инструменты для разработки пользовательских программ и расширения базы компонентов.

3 МОДЕЛИРОВАНИЕ УСТАНОВКИ СИНТЕЗА МЕТАНОЛА С ЧЕТЫРЕХПОЛОЧНЫМ РЕАКТОРОМ НА КОМПЬЮТЕРНОЙ ПРОГРАММЕ

3.1 Постановка задачи

Основная цель работы – исследование особенностей ведения низкотемпературного синтеза метанола при повышении производительности реакторов по сырью.

В ходе выполнения экспериментальной части работы решались следующие задачи:

- исследование профилей температур и концентраций в реакторе;
- подбор расхода сырья для получения повышенного расхода метанола на установке;
- оценка показателей работы подсистемы разделения синтез-газа и метанола-сырца, а также компрессоров синтез-газа, при повышенной производительности по метанолу (в системе UniSim Design R470);
- исследование влияния увеличения расхода сырья на расход метанола из реактора при среднем давлении;
- прогноз изменения активности катализатора при повышенной производительности по метанолу.

3.2 Исследование профилей температур и концентраций в реакторе

В качестве исходных данных для моделирования реактора в программе были использованы значения, приближенные к данным с действующей установки (таблицы 3.1 и 3.2)

Таблица 3.1 – Состав циркуляционного газа для расчета в программе

Содержание вещества на входе в реактор, мольн. %							
CO	CO ₂	H ₂	N ₂	CH ₄	H ₂ O	CH ₃ OH	ДМЭ
3,069	2,00	82,483	0,917	10,967	0,077	0,475	0,012

Таблица 3.2 – Технологические параметры работы реактора для расчета на моделирующей программе

№	Параметр	Значение
1	Расход сырья на 1 реактор, тыс. нм ³ /час	930-1400
2	Температура входа сырья на полку, °С	210
3	Температура байпасных потоков, °С	58
4	Давление в реакторе, МПа	7,1
5	Длины катализаторных полок, м	1,63/2,26/1,73/3,08

Для проведения данного исследования изменяли входную температуру в пределах от 210 до 230 °С и температуру байпасного потока в пределах от 38 до 58 °С с шагом 10 °С, при этом оценили максимальный выход метанола. Результаты приведены в таблице 3.3.

Таблица 3.3 – Зависимость выходных параметров с одного реактора от температуры входа сырья в реактор

Входная температура, °С	210	220	230
Температура байпаса, °С	58	38	48
Расход CH ₃ OH, кг/ч	61989	62267	56760
Расход H ₂ O, кг/ч	11766	12703	11965
Выходная температура из реактора, °С	238	234	239
Содержание CO, % об.	0,251	0,186	0,289
Содержание CO ₂ , % об.	0,608	0,530	0,715

Расчет содержания CO и CO₂ в выходном потоке реактора позволяет оценить степень конверсии оксидов углерода, а значит и эффективность работы связки процессов «конверсия природного газа» — «синтез метанола» по степени превращения углерода (в виде оксидов) в метанол.

Из данных таблицы видно, что наибольший выход метанола наблюдается при снижении температуры байпаса до 38 °С.

На рисунке 3.1 представлены графики перепада температуры во времени по реактору синтеза метанола.

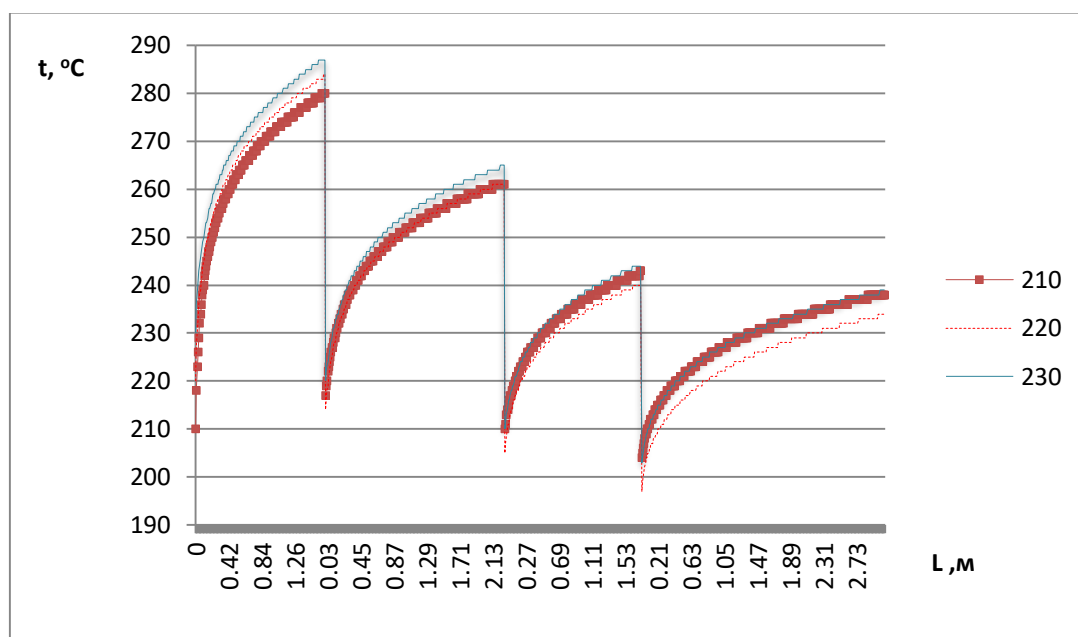


Рисунок 3.1 – Перепад температуры во времени по реактору синтеза метанола

Каждая из линий графика соответствует входной температуре реактора. L – расстояние по длине для каждой из катализаторных полок, м.

На рисунке 3.2 представлена зависимость содержания СН₃ОН в продукте реактора (мольн. %) от длины реактора.

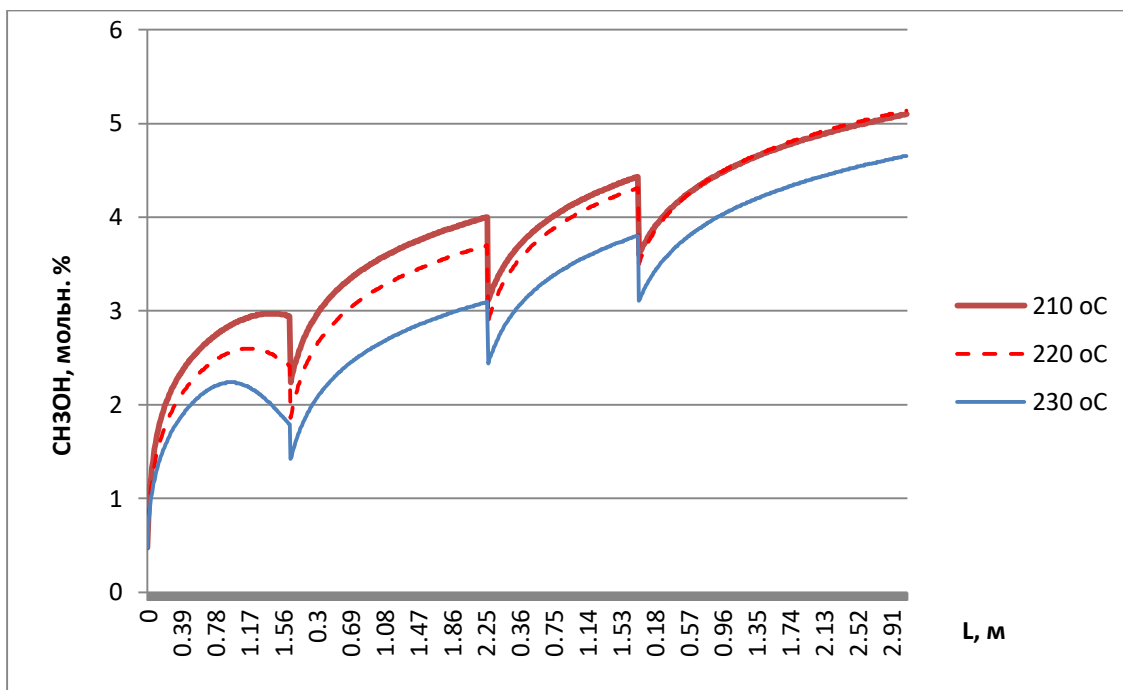


Рисунок 3.2 – Зависимость содержания CH_3OH в продукте реактора, мольн. %

Можем отчетливо видеть, что содержание метанола в продукте реактора увеличивается для каждой из каталитических полок. Также видим, что на выходе содержание CH_3OH для входной температуры $220\text{ }^\circ\text{C}$ становится больше, чем для входной температуры $210\text{ }^\circ\text{C}$.

3.3 Подбор расхода сырья для получения повышенного расхода метанола на установке

Для проведения этого исследования необходимо было подобрать такие значения давления, чтобы расход метанола составлял не менее 1,1 млн. т/год. Выбрали три уровня давления в реакторе, МПа: 4,0 (минимальное давление на циркуляционном компрессоре); 7,1 (типовое давление синтеза); 8,2 (максимальное давление на циркуляционном компрессоре). Результаты представлены в таблице 3.4.

Таблица 3.4 – Зависимость выходных параметров от давления в реакторе

Параметр	Значение 1	Значение 2	Значение 3
Расход сырья м ³ /ч	1400000	1300000	1250000
Температура сырья на первую полку, °С	210	210	210
Температура байпасных потоков, °С	58	58	58
Давление в реакторе, кПа	4000	7100	8200
Относительное распределение потоков по полкам реактора	0,61/0,13/0,13/0,13	0,61/0,13/0,13/0,13	0,61/0,13/0,13/0,13
Выход метанола из реактора, т/г	1110531	1121974	1105000

По полученным результатам видно, что при увеличении давления в реакторе требуется меньший расход сырья на производство метанола. Это связано с тем, что увеличение давления процесса смещает равновесие основных реакций образования метанола – взаимодействие оксида и диоксида углерода с водородом (1) и (2) в сторону образования метанола. Следовательно, для получения примерно равного количества метанола при повышенном давлении требуется меньший расход сырья. Однако, с повышением давления ускоряются побочные реакции и, кроме того, увеличение затрат на компрессию газа ухудшает экономические показатели процесса. Проанализировав результаты, представленные в таблице, можно сделать вывод о том, что наибольший выход метанола из реактора наблюдается при давлении в 7100 кПа. При этом в рассматриваемом интервале давлений расход метанола отличается не более чем на ± 1 %.

3.4 Оценка показателей работы подсистемы разделения синтез-газа и метанола-сырца, а также компрессоров синтез-газа, при повышенной производительности по метанолу (в системе UniSim Design R470)

Выше был проведен расчет продуктов реактора на моделирующей программе при повышенной производительности по сырью и,

соответственно, метанолу. Однако анализ возможных изменений в технологической схеме при повышении производительности по продукту не ограничивается только реакторным блоком. Отделению метанола от синтез-газа в сепараторах сопутствуют такие узкие места как работа циркуляционного компрессора, отделение продувочных газов и другие. С целью оценки работы подсистемы разделения и подсистемы компрессоров при повышении производительности расхода сырья в реактора была составлена модель реакторного блока синтеза метанола в моделирующей программе Unisim Design R470 (см. рисунок 3.3).

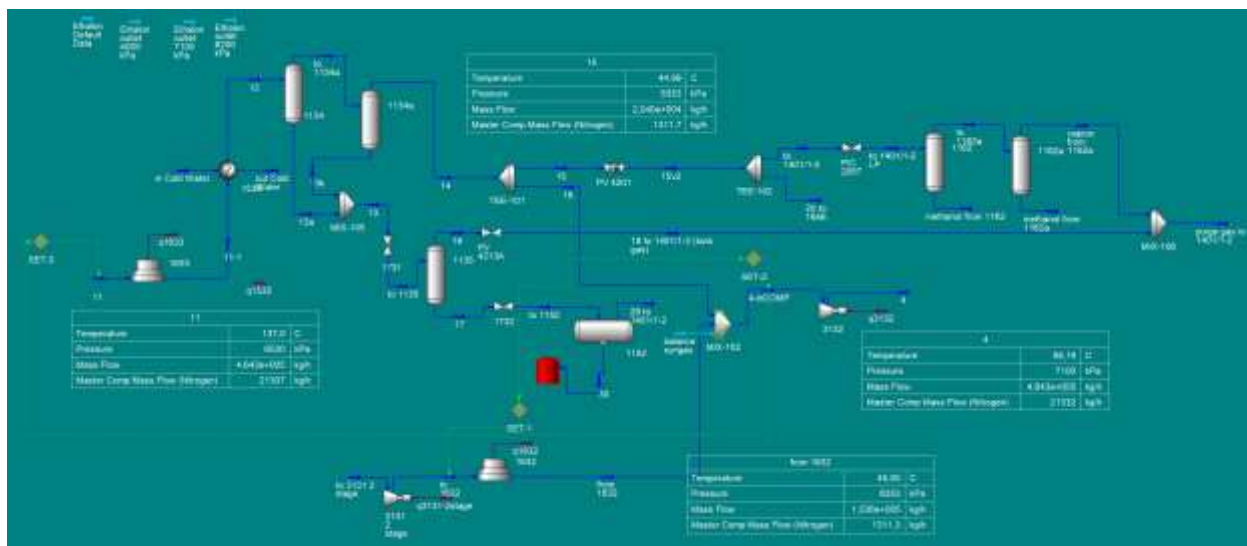


Рисунок 3.3 – Модель реакторного блока синтеза метанола в моделирующей программе Unisim Design R470

С помощью этой модели оценивались работа компрессионного оборудования, затраты энергоресурсов, расход свежего синтез-газа и т.п. в условиях повышения производительности установки. В качестве критериев сходимости схемы в стационарном режиме были выбраны:

- соблюдение материального баланса по реакторам (расходы входных и выходных потоков и их составы соответствовали расчетам на программе);
- расходы инертных компонентов (азота и метана) со свежим

синтез-газом и продувочным газом, отделяемым от циркулирующего синтез-газа, равны между собой.

Оценивались различные показатели: расход оборотной воды на охлаждение продукта реакторов — принималось, что вода нагревается от 25 до 35 °С, продукт при этом охлаждается до 45 °С; масса продувочных газов, отправляемых из отделения синтеза метанола на сжигание в печах конверсии природного газа, и — в качестве ВСГ — на обессеривание природного газа; мощность компрессора свежего синтез-газа, сжимающего газ от давления 1533 кПа, при котором он поступает с отделения конверсии, до давления циркулирующего синтез-газа; мощность циркуляционного компрессора синтез-газа, сжимающего сырьевой поток до давления в реакторе, при котором ранее производился расчет на моделирующей программе, и другие показатели.

Были получены следующие результаты, представленные в таблице 3.5.

Таблица 3.5 – Показатели работы подсистемы разделения синтез-газа и метанола-сырца, а также компрессоров синтез-газа, при повышенной производительности по метанолу

Показатель	Режим работы установки: <i>расход сырья на 1 реактор, нм³/ч / давление, кПа</i>		
	1400000 / 4000	1300000 / 7100	1250000 / 8200
Расход оборотной воды для охлаждения продуктов, т/ч	2226	1783	1667
Массовый расход продувочных газов, т/ч	23,92	25,73	25,46
в т.ч. водорода, т/ч	8,0189	9,0613	9,0665
Расход свежего синтез-газа, тыс. нм ³ /ч	374,7	428,4	430,6
Расход свежего синтез-газа, т/ч	159,6	182,5	183,4
Мощность компрессора свежего синтез-газа, МВт	13,57	32,48	37,22
Мощность циркуляционного компрессора синтез-газа, МВт	26,29	13,07	10,79

Как видно из результатов расчета, расход оборотной воды, служащей для охлаждения продуктов, очевидно, будет тем выше, чем выше массовый

расход продуктов. Таким образом, расход охлаждающей воды при рабочем давлении в реакторах 4000 кПа, значительно выше, чем при других давлениях в контуре синтеза.

Массовый расход продувочных газов, в т.ч., водорода, не слишком сильно зависит от давления в реакторе. Это позволяет нам судить, что режим давления в реакторном блоке не влияет на потери ценного водородсодержащего газа.

Суммарную мощность компримирования синтез-газа можно сложить из мощности компрессора свежего синтез-газа, поступающего с установки конверсии природного газа с давлением около 1533 кПа, и мощности циркуляционного компрессора синтез-газа. Видно, что суммарная мощность с ростом давления возрастает, однако, возрастает не быстро. Это связано с тем, что с ростом давления, как нами было установлено ранее, требуется меньший расход сырья в реакторы.

Расход свежего синтез-газа возрастает так же незначительно. Однако, очевидно, что, при равных производительностях по целевому продукту – метанолу, чем меньше расход свежего синтез-газа, тем выше степень конверсии углерода в метанол.

Таким образом, видно, что работа подсистем сжатия синтез-газа и разделения продуктов синтеза метанола не позволяют однозначно выбрать технологический режим, в частности, расход сырья и давление в контуре синтеза. Можно лишь предложить некоторые рекомендации.

1) Если есть ограничения, связанные с эксплуатацией существующего теплообменного оборудования, например, небольшая поверхность теплообмена, тогда расход сырья в реакторе для получения заданного расхода метанола следует поддерживать как можно ниже, а давление выше.

2) Если есть ограничения по мощности существующих компрессоров, тогда при увеличенном расходе следует поддерживать пониженное давление.

Полученные результаты могут быть использованы при определении

необходимости замены сепараторов разделения синтез-газа и метанола-сырца и компрессоров, служащих для сжатия синтез газа. А также для оценки потерь ценных газов с продувочными газами.

3.5 Исследование влияния увеличения расхода сырья на расход метанола из реактора при среднем давлении

При наличии свободного сырья, можно увеличивать его расход на реакторный блок. Однако очевидно, что это будет приводить к уменьшению времени контакта и рано или поздно конверсия сырья начнет снижаться. В связи с этим возникает интерес к исследованию влияния увеличения расхода сырья на расход метанола из реактора.

На рисунке 3.4 представлен график зависимости относительного увеличения расхода метанола от относительного увеличения расхода сырья в реакторе. За точку 1;1 приняты расход сырья 1300 тыс. нкуб/ч и выход метанола 1100 тыс.т/г.

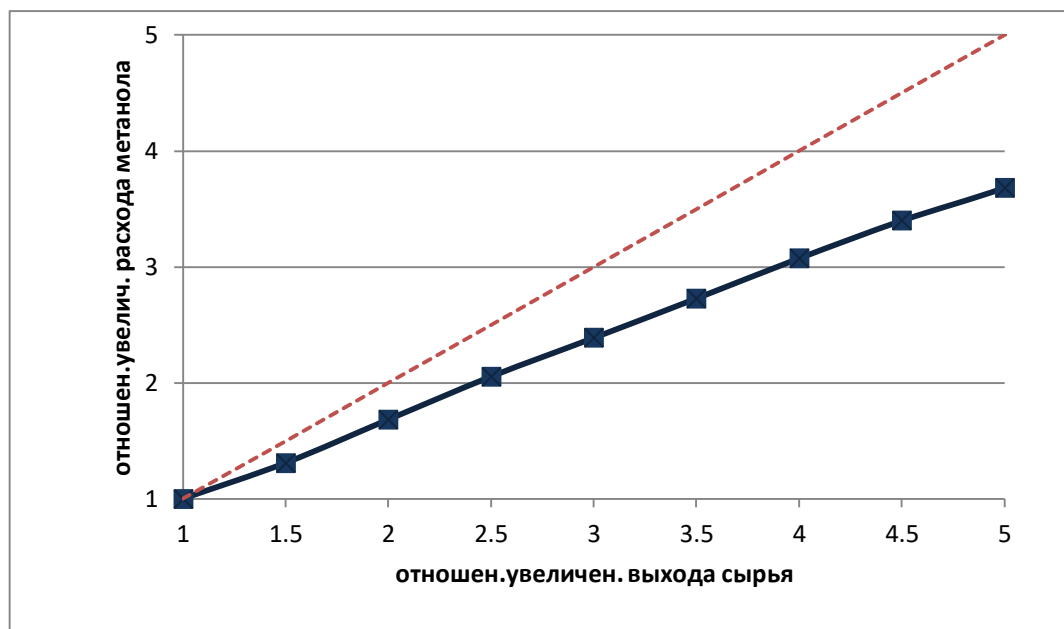


Рисунок 3.4 – График зависимости относительного увеличения расхода метанола от относительного увеличения расхода сырья в реакторе

Увеличение расхода сырья в реактор в 1,5 раза приводит к увеличению выхода метанола в 1,31 раза. Соответственно, увеличение расхода в 3,0 раза – к увеличению выхода метанола в 2,39 раза; увеличение расхода в 5,0 раз – к увеличению выхода метанола в 3,68 раза.

Из графика видно, что по мере увеличения расхода сырья в реакторе, выход метанола будет возрастать, но не пропорционально увеличению расхода сырья. Это связано с тем, что при увеличении расхода сырья (при постоянной площади поперечного сечения реактора) время контакта уменьшается, и концентрация метанола в продуктовой смеси снижается.

3.6 Прогноз изменения активности катализатора при повышенной производительности по метанолу

В ходе данного исследования была спрогнозирована активность катализатора в течение 6 лет, т.к. средний срок службы катализатора составляет 6-8 лет. Исследования проводили относительно мощности установки в 910 тыс. тонн и 1100 тыс. тонн метанола в год при следующих условиях: давление 7,1 МПа; температура сырья на первую полку 210°C; температура байпасных потоков 58°C; состав газа (см. в таблице 3.1); относительное распределение потоков по полкам реактора 61/13/13/13 об. %. Результаты представлены на рисунках 3.5 и 3.6.

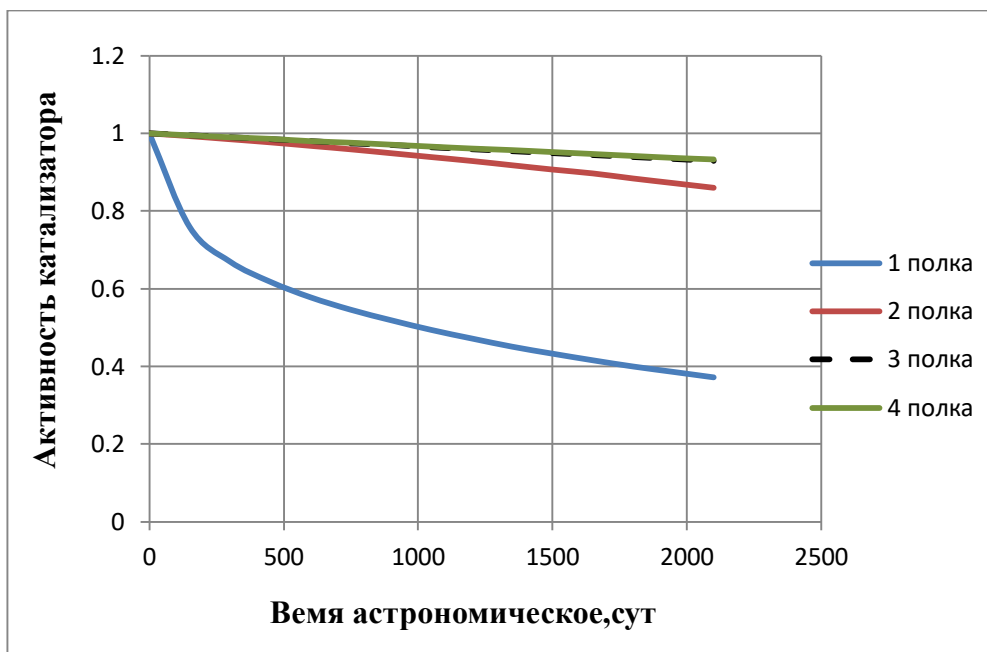


Рисунок 3.5 – Зависимость активностей катализатора на полках от времени работы реактора при мощности установки в 910 тыс. т/г.

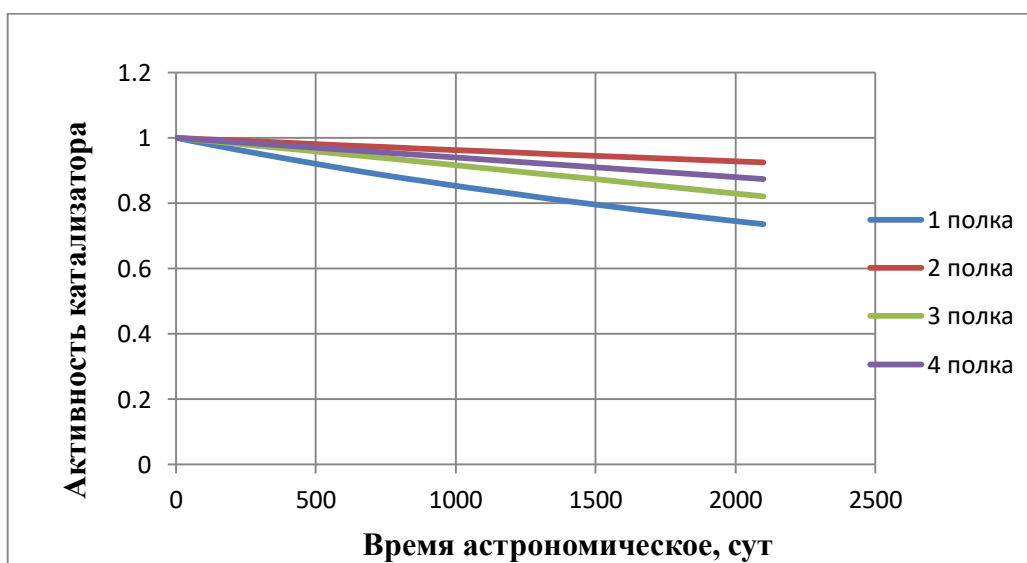


Рисунок 3.6 – Зависимость активностей катализатора на полках от времени работы реактора при мощности установки в 1100 тыс. т/г.

Из рисунков 3.5 и 3.6 видно, что дезактивация катализатора происходит быстрее всего на первой полке реактора, так как на нее приходится самый большой расход сырья. Также мы видим, что катализатор на первой полке после 2100 суток работы имеет большую активность при мощности установки в 1100 тыс. т/г, чем при мощности в 910 тыс. т/г. Это объясняется

тем, что при большем расходе сырья (при одинаковом сечении реактора) время контакта уменьшается, а значит, снижается и скорость образования метанола, и перепад температур, и скорость дезактивации катализатора.

На рисунках 3.7 и 3.8 представлен график прогноза перепада температур по полкам реактора в течение 6 лет при мощности установки в 910 тыс. тонн и 1100 тыс. тонн метанола в год.

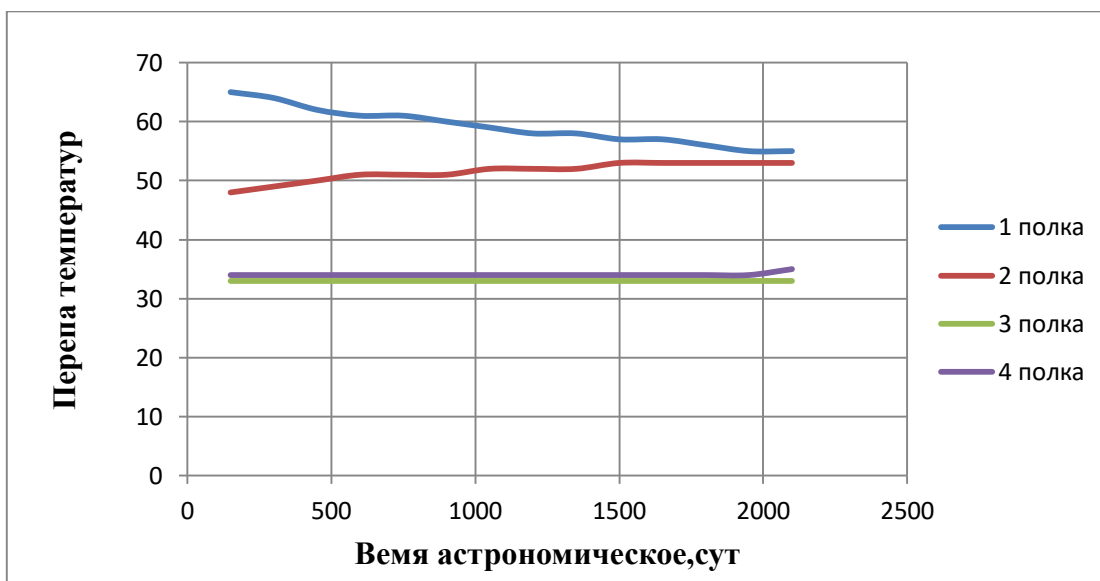


Рисунок 3.7 – Зависимость перепада температур на полках от времени работы реактора при мощности установки в 910 тыс. т/г.

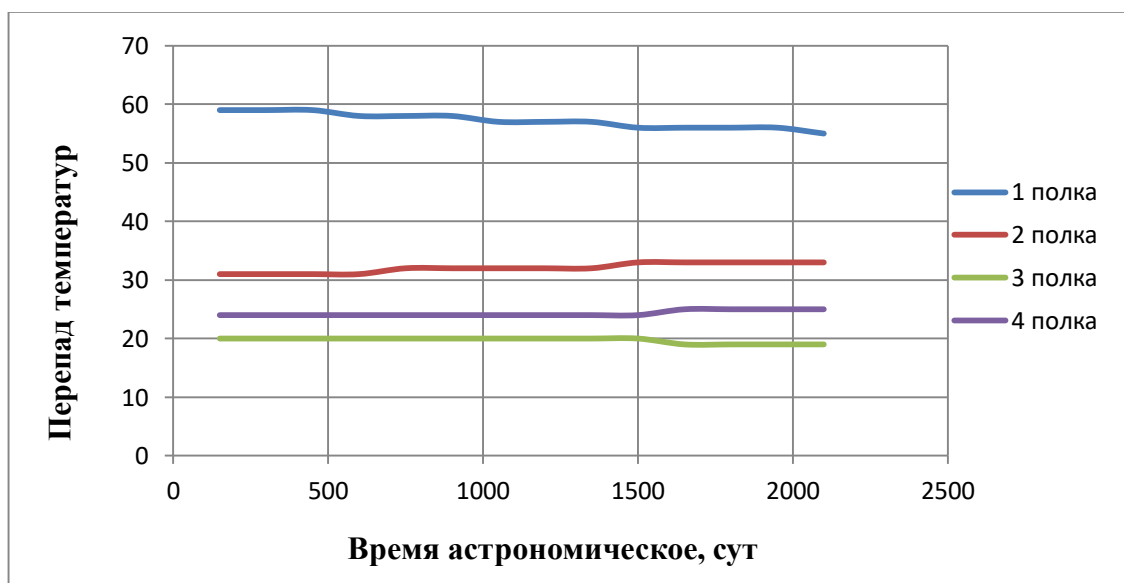


Рисунок 3.8 – Зависимость перепада температур на полках от времени работы реактора при мощности установки в 1100 тыс. т/г.

Из рисунков видно, что перепад температур также выше на первой полке, так как на нее приходится основной расход сырья. Также мы видим, что через 750 часов после работы реактора перепад температур на 2 полке становится больше, чем на 1 полке, что свидетельствует о том, что основные реакции синтеза плавно перетекли на 2 полку. Также с течением времени кривая, характеризующая перепад температур на 4 полке возрастает, что говорит о переходе большей части реакций синтеза на эту полку.

3.7 Обсуждение результатов

В ходе подбора расхода сырья для получения повышенного расхода метанола на установке выявили, что при увеличении давления в реакторе требуется меньший расход сырья на производство метанола. Это связано с тем, что увеличение давления процесса смещает равновесие основных реакций образования метанола – взаимодействие оксида и диоксида углерода с водородом (1) и (2) в сторону образования метанола. Следовательно, для получения примерно равного количества метанола при повышенном давлении требуется меньший расход сырья. Однако, с повышением давления ускоряются побочные реакции и, кроме того, увеличение затрат на компрессию газа ухудшает экономические показатели процесса.

Сделан вывод о том, что наибольший выход метанола из реактора наблюдается при давлении в 7100 кПа. При этом в рассматриваемом интервале давлений расход метанола отличается не более чем на $\pm 1\%$.

Работа подсистем сжатия синтез-газа и разделения продуктов синтеза метанола не позволяют однозначно выбрать технологический режим, в частности, расход сырья и давление в контуре синтеза. Можно лишь предложить некоторые рекомендации. Если есть ограничения, связанные с эксплуатацией существующего теплообменного оборудования, например, небольшая поверхность теплообмена, тогда расход сырья в реакторе для получения заданного расхода метанола следует поддерживать как можно

ниже, а давление выше. Если есть ограничения по мощности существующих компрессоров, тогда при увеличенном расходе следует поддерживать пониженное давление.

Полученные результаты могут быть использованы при определении необходимости замены сепараторов разделения синтез-газа и метанола-сырца и компрессоров, служащих для сжатия синтез газа. А также для оценки потерь ценных газов с продувочными газами.

Исследование влияния увеличения расхода сырья на расход метанола из реактора при среднем давлении показало, что по мере увеличения расхода сырья в реакторе, выход метанола будет возрастать, но не пропорционально увеличению расхода сырья. Это связано с тем, что при увеличении расхода сырья (при постоянной площади поперечного сечения реактора) время контакта уменьшается и концентрация метанола в продуктовой смеси снижается.

Была спрогнозирована активность катализатора в течение 6 лет. При длительной работе катализатора в условиях повышенной производительности, дезактивация катализатора происходит быстрее всего на первой полке реактора, так как на нее приходится самый большой расход сырья. Также мы видим, что катализатор на первой полке после 2100 суток работы имеет большую активность при мощности установки в 1100 тыс. т/г, чем при мощности в 910 тыс. т/г. Это объясняется тем, что при большем расходе сырья (при одинаковом сечении реактора) время контакта уменьшается, а значит, снижается и скорость образования метанола, и перепад температур, и скорость дезактивации катализатора.

Введение

Основная цель данного раздела – оценить перспективность развития и планировать финансовую и коммерческую ценность конечного продукта, представленного в рамках исследовательской работы. Коммерческая ценность определяется не только наличием более высоких технических характеристик над конкурентными разработками, но и тем, насколько быстро разработчик сможет ответить на следующие вопросы – будет ли продукт востребован на рынке, какова будет его цена, каков бюджет научного исследования, какое время будет необходимо для продвижения разработанного продукта на рынок.

Данный раздел, предусматривает рассмотрение следующих задач:

- Оценка коммерческого потенциала разработки.
- Планирование научно-исследовательской работы;
- Расчет бюджета научно-исследовательской работы;
- Определение ресурсной, финансовой, бюджетной эффективности исследования.

Цель НИР - математическое моделирование синтеза метанола.

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

4.1.1 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Детальный анализ конкурирующих разработок, существующих на рынке, необходимо проводить систематически, поскольку рынки пребывают в постоянном движении. Такой анализ помогает вносить коррективы в научное исследование, чтобы успешнее противостоять своим конкурентам. Важно реалистично оценить сильные и слабые стороны разработок конкурентов.

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего повышения.

Таблица 4.1 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений проекта

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Повышение производительности	0,15	4	3	2	0,6	0,45	0,3
2. Удобство в эксплуатации	0,05	3	3	3	0,15	0,15	0,15
3. Энергоэкономичность	0,08	5	4	4	0,4	0,32	0,32
4. Надежность	0,08	5	3	3	0,4	0,24	0,24
5. Безопасность	0,1	5	5	5	0,5	0,5	0,5
6. Простота эксплуатации	0,05	4	3	3	0,2	0,15	0,15
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Конкурентоспособность продукта	0,11	4	3	3	0,44	0,33	0,33
2. Уровень проникновения на рынок	0,05	1	2	2	0,05	0,1	0,1
3. Цена	0,08	4	4	3	0,32	0,32	0,24
4. Предполагаемый срок эксплуатации	0,07	4	4	4	0,28	0,28	0,28
5. Финансирование научной разработки	0,08	3	5	4	0,24	0,4	0,32
6. Срок выхода на рынок	0,05	4	4	4	0,2	0,2	0,2
7. Наличие сертификации разработки	0,05	1	3	3	0,05	0,15	0,15
Итого	1				3,83	3,59	3,28

Б_ф – Математическое моделирование синтеза метанола по предлагаемой схеме;

Б_{к1}– математическое моделирование синтеза метанола при низком давлении;

Б_{к2} – математическое моделирование синтеза метанола в трехфазной системе.

Рассматриваемые в проекте решения имеют наиболее высокий коэффициент конкурентоспособности в сравнении с конкурентами.

4.1.2 SWOT-анализ

Одной из методик анализа сильных и слабых сторон рассматриваемого комплекса мер, его внешних благоприятных возможностей и угроз является SWOT-анализ (таблица 4.2).

Таблица 4.2 – Матрица SWOT-анализа

Сильные стороны	Слабые стороны
С1. Высококвалифицированный персонал	Сл1. Зависимость от иностранных поставщиков услуг ремонтного обслуживания
С2. Наличие необходимого оборудования.	
Возможности	Угрозы
В1. Применение современных технологий и оборудования	У1. Штрафы за нарушение экологического законодательства
В2. Применение современных методов	У2. Устаревание технологий и оборудования

На втором этапе на основании матрицы SWOT строятся интерактивные матрицы возможностей и угроз, позволяющие оценить эффективность проекта, а также надежность его реализации. Соотношения параметров представлены в таблицах 4.3–4.6.

Таблица 4.3 – Интерактивная матрица проекта «Возможности проекта и сильные стороны»

		Сильные стороны проекта	
Возможности проекта		C1	C2
	B1	+	+
	B2	+	-

Таблица 4.4 – Интерактивная матрица проекта «Возможности проекта и слабые стороны»

		Слабые стороны проекта	
Возможности проекта		Сл1	
	B1	+	
	B2	-	

Таблица 4.5 – Интерактивная матрица проекта «Угрозы проекта и сильные стороны»

		Сильные стороны проекта	
Угрозы проекта		C1	C2
	У1	+	+
	У2	-	+

Таблица 4.6 – Интерактивная матрица проекта «Угрозы проекта и слабые стороны»

		Слабые стороны проекта	
Угрозы проекта		Сл1	
	У1	-	
	У2	+	

Результаты анализа представлены в итоговую таблицу 4.7.

Таблица 4.7 – Swot-анализ исследования процессов изомеризации прямогонных бензиновых фракций

	Возможности	Угрозы
	<ol style="list-style-type: none"> 1. Применение современных технологий и оборудования 2. Применение современных методов 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Штрафы за нарушение экологического законодательства 2. Устаревание технологий и оборудования
<p>Сильные стороны</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Высоккоквалифицированный персонал 2. Наличие необходимого оборудования. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Проведение исследования со всеми необходимыми параметрами 2. Проведение исследования на современном оборудовании высококвалифицированным персоналом 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Строгое следование всем правилам и экологическим нормам 2. Регулярное проведение модернизации
<p>Слабые стороны</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Зависимость от иностранных поставщиков услуг ремонтного обслуживания 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Переход на услуги отечественных сервисных компаний 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Строгое следование всем правилам и экологическим нормам

Анализируя таблицу SWOT-анализа можем сказать, что предлагаемый комплекс мероприятий имеет достаточно сильных сторон и возможностей.

Основной слабой стороной является зависимость от иностранных сервисных компаний, которые предоставляют услуги по ремонту и модернизации оборудования.

При этом стоит говорить о необходимости постоянной модернизации технологий и оборудования. Кроме того, важной задачей является соблюдение экологического законодательства.

4.2 Планирование научно – исследовательских работ

4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

Для выполнения научных исследований формируется рабочая группа, в состав которой входят инженер и научный руководитель. По каждому виду запланированных работ устанавливается соответствующая должность исполнителей.

Составим перечень этапов и работ в рамках проведения научного исследования, проведем распределение исполнителей по видам работ. Примерный порядок составления этапов и работ, распределение исполнителей по данным видам работ приведен в таблице 4.8.

Таблица 4.8 – 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	Подбор и изучение материалов по теме	Инженер
	3	Выбор направления исследований	Руководитель, Инженер
	4	Календарное планирование работ по теме	Руководитель, Инженер
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Проведение теоретических исследований, изучение литературы	Инженер
	6	Построение и проведение экспериментов (расчетов)	Руководитель, Инженер
	7	Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими данными	Инженер
Обобщение и оценка результатов	8	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель
	9	Окончательное обобщение результатов	Инженер, руководитель

Продолжение таблицы 4.8

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность Исполнителя
<i>Проведение ОКР</i>			
Разработка технической документации и проектирование	10	Сбор информации по охране труда	Инженер
	11	Оформление результатов по охране труда	Инженер
	12	Подбор данных для выполнения экономической части работы	Инженер
	13	Оформление экономической части работы	Инженер
Оформление отчета по НИР	14	Составление пояснительной записки	Инженер, руководитель

4.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ и разработка графика проведения

Трудоемкость выполнения проекта 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:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5}, \quad (4.1)$$

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

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p , учитывающая

параллельность выполнения работ несколькими исполнителями. Такое вычисление необходимо для обоснованного расчета заработной платы.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i}, \quad (4.2)$$

где T_{pi} – продолжительность одной работы, раб.дн.; $t_{ожі}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.; $Ч_i$ – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

Порядок этапов работ и распределение исполнителей для данной научно-исследовательской работы, приведен в таблице 4.9.

Таблица 4.9 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоёмкость работ						Длительность работ в рабочих днях T_{pi}	Длительность работ в календарных днях T_{ki}
	t_{min} , чел-дни		t_{max} , чел-дни		$t_{ожі}$, чел-дни			
	Исп.1(р)	Исп.2(и)	Исп.1(р)	Исп.2(и)	Исп.1(р)	Исп.2(и)		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Составление и утверждение технического задания	1	-	1	-	1	-	1	1
Подбор и изучение материалов по теме	-	2	-	2	-	2	2	2
Выбор направления исследований	1	2	1	5	1	3	2	5
Календарное планирование работ по теме	1	4	1	10	1	7	4	8
Проведение теоретических исследований, изучение литературы	-	3	-	8	-	6	6	7

Окончание таблицы 4.9

Название работы	Трудоёмкость работ						Длительность работ в рабочих днях T_{pi}	Длительность работ в календарных днях T_{ki}
	t_{min} , чел-дни		t_{max} , чел-дни		$t_{ожг}$, чел-дни			
	Исп.1(р)	Исп.2(и)	Исп.1(р)	Исп.2(и)	Исп.1(р)	Исп.2(и)		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Построение и проведение экспериментов (расчетов)	1	3	1	5	1	4	2,5	5
Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими данными	-	3	-	5	-	4	4	4
Оценка эффективности полученных результатов	6	-	6	-	6	-	6	7
Окончательное обобщение результатов	10	3	12	5	11	4	7,5	13
Сбор информации по охране труда	-	3	-	5	-	4	4	5
Оформление результатов по охране труда	-	3	-	5	-	4	4	5
Подбор данных для выполнения экономической части работы	-	2	-	4	-	3	3	3
Оформление экономической части работы	-	2	-	4	-	3	3	5
Составление пояснительной записки	1	9	1	14	1	12	6,5	13
Итого	21	39	23	72	22	56	56	83

Календарный план-график проведения исследования представлен на рисунке 4.1

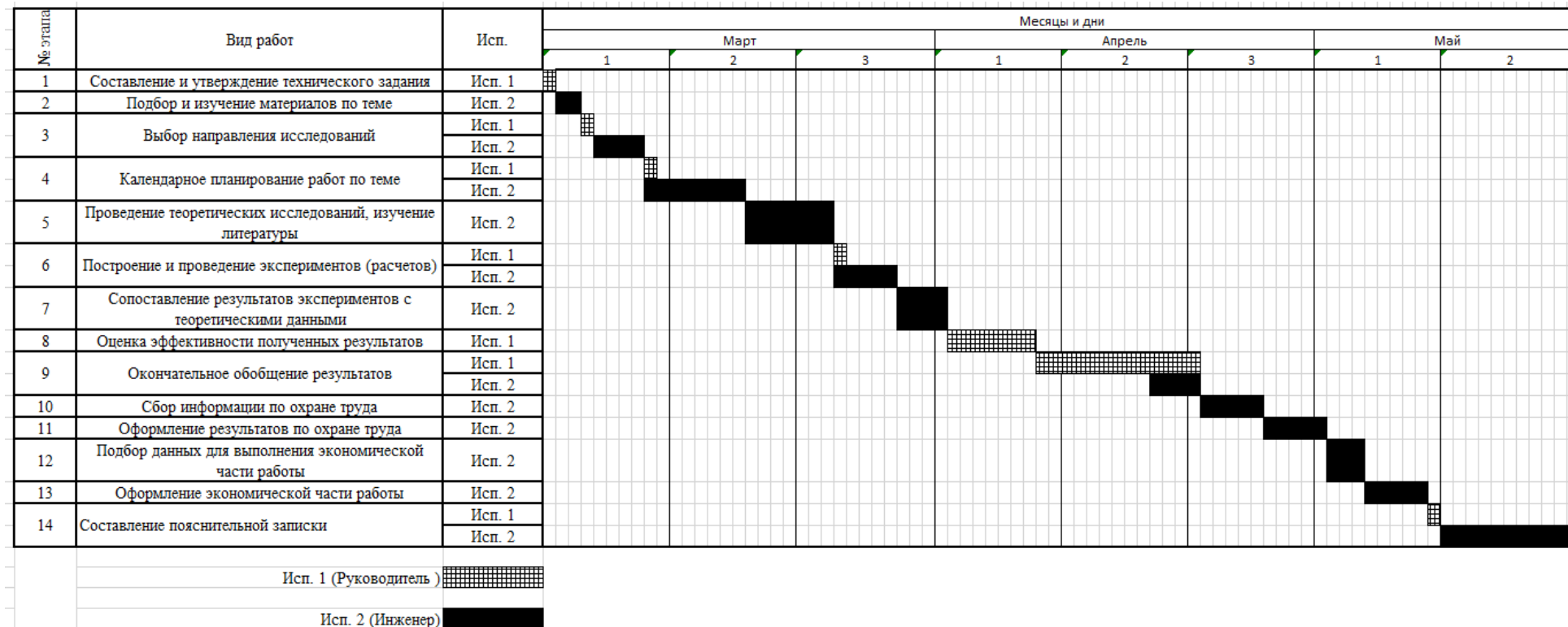


Рисунок 4.1 – Календарный план-график проведения НИР

4.3 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

При планировании бюджета научного исследования должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов планируемых затрат (расходов), необходимых для его выполнения:

- материальные затраты ;
- затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- накладные расходы.

В процессе формирования бюджета, планируемые затраты группируются по статьям, представленным в таблице.

4.3.1 Расчет материальных затрат НТИ

Материальные затраты для НТИ сводятся к затратам на канцелярию, которые учитываются в накладных расходах. Расчет представлен в таблице 4.10.

Таблица 4.10 – Материальные затраты

Наименование материалов	Цена за ед., руб.	Кол-во, ед.	Сумма, руб.
Комплекс канцелярских принадлежностей	1100	3	3300
Картридж для лазерного принтера	4 990	1	4 990
Итого:			8 290

Цены приняты на основании прайс-листа поставщика материалов:
<https://papyrus-tomsk.ru>, <https://mvideo.ru>.

4.3.2 Затраты на оборудование

Все расчеты по приобретению спецоборудования, включая 15% на затраты по доставке и монтажу, отображены в таблице 4.11

Таблица 4.11 – Расчет затрат на оборудование для научных работ

Наименование оборудования	Кол-во	Стоимость с НДС, руб.
Персональный компьютер	1	66000
Принтер	1	18000

Рассчитаем амортизацию оборудования

Используется формула

$$C_{AM} = \frac{N_A * C_{OB} * t_{pf}}{365}, \quad (4.4)$$

где N_A – годовая норма амортизации единицы оборудования (0,4);

C_{OB} – балансовая стоимость единицы оборудования с учетом ТЗР. При невозможности получить соответствующие данные из бухгалтерии она может быть заменена действующей ценой, содержащейся в ценниках, прейскурантах и т.п.;

t_{pf} – фактическое время работы оборудования в ходе выполнения проекта, дни.

Время использования оборудования составило 83 дня для ПК и 12 дней для принтера, тогда амортизация:

$$C_{AM(ПК)} = \frac{0,4 * 66000 * 83}{365} = 6003,29 \text{ руб.}$$
$$C_{AM(Принт)} = \frac{0,4 * 18000 * 12}{365} = 236,71 \text{ руб.}$$

4.3.3 Расчет основной и дополнительной заработной платы

Численность исполнителей принимается как $N_{рук}=1$, $N_{исп}=1$, общее число исполнителей – 2 человек.

Расчет эффективного рабочего времени одного исполнителя сведен в табл. 4.12

Таблица 4.12 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Исполнитель
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней - выходные дни/праздничные дни	66	66
Номинальный фонд рабочего времени		
Потери рабочего времени - отпуск/невыходы по болезни	56	52
Эффективный фонд рабочего времени	243	247

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

$$C_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп}, \quad (4.5)$$

где $Z_{осн}$ – основная заработная плата; $Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата.

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

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_{раб}, \quad (4.6)$$

где $Z_{осн}$ – основная заработная плата одного работника; $T_{р}$ – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн.; $Z_{дн}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}}, \quad (4.7)$$

где $Z_{\text{м}}$ – месячный должностной оклад работника, руб.; M – количество месяцев работы без отпуска в течение года;

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

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_{\text{м}} = Z_{\text{б}} \cdot (k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) \cdot k_{\text{р}}, \quad (4.8)$$

где $Z_{\text{б}}$ – базовый оклад, руб.; $k_{\text{пр}}$ – премиальный коэффициент, (определяется Положением об оплате труда); $k_{\text{д}}$ – коэффициент доплат и надбавок; $k_{\text{р}}$ – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

$$Z_{\text{зн}} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}, \quad (4.9)$$

где $Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата; $Z_{\text{доп}}$ – дополнительная заработная плата (12-20% от $Z_{\text{осн}}$)

Основная заработная плата руководителя(от ТПУ) рассчитывается на основании отраслевой оплаты труда.

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

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_{\text{раб}}, \quad (4.10)$$

где $Z_{\text{осн}}$ –основная заработная плата одного работника; $T_{\text{р}}$ – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн.;

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы учитывают величину предусмотренных Трудовым кодексом РФ доплат за отклонение от нормальных условий труда, а так же выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций.

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн} , \quad (4.11)$$

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

Таблица 4.13 – Расчёт основной и дополнительной заработной платы

Исполнители	Зб, руб.	k_p	Зм,руб	Здн, руб.	Тр, раб. дн.	Зосн, руб.	Здоп
Руководитель	36000,00	1,30	46800,00	2127,27	22	46800,00	7020,00
Инженер	22000,00	1,30	28600,00	1100,00	56	61600,00	9240,00

Рассчитываем отчисления на социальные нужды (30,2%):

$$Q_{соц.н.} = 0,302 * ЗП, \text{руб.}, \quad (4.12)$$

Таблица 4.14 – Заработанная плата одного исполнителя НИР

	Заработная плата	Социальные отчисления
Руководитель	53820,00	16253,64
Исполнитель	70840,00	21393,68
ИТОГО	124660,00	37647,32

4.3.4 Накладные расходы

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

$$Z_{накл} = (\text{сумма статей } 1 \div 7) \cdot k_{нр} , \quad (4.12)$$

где $k_{нр}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы.

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%. Расчет представлен в таблице 4.15.

4.3.7 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 табл. 4.15.

Таблица 4.15 - Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб.		
	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1	2	3	4
1. Материальные затраты	8290	8290	8290
2. Амортизационные отчисления*	6240,00	6746,30	6023,01
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	108400,00	108400,00	108400,00
4. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	16260,00	16260,00	16260,00
5. Отчисления во внебюджетные фонды	37647,32	37647,32	37647,32
6. Накладные расходы (16% от 1+2+3+4)	26967,57	27048,58	26932,85
7. Бюджет затрат НТИ	203804,89	204392,20	203553,19

*Для Исп 2 и Исп 3 срок работы оборудования составляет 90 и 80 дней соответственно

4.4 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 финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (4.13)$$

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).

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}1} = \frac{203804,89}{204392,20} = 0,9971$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}2} = \frac{204392,20}{204392,20} = 1$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}3} = \frac{203553,19}{222857,86} = 0,9959$$

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:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i, \quad (4.14)$$

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.

Таблица 4.11 - Сравнительная эффективность вариантов исполнения разработки

№ п/п	Показатели	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,9971	1	0,9959
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,45	4,05	3,9
3	Интегральный показатель эффективности	4,45	4,13	4,06
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	0,93	0,91

В результате выполнения изначально сформулированных целей раздела, можно сделать следующие выводы:

Результатом проведенного анализа конкурентных технических решений является выбор одного из вариантов реализации проекта, как наиболее предпочтительного и рационального, по сравнению с остальными;

При проведении планирования был разработан план-график выполнения этапов работ для руководителя и инженера, позволяющий оценить и спланировать рабочее время исполнителей. Были определены: общее количество календарных дней для выполнения работы – 83 дня, общее количество дней, в течение которых работал инженер – 55,5 и общее количество дней, в течение которых работал руководитель – 29,5;

Составлен бюджет проектирования, позволяющий оценить затраты на разработку проекта, которые составляют 203804,89 руб.

По факту оценки эффективности ИР, можно сделать выводы:

Значение интегрального финансового показателя ИР составляет 0,9971, что является показателем того, что ИР не уступает аналогам по выгодности;

Значение интегрального показателя ресурсоэффективности ИР составляет 4,45, по сравнению с 4,05 и 3,9;

Значение интегрального показателя эффективности ИР составляет 4,45, по сравнению с 4,13 и 4,06, и является наиболее высоким, что означает, что техническое решение, рассматриваемое в ИР, является наиболее эффективным вариантом исполнения.

5 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

Введение

Цель настоящего исследования – математическое моделирование синтеза метанола.

Объектом исследования является узел реакторного блока, узлы ректификации и сепарации метанола агрегата – М-750 ООО «Сибметакхим». Реакторы синтеза метанола агрегата М-750 представляют собой цилиндрические аппараты диаметром 4,38 м и высотой 17,5 м. В данных реакторах есть 4 полки, на которых расположен низкотемпературный Zn-Cu-Al катализатор синтеза метанола. На первые полки поступает разогретый от 210 до 240°C циркуляционный газ, а на три остальных дополнительно поступают «холодные» байпасы с температурой от 55 до 70°C.

Рабочая зона: лаборатория

Размеры помещения 4 м * 5 м.

Количество и наименование оборудования рабочей зоны:

ЭВМ (ПК) – 3 шт.;

МФУ Canon – 1 шт.

Рабочие процессы, связанные с объектом исследования, осуществляющиеся в рабочей зоне: моделирование процессов в специализированной программе расчета синтеза метанола. Программа meth_K моделирует процесс синтеза метанола на агрегате М-750.

5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности разработке проектного решения

Согласно ст. 351.6 ТК РФ, к трудовой деятельности в сфере электроэнергетики допускаются лица, прошедшие у работодателя подготовку к выполнению трудовых функций и получившие у него подтверждение их

готовности к выполнению трудовых функций, прошедшие аттестацию по вопросам безопасности в сфере электроэнергетики, а в случаях, предусмотренных федеральными законами, также аттестацию в области промышленной безопасности, аттестацию по вопросам безопасности гидротехнических сооружений.

Условия труда согласно результатам проведения специальной оценки условий труда N 426 - ФЗ "О специальной оценке условий труда", являются допустимыми (2 класс), при данных условиях на оператора воздействуют вредные и (или) опасные производственные факторы, уровни воздействия которых не превышают нормативные, а измененное функциональное состояние организма работника восстанавливается во время регламентированного отдыха или к началу следующего рабочего дня (смены).

Продолжительность рабочей смены оператора составляет 12 часов, график работы - сменный ст.103 ТК РФ. Данный график исключает сокращенный рабочий день. Ежегодный оплачиваемый отпуск составляет 28 календарных дней согласно ст. 115 ТК РФ с отсутствием дополнительного отпуска. Согласно трудовому кодексу РФ и федеральному закону РФ «О специальной оценке условий труда» работникам с допустимыми условиями труда предусматриваются следующие обязанности и гарантии:

1. В соответствии с ч. 1 ст. 213 ТК РФ персонал проходит обязательные предварительные и периодические медицинские осмотры для определения пригодности выполнения поручаемой работы и предупреждения профессиональных заболеваний. В соответствии с медицинскими рекомендациями указанные работники проходят внеочередные медицинские осмотры;

2. В соответствии с законодательством на работах с вредными и или опасными условиями труда, а также на работах, связанных с загрязнением, работодатель обязан бесплатно обеспечить выдачу сертифицированных средств индивидуальной защиты согласно действующим типовым

отраслевым нормам бесплатной выдачи работникам спецодежды, специальной обуви и других средств индивидуальной защиты;

3. Защита передаваемых персональных данных работодателю, от неправомерного их использования или утраты;

4. Здоровые и безопасные условия труда. В качестве минимальных требований к условиям труда принимаются требования, установленные законодательством о труде. Своевременную выплату заработной платы в соответствии с квалификацией и сложностью труда;

5. Обязательное медицинское страхование и обязательное социальное страхование от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний в порядке и на условиях, установленных для работников действующим законодательством РФ;

6. Ущерб, нанесенный работнику увечьем либо иным повреждением здоровья, связанным с использованием им своих трудовых обязанностей, подлежит возмещению.

Требования к организации и оборудованию рабочего места инженера при разработке проектного решения представлены на рисунке 5.1, согласно Постановлению Главного государственного санитарного врача РФ об утверждении санитарных правил СП 2.2.3670 - 20 "Санитарно - эпидемиологические требования к условиям труда" от 02.12.2020 №40 и ГОСТ 12.2.032 - 78 «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования».

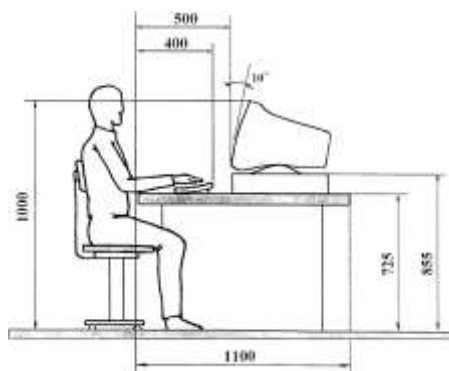


Рисунок 5.1 – Планировка рабочего места оператора

Конструкция рабочего стола должна обеспечивать оптимальное размещение на рабочей поверхности используемого оборудования. Рабочий стул (кресло) должен быть подъемно - поворотным, регулируемым по высоте и углам наклона сиденья и спинки, а также расстоянию спинки от переднего края сиденья, при этом регулировка каждого параметра должна быть независимой, легко осуществляемой и иметь надежную фиксацию.

5.2 Производственная безопасность при разработке проектного решения

Рассмотрим опасные и вредные производственные факторы, возникающие при эксплуатации агрегата М-750 (таблица 5.1).

Таблица 5.1 – Возможные опасные и вредные производственные факторы на рабочем месте оператора агрегата М-750

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Нормативные документы
Неподвижные режущие, колющие, обдирающие, разрывающие части твердых объектов	ГОСТ 12.4.280-2014 Одежда специальная для защиты от общих производственных загрязнений и механических воздействий
Производственные факторы, связанные с повышенным уровнем ионизирующих излучений	СанПиН 2.6.1.2523-09 Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009)
Производственные факторы, связанные с электрическим током	ГОСТ 12.4.124-83 «Средства защиты от статического электричества. Общие технические требования»
Повышенный уровень общей и локальной вибрации	ГОСТ 12.1.012-2004 «Вибрационная безопасность. Общие требования»
Повышенный уровень шума	СП 51.13330.2011 Защита от шума. Актуализированная редакция СНиП 23-03-2003 (с Изменениями N 1, 2)
Отсутствие или недостаток необходимого искусственного освещения	СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95*
Производственные факторы, связанные с аномальными микроклиматическими параметрами воздушной среды на местонахождении работающего	ГОСТ 12.1.005-88 «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны»
Монотонность труда, вызывающая монотонию	Р 2.2.2006-05. 2.2. гигиена труда. Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда

Анализ опасных и вредных производственных факторов

Неподвижные режущие, колющие, обдирающие, разрывающие части твердых объектов

- 1) Источник: агрегат М-750, вспомогательное оборудование.
- 2) Наиболее типичные травмы: порезы.
- 3) Значения разрывной нагрузки ниточных швов соединений основных деталей в изделиях спецодежды должны соответствовать таблице 1 ГОСТ 12.4.280-2014
- 4) Оператор должен быть обеспечен СИЗ: спецодеждой, специальной обувью соответствующей характеру и условиям выполняемой работы.

Производственные факторы, связанные с повышенным уровнем ионизирующих излучений

- 1) Источник: агрегат М-750, вспомогательное оборудование.
- 2) Типичные заболевания: Злокачественные новообразования, наследственные эффекты.
- 3) При обосновании защиты от источников потенциального облучения в течение года принимаются следующие граничные значения обобщенного риска (произведение вероятности события, приводящего к облучению, и вероятности смерти, связанной с облучением): персонал - $2,0 \times 10^{-4}$, год⁻¹.

Годовая эффективная доза облучения персонала за счет нормальной эксплуатации техногенных источников ионизирующего излучения не должна превышать пределов доз, установленных в таблице 5.2 (по СанПиН 2.6.1.2523-09. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009).

Таблица 5.2 – Основные допустимые пределы доз облучения для персонала

Нормируемые величины	Значения
Эффективная доза	20 мЗв в год в среднем за любые последовательные 5 лет, но не более 50 мЗв в год
Эквивалентная доза за год в хрусталике глаза	150 мЗв
коже	500 мЗв
кистях и стопах	500 мЗв

4) При наиболее опасных работах (I класса и отчасти II) комплект СИЗ состоит из спецодежды (комбинезона или костюма), спецбелья, спецобуви, перчаток, бумажных полотенец и носовых платков разового пользования, а также средств защиты органов дыхания.

Производственные факторы, связанные с электрическим током

1) Источник: незаземлённые электропроводные узлы и детали оборудования.

2) Наиболее типичные травмы: электротравмы.

3) Безопасные номинальные значения: напряжение - менее 12 В; ток - менее 0,1 А; заземление менее 4 Ом.

4) Для защиты персонала от поражения электрическим током на рабочих местах предприятия используются следующие меры: изоляция проводов и её непрерывный контроль; предупредительная сигнализация и блокировка; использование знаков безопасности и предупреждающих плакатов; защита от случайного прикосновения; защитное заземление; защитное отключение; зануление.

Повышенный уровень общей и локальной вибрации

1) Источник: электроприемники, электро-оборудование, различные производственные механизмы.

2) Типичные заболевания: Вибрационная болезнь.

3) Общие требования по вибрационной безопасности для персонала представлены в таблице 5.3 (согласно СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания»).

Таблица 5.3 – Общие требования по вибрационной безопасности

Вид вибрации	Допустимый уровень вибростойкости, дБ, в октавных полосах с среднегеометрическими частотами, Гц			
	2	4	8	50
Технологическая	108	99	93	92

4) Всё оборудование, являющееся источником вибраций, должно быть установлено на виброопорах.

Повышенный уровень шума

1) Источник: работающее основное и вспомогательное оборудование.

2) Типичные заболевания и травмы: снижение слуха, в последующем тугоухость, различные вегетативные сдвиги и изменения в работе сердечно-сосудистой системы.

3) Согласно Постановлению Главного государственного санитарного врача РФ от 28.01.2021 №2 об утверждении санитарных правил и норм СанПиН 1.2.3685 - 21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» п.35., при работе в помещении, уровень шума не должен превышать 80 дБ.

4) В качестве защиты от шума и звука следует применять средства индивидуальной защиты: наушники, беруши, противошумные каски, специальная противошумная одежда.

Отсутствие или недостаток необходимого искусственного освещения

1) Источник: отсутствие достаточного освещения.

2) Типичные травмы: отрицательное воздействие на функционирование зрительного аппарата, на эмоциональное состояние, вызывает усталость центральной нервной системы.

3) Необходимо руководствоваться СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение» при выборе освещения в помещении: освещенность рабочего места должна быть не менее 300 лк, коэффициент пульсации не более 5%.

4) Наилучшим видом освещения является дневное, солнечное. Однако, как уже было сказано выше, дневной свет не может обеспечить нужное освещение в течении всего рабочего дня. Поэтому в соответствии с СП все помещения предприятия имеют искусственное освещение. В качестве источников искусственного освещения применяются энергосберегающие светодиодные и газоразрядные лампы.

Производственные факторы, связанные с аномальными микроклиматическими параметрами воздушной среды на местонахождении работающего

1) Источник: Неблагоприятные перепады производственного микроклимата в помещениях обусловлены наличием многочисленного теплонесущего оборудования. Высокая температура воздуха и низкая (большой частью) относительная влажность в помещении объясняется значительными конвективными и радиационными тепловыделениями от оборудования.

2) Типичные травмы: Понижение температуры и повышение скорости движения воздуха могут привести к переохлаждению организма, а при повышенной температуре воздуха, работоспособность оператора падает. Недостаточная влажность воздуха может привести к интенсивному испарению влаги со слизистых оболочек, их пересыхания и растрескивания, а затем и загрязнение болезнетворными микроорганизмами.

3) По ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ нормируются следующие параметры: температура, относительная влажность, скорость движения воздушного потока, ПДК вредных веществ.

В рассматриваемом помещении температура воздуха в теплый период года составляет 26-43 °С, относительная влажность 17-53 %, скорость движения воздуха - от 0,5 до 2,6 м/с. В холодный период температура воздуха рабочих зон на разных отметках снижается неравномерно и находится в пределах 13-45 °С, относительная влажность составляет 17-71 %, скорость движения воздуха в пределах от 0,5 до 1,4 м/с.

4) Параметры микроклимата в зимнее время поддерживаются системой отопления и вентиляцией, летом – только общеобменной вентиляцией.

Монотонность труда, вызывающая монотонию

1) Источник: режим труда

2) Типичная травма: монотония сопровождается полусонным состоянием, сопровождающимся снижением психической активности, апатией.

3) Монотонность нагрузок должна соответствовать значениям части 4 Таблицы 18 Р 2.2.2006-05. 2.2.

4) Режим труда и отдыха необходимо устанавливать в соответствии с условиями труда (2 класс) и требованиями к ним Р 2.2.2006-05. 2.2.

5.3 Экологическая безопасность

В ходе работы агрегата М-750 и вспомогательных процессов, а также в ходе процессов моделирования возможно отрицательное воздействие на атмосферу в виде теплового воздействия оборудования и на литосферу (твердые отходы).

Мероприятия направленные на защиту атмосферного воздуха

- проведение стационарных мониторинговых работ с задачей изучения фоновых концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе. Данные результаты будут являться основой прогнозных расчетов состояния атмосферного воздуха, фактических сведений о выбросах вредных веществ и расчетов их рассеивания при регламентированном и аварийном режимах работы;

- контроль за выбросом, содержанием и осаждением различных веществ путем периодического отбора проб воздуха;

- проведение текущих наблюдений с одновременным геохимическим опробованием депонирующих сред (почва, снег, растительность) позволяет дать количественную характеристику валовым выбросам вредных веществ, контролировать прогнозную оценку состояния воздуха;

- выполнение предписаний действующих ГОСТов, устанавливающих ПДВ токсичных веществ и дымности отработанных газов оборудование

постов для контроля и регулировки топливной аппаратуры на токсичность и дымность;

- применение газоанализаторов, пыле-, газоплавильщиков;

- экономия топлива, организация хранения ГСМ;

- использование передовых технологий по предотвращению фонтанных выбросов;

- своевременный контроль, ремонт, регулировка и техническое обслуживание узлов, систем и агрегатов влияющих на выброс вредных веществ;

- применение герметизированной системы сбора и транспорта продукции скважин.

Мероприятия направленные на защиту земли и земляных ресурсов
Загрязнение земляных ресурсов может быть в результате неправильной утилизации твердых отходов, таких как: отработанные детали оборудования, промасленная ветошь, бытовые отходы, коммунальные отходы.

Для исключения загрязнения необходимо обеспечить территорию площадками временного хранения твердых бытовых отходов (ТБО) и твердых коммунальных отходов (ТКО), и ящиками накопления для промасленной ветоши. Для последующей утилизации отходов заключается договора с лицензированными организациями.

5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях при разработке проектного решения

Возможные ЧС: пожар, Природные катастрофы: наводнение, цунами ураган, удары молний и т.д.

Наиболее типичная ЧС: пожар.

Класс пожара: в зависимости от вещества, которое будет гореть, его можно отнести к классу В (пожары горючих жидкостей) или к классу С (пожар газов).

Причины возникновения пожара:

- возгорание взрывопожарных веществ от электроэнергии высокого напряжения;

- возгорание взрывопожарных веществ, обусловленное нарушением герметичности аппаратов и трубопроводов из-за коррозии;

- возгорание взрывопожарных веществ, обусловленное их возможностью накапливать заряды статического электричества при транспортировании.

Первичные средства пожаротушения, используемые в целях борьбы с пожарами: переносные и передвижные огнетушители; пожарный инвентарь (пожарные багры, ломы, топоры, крюки, пилы, лопаты); покрывала для изоляции очага возгорания (противопожарное полотно); генераторные огнетушители аэрозольные переносные.

На установке М – 750 предусмотрена стационарная система пенотушения открытой насосной; водяная оросительная система колонных аппаратов; пожарные краны в помещении компрессорной.

Мероприятия для обеспечения безаварийной работы установки:

- все стадии технологического процесса непрерывны и склонны к устойчивому протеканию;

- при соблюдении правил эксплуатации процесс не обладает возможностью взрыва внутри технологической аппаратуры;

- контроль и управление процессом осуществляется автоматически и дистанционно из операторной с использованием электронной системы приборов/

Ликвидация последствий ЧС: повести демонтаж оборудования; зачистить территорию от остатков продуктов горения.

Выводы по разделу

В данной главе выпускной квалификационной работы было рассмотрено рабочее место инженера и взаимодействие на него возможных

опасных и вредных производственных факторов. Фактические значения соответствуют нормативным требованиям согласно:

- разделу 1 п.1.13 правил устройства электроустановок (ПУЭ), рабочее помещение относится ко второму классу;

- Постановлению Главного государственного санитарного врача РФ от 28.01.2021 N 2 "Об утверждении санитарных правил и норм СанПиН 1.2.3685-21 "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания", работа относится к категории Пб.

- СОУТ категория помещения(операторной) по взрывопожарной и пожарной опасности относится к категории Б;

- Постановлению «Об утверждении критериев отнесения объектов, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду, к объектам I, II, III и IV категорий (с изменениями на 7 октября 2021 года)» согласно разделу 2 п.17 относится к объектам II категории оказывающих умеренное негативное воздействие на окружающую среду.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения работы проводилось исследование параметров (режимов) работы агрегата синтеза метанола М – 750 при повышении производительности реакторов по сырью. В теоретической части были рассмотрены теоретические основы синтеза метанола. В экспериментальной части проведено моделирование установки синтеза метанола с четырехполочным реактором на компьютерной программе.

В ходе подбора расхода сырья для получения повышенного расхода метанола на установке выявили, что при увеличении давления в реакторе требуется меньший расход сырья на производство метанола. Это связано с тем, что увеличение давления процесса смещает равновесие основных реакций образования метанола – взаимодействие оксида и диоксида углерода с водородом (1) и (2) в сторону образования метанола. Следовательно, для получения примерно равного количества метанола при повышенном давлении требуется меньший расход сырья. Однако, с повышением давления ускоряются побочные реакции и, кроме того, увеличение затрат на компрессию газа ухудшает экономические показатели процесса.

Сделан вывод о том, что наибольший выход метанола из реактора наблюдается при давлении в 7100 кПа. При этом в рассматриваемом интервале давлений расход метанола отличается не более чем на ± 1 %.

Работа подсистем сжатия синтез-газа и разделения продуктов синтеза метанола не позволяют однозначно выбрать технологический режим, в частности, расход сырья и давление в контуре синтеза. Можно лишь предложить некоторые рекомендации. Если есть ограничения, связанные с эксплуатацией существующего теплообменного оборудования, например, небольшая поверхность теплообмена, тогда расход сырья в реакторе для получения заданного расхода метанола следует поддерживать как можно ниже, а давление выше. Если есть ограничения по мощности существующих компрессоров, тогда при увеличенном расходе следует поддерживать

пониженное давление.

Полученные результаты могут быть использованы при определении необходимости замены сепараторов разделения синтез-газа и метанола-сырца и компрессоров, служащих для сжатия синтез газа. А также для оценки потерь ценных газов с продувочными газами.

Исследование влияния увеличения расхода сырья на расход метанола из реактора при среднем давлении показало, что по мере увеличения расхода сырья в реакторе, выход метанола будет возрастать, но не пропорционально увеличению расхода сырья. Это связано с тем, что при увеличении расхода сырья (при постоянной площади поперечного сечения реактора) время контакта уменьшается и концентрация метанола в продуктовой смеси снижается.

Была спрогнозирована активность катализатора в течение 6 лет. При длительной работе катализатора в условиях повышенной производительности, дезактивация катализатора происходит быстрее всего на первой полке реактора, так как на нее приходится самый большой расход сырья. Также мы видим, что катализатор на первой полке после 2100 суток работы имеет большую активность при мощности установки в 1100 тыс. т/г, чем при мощности в 910 тыс. т/г. Это объясняется тем, что при большем расходе сырья (при одинаковом сечении реактора) время контакта уменьшается, а значит, снижается и скорость образования метанола, и перепад температур, и скорость дезактивации катализатора.

В настоящее время метанол является одним из самых востребованных органическим соединением, выпускаемым химической промышленностью. В связи с увеличением спроса на метанол, исследования в направлении повышения производительности и улучшения технологий его получения остаются актуальными и востребованными.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Кемалов Р.А. Технологии получения и применения метанола Р.А.Кемалов, А.Ф. Кемалов. – Казань: Казан. ун-т, 2016. – 167 с
2. Бухгалтер Э. Б. Метанол и его использование в газовой промышленности — М.: Недра, 1986, 238 с.
3. Кемалов Р.А. Технологии получения и применения метанола Р.А.Кемалов, А.Ф. Кемалов. – Казань: Казан. ун-т, 2016. – 167 с
4. Розовский А.Я., Лин Г.И. Теоретические основы процесса синтеза метанола. – М.:Химия, 1990. – 272 с.
5. Рынок метанола: текущая ситуация и перспективы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.eu.com/ru_ru/industrial-products/eumethanol-market-overview
6. Чернышев А.К. Метанол: свойства, производство, применение / А. К. Чернышев [и др.] ; Инфохим . — Москва : Инфохим , 2011 т. 1 — 2011. — 411 с.
7. Сазонов И.В. Катализаторы синтеза метанола. // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 2010. - №2. – с. 117 – 122.
8. New Chemistry, Новые химические технологии – Аналитический портал химической промышленности [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://www.newchemistry.ru/>
9. Академия Конъюнктуры Промышленных Рынков. Обзор современных катализаторов синтеза метанола [Электронный ресурс]. — Режим доступа. — URL: http://newchemistry.ru/letter.php?n_id=883
10. Кемалов Р.А. Технологии получения и применения метанола: учебное пособие / Р.А. Кемалов, А.Ф. Кемалов Р. - Казань: Изд-во Казан. ун-та, 2017. –167с
11. Электронный Интернет-ресурс. Реакторы для синтеза метанола при низком давлении. <http://e-him.ru/?page=dynamic§ion=49&article=531>

12. Розовский А.Я., Лин Г.И. Теоретические основы процесса синтеза метанола. – М.:Химия, 1990. – 272 с.
13. Федеральный закон от 28 декабря 2013 г. N 426-ФЗ «О специальной оценке условий труда» // СПС Гарант
14. ГОСТ 12.0.003-2015 Опасные и вредные производственные факторы. Классификация
15. ГОСТ 12.4.280-2014 Одежда специальная для защиты от общих производственных загрязнений и механических воздействий
16. СанПиН 2.6.1.2523-09 Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009)
17. ГОСТ 12.4.124-83 «Средства защиты от статического электричества. Общие технические требования»
18. ГОСТ 12.1.012-2004 «Вибрационная безопасность. Общие требования»
19. СП 51.13330.2011 Защита от шума. Актуализированная редакция СНиП 23-03-2003 (с Изменениями N 1, 2)
20. СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95*
21. ГОСТ 12.1.005-88 «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны»
22. Р 2.2.2006-05. 2.2. гигиена труда. Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда