

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

### БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

<b>Тема работы</b>
<b>Математическое моделирование технологии низкотемпературного синтеза метанола</b>

УДК 665.614-044.965

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-2Д8Б	Бобров С.В.		

**Руководитель ВКР**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОХИ ИШПР	Юрьев Е.М.	к.т.н.		

### КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ООТД	Сечин А.А.	к.т.н.		

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСНГ	Рыжакина Т.Г	к. э.н.		

### ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП, должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОХИ ИШПР	Кузьменко Е.А	к.т.н.		

## ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ ООП

Код компетенции	Наименование компетенции
<b>Универсальные компетенции</b>	
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 языке Российской Федерации 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
УК(У)-9	Способен проявлять предприимчивость в практической деятельности, в т.ч. в рамках разработки коммерчески перспективного продукта на основе научно-технической идеи
<b>Общепрофессиональные компетенции</b>	
ОПК(У)-1	Способен и готов использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности
ОПК(У)-2	Готов использовать знания о современной физической картине мира, пространственно-временных закономерностях, строении вещества для понимания окружающего мира и явлений природы
ОПК(У)-3	Готов 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	Владеет пониманием сущности и значения информации в развитии современного информационного общества, осознанием опасности и угрозы, возникающих в этом процессе, способностью соблюдать основные требования информационной безопасности, в том числе защиты государственной тайны
ОПК(У)-5	Владеет основными методами, способами и средствами получения, хранения, переработки информации, навыками работы с компьютером как средством управления информацией
ОПК(У)-6	Владеет основными методами защиты производственного персонала и населения от возможных последствий аварий, катастроф, стихийных бедствий

<b>Профессиональные компетенции</b>	
ПК(У)-1	Способен и готов осуществлять технологический процесс в соответствии с регламентом и использовать технические средства для измерения основных параметров технологического процесса, свойств сырья и продукции
ПК(У)-2	Готов 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	Готов использовать нормативные документы по качеству, стандартизации и сертификации продуктов и изделий, элементы экономического анализа в практической деятельности
ПК(У)-4	Способен принимать конкретные технические решения при разработке технологических процессов, выбирать технические средства и технологии с учетом экологических последствий их применения
ПК(У)-5	Способен 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	Способен налаживать, настраивать и осуществлять проверку оборудования и программных средств
ПК(У)-7	Способен проверять техническое состояние, организовывать профилактические осмотры и текущий ремонт оборудования, готовить оборудование к ремонту и принимать оборудование из ремонта
ПК(У)-8	Готов к освоению и эксплуатации вновь вводимого оборудования
ПК(У)-9	Способен анализировать техническую документацию, подбирать оборудование, готовить заявки на приобретение и ремонт оборудования
ПК(У)-10	Способен проводить анализ сырья, материалов и готовой продукции, осуществлять оценку результатов анализа
ПК(У)-11	Способен выявлять и устранять отклонения от режимов работы технологического оборудования и параметров технологического процесса
<b>Профессиональные компетенции университета</b>	
ДПК(У)-1	Способен планировать и проводить химические эксперименты, проводить обработку результатов эксперимента, оценивать погрешности, применять методы математического моделирования и анализа при исследовании химико-технологических процессов
ДПК(У)-2	Готов изучать научно-техническую информацию, отечественный и зарубежный опыт по тематике исследования
ДПК(У)-3	Готов использовать знания фундаментальных физико-химических закономерностей для решения возникающих научно-исследовательских задач, самостоятельного приобретения физических знаний, для понимания принципов работы приборов и устройств, в том числе, химических реакторов
ДПК(У)-4	Готов использовать информационные технологии при разработке проектов
ДПК(У)-5	Готов изучать научно-техническую информацию, отечественный и зарубежный опыт по тематике исследования на английском языке

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

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель ООП

(Подпись)

(Дата)

Кузьменко Е.А.

(Ф.И.О.)

### ЗАДАНИЕ на выполнение выпускной квалификационной работы

Обучающийся:

Группа	ФИО
<b>3-2Д8Б</b>	<b>Бобров Станислав Владимирович</b>

Тема работы:

<b>Математическое моделирование технологии низкотемпературного синтеза метанола</b>	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	<b>№31-66/с от 31.01.2023 г.</b>

Срок сдачи обучающимся выполненной работы:	<b>29.05.2023 г.</b>
--	----------------------

#### ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p><b>Исходные данные к работе</b>  <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 функционированию (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.)</i></p>	<p>Данные для расчета материального баланса установки производства метанола: по метанолу, водороду и прочим продуктам — на моделирующей программе синтеза метанола.</p> <p style="text-align: center;">Таблица 1. Технологические параметры для расчета на программе</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>№</th> <th>Параметр</th> <th>Значение</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>Расход метанола с 2 реакторов, млн. т/год</td> <td>не менее 1,5</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>Расход газа на 1 реактор, тыс. нм<sup>3</sup>/час</td> <td><i>подобрать</i></td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>Температура сырья на 1-ую полку, °С</td> <td>220-240</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>Температура байпасных потоков, °С</td> <td>50-60</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>Давление в реакторе, МПа</td> <td>4; 7,1; 8,2</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>Относительное распределение потоков по полкам реактора (об. %)</td> <td>55/15/15/15</td> </tr> <tr> <td>7</td> <td>Максимальная температура на полках (при пополючном расчете), °С, не более</td> <td>280-290</td> </tr> <tr> <td>8</td> <td>Фонд рабочего времени, сут.</td> <td>344</td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center;">Таблица 2. Состав циркуляционного газа для расчета на программе</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Вещество</th> <th>СО</th> <th>СО<sub>2</sub></th> <th>H<sub>2</sub></th> <th>N<sub>2</sub></th> <th>CH<sub>4</sub></th> <th>Диметилловый эфир</th> <th>H<sub>2</sub>O</th> <th>Метанол</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Содержание</td> <td>3</td> <td>2</td> <td>82,4</td> <td>0,9</td> <td>10,9</td> <td>0,012</td> <td>0,07</td> <td>0,5</td> </tr> </tbody> </table>	№	Параметр	Значение	1	Расход метанола с 2 реакторов, млн. т/год	не менее 1,5	2	Расход газа на 1 реактор, тыс. нм <sup>3</sup> /час	<i>подобрать</i>	3	Температура сырья на 1-ую полку, °С	220-240	4	Температура байпасных потоков, °С	50-60	5	Давление в реакторе, МПа	4; 7,1; 8,2	6	Относительное распределение потоков по полкам реактора (об. %)	55/15/15/15	7	Максимальная температура на полках (при пополючном расчете), °С, не более	280-290	8	Фонд рабочего времени, сут.	344	Вещество	СО	СО <sub>2</sub>	H <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	Диметилловый эфир	H <sub>2</sub> O	Метанол	Содержание	3	2	82,4	0,9	10,9	0,012	0,07	0,5
№	Параметр	Значение																																												
1	Расход метанола с 2 реакторов, млн. т/год	не менее 1,5																																												
2	Расход газа на 1 реактор, тыс. нм <sup>3</sup> /час	<i>подобрать</i>																																												
3	Температура сырья на 1-ую полку, °С	220-240																																												
4	Температура байпасных потоков, °С	50-60																																												
5	Давление в реакторе, МПа	4; 7,1; 8,2																																												
6	Относительное распределение потоков по полкам реактора (об. %)	55/15/15/15																																												
7	Максимальная температура на полках (при пополючном расчете), °С, не более	280-290																																												
8	Фонд рабочего времени, сут.	344																																												
Вещество	СО	СО <sub>2</sub>	H <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	Диметилловый эфир	H <sub>2</sub> O	Метанол																																						
Содержание	3	2	82,4	0,9	10,9	0,012	0,07	0,5																																						

	вещества, мольн. %								
<p><b>Перечень разделов пояснительной записки подлежащих исследованию, проектированию и разработке</b> <i>(аналитический обзор литературных источников с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе)</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Введение. Производство метанола в России и в мире.</li> <li>2) Физико-химические основы синтеза метанола. Свойства метанола.</li> <li>3) Литературный обзор. Современные способы получения метанола. Современные катализаторы синтеза метанола.</li> <li>4) Современные технологические схемы синтеза метанола. Технологическая схема установки синтеза метанола М-750.</li> <li>5) Конструкции современных реакторов синтеза метанола.</li> <li>6) Сырье синтеза метанола. Характеристика состава и свойств продуктов синтеза метанола. Разделение метанола-сырца.</li> <li>7) Цели и задачи работы.</li> <li>8) Характеристика компьютерной программы моделирования синтеза метанола, разработанной в ТПУ. Математическая модель синтеза метанола.</li> <li>9) Моделирование четырехполочного реактора синтеза метанола на компьютерной программе ТПУ: <ul style="list-style-type: none"> <li>— Подбор расхода сырья для повышения производительности реакторного блока по метанолу. Исследование профилей температур и концентраций в реакторе при повышенной производительности;</li> <li>— Влияние увеличения расхода сырья на расход метанола из реакторного блока при среднем давлении синтеза;</li> <li>— Прогноз изменения активности катализатора при повышенной производительности во время длительной работы установки.</li> </ul> </li> <li>10) Обсуждение результатов: показатели технологического режима установки М-750 при повышенной производительности по метанолу; относительное увеличение расхода метанола при увеличении расхода сырья — график; длительная работа катализатора в условиях повышенной производительности — прогноз активности катализатора.</li> <li>11) Раздел «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение».</li> <li>12) Раздел «Социальная ответственность».</li> <li>13) Заключение (выводы).</li> </ol>								
<p><b>Перечень графического материала</b> <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Технологическая схема синтеза метанола на низкотемпературном катализаторе (агрегат М-750 или аналог).</li> <li>2) Профили температур и концентраций продуктов по длине реакционной зоны в реакторе синтеза метанола при разных условиях.</li> <li>3) График относительного увеличения расхода метанола при увеличении расхода сырья в реактор.</li> <li>4) Графики изменения активности катализатора на разных полках реактора во время длительной работы установки.</li> </ol>								
<p><b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b> <i>(с указанием разделов)</i></p>									
<b>Раздел</b>		<b>Консультант</b>							
«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»		Рыжакина Татьяна Гавриловна, к.э.н., доцент ОСГН							
«Социальная ответственность»		Сечин Андрей Александрович, к.т.н., доцент ООТД							
<p><b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b></p> <p>—</p>									

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	<b>30.01.2023 г.</b>
---	----------------------

**Задание выдал руководитель:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Доцент ОХИ	Юрьев Е.М.	к.т.н.		

**Задание принял к исполнению обучающийся:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
3-2Д8Б	Бобров Станислав Владимирович		

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

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
3-2Д8Б	Бобров Станислав Владимирович

<b>Школа</b>	<b>ИШПР</b>	<b>Отделение школы (НОЦ)</b>	Отделение химической инженерии
<b>Уровень образования</b>	Бакалавриат	<b>Направление/специальность</b>	18.03.01 Химическая технология

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Работа с информацией, представленной в российских и иностранных научных публикациях, аналитических материалах, статических бюллетенях и изданиях, нормативно-правовых документах; анкетирование; опрос.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Проведение предпроектного анализа. Определение целевого рынка и проведение его сегментирования. Выполнение SWOT-анализа проекта
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	Определение структуры работы. Расчет трудоемкости выполнения работ. Подсчет бюджета исследования
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	Рассчитать показатели финансовой эффективности, ресурсоэффективности и эффективности исполнения

**Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):**

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

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	03.02.2023
---	------------

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Доцент ОСГН	Рыжакина Татьяна Гавриловна	к.э.н.		03.02.2023

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
3-2Д8Б	Бобров Станислав Владимирович		03.02.2023

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

<b>Группа</b> 3-2Д8Б		<b>ФИО</b> Бобров Станислав Владимирович	
<b>Школа</b>	Инженерная школа природных ресурсов	<b>Отделение (НОЦ)</b>	Отделение химической инженерии
<b>Уровень образования</b>	Бакалавриат	<b>Направление/специальность</b>	18.03.01.Химическая технология

Тема ВКР:

**Математическое моделирование технологии низкотемпературного синтеза метанола**

**Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:**

**Введение**

- Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика) и области его применения.
- Описание рабочей зоны (рабочего места) при разработке проектного решения/при эксплуатации

Объект исследования: установка синтеза метанола М – 750.  
Область применения: нефтеперерабатывающая промышленность.  
Рабочая зона: компьютерный зал Новосибирской государственной публичной научно-технической библиотеки.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

**1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности при разработке проектного решения:**

- специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;
- организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.

- Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 01.04.2019);
- СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы;
- СНиП 21-01-97 Пожарная безопасность зданий и сооружений.

**2. Производственная безопасность при разработке проектного решения:**

- Анализ выявленных вредных и опасных производственных факторов

Вредные факторы:

- Отклонение показателей микроклимата;
- Нервно психические перегрузки;
- Статические физические перегрузки;
- Повышенный уровень шума;
- Перегрузка зрительного аппарата;
- Недостаточная освещенность рабочей зоны.

Опасные факторы:

- Электрический ток;
- Пожарная безопасность.

<b>3. Экологическая безопасность</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Анализ воздействия объекта на атмосферу, гидросферу и литосферу;</li> <li>- Решение по обеспечению экологической безопасности.</li> </ul>
<b>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях при разработке проектного решения</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Анализ возможных ЧС;</li> <li>- Разработка превентивных мер по предупреждению ЧС;</li> <li>- Разработка действий в результате возникшей ЧС.</li> </ul>
<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ООТД	Сечин Андрей Александрович	к.т.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-2Д8Б	Бобров Станислав Владимирович		

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

Школа Инженерная школа природных ресурсов  
 Направление подготовки (ООП) 18.03.01 Химическая технология  
 Уровень образования Бакалавриат  
 Отделение школы (НОЦ) Отделение химической инженерии  
 Период выполнения весенний семестр 2022 /2023 учебного года

### КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Обучающийся:

<b>Группа</b> 3-2Д8Б	<b>ФИО</b> Бобров Станислав Владимирович
-------------------------	---

Тема работы:

Синтез метанола
-----------------

Срок сдачи обучающимся выполненной работы:	05.06.2023 г.
--	---------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
01.04.2023	Введение	10
10.04.2023	1. Выполнение литературного обзора, поиск литературных источников и их анализ	20
20.04.2023	2. Выполнение расчетно-экспериментальной работы	20
30.04.2023	3. Анализ и обработка экспериментальных данных	20
20.05.2023	4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	10
20.05.2023	5. Социальная ответственность	10
31.05.2023	Выводы	10

**СОСТАВИЛ:**

**Руководитель ВКР**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОХИ ИШПР	Юрьев Е.М.	К.Т.Н.		30.03.23 г.

**СОГЛАСОВАНО:**

**Руководитель ООП**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОХИ ИШПР	Кузьменко Е.А.	К.Т.Н.		

**Обучающийся:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-2Д8Б	Бобров Станислав Владимирович		

## Реферат

Выпускная квалификационная работа бакалавра содержит 101 страницу, 23 рисунка, 28 таблиц, 31 источник.

Ключевые слова: синтез, метанол, реактор, моделирование, расход метанола.

Объектом исследования является установка синтеза метанола М-750.

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

В ходе исследования определены оптимальные условия для получения максимального расхода метанола.

Область применения: нефтехимическая промышленность.

## Оглавление

1 Теоретическая часть.....	18
1.1 Физико-химические основы синтеза метанола.....	18
1.2 Современные катализаторы синтеза метанола .....	23
1.3 Современные технологические схемы синтеза метанола.....	26
1.3.1. Синтез метанола под давлением 5 МПа.....	26
1.3.2. Синтез метанола под давлением 5-9 МПа. ....	28
1.4 Конструкции современных реакторов синтеза метанола .....	29
1.5 Сырье и продукты реакторного блока синтеза метанола .....	31
1.5.1. Сырье синтеза метанола .....	31
1.5.2. Разделение метанола-сырца .....	33
2 Характеристики объекта исследования .....	35
2.1 Цели и задачи исследования .....	35
2.2 Характеристика компьютерной программы моделирования синтеза метанола Methanol TPU .....	36
2.3 Технологическая схема установки синтеза метанола М-750 .....	39
3 Моделирование четырехполочного реактора синтеза метанола на компьютерной программе ТПУ .....	45
3.1 Подбор расхода сырья для повышения производительности реакторного блока по метанолу .....	45
3.2 Исследование профилей температур и концентраций в реакторе при повышенной производительности.....	46
3.3 Влияние увеличения расхода сырья на расход метанола из реакторного блока при среднем давлении синтеза.....	48

3.4 Прогноз изменения активности катализатора при повышенной производительности во время длительной работы установки. ....	51
4 Обсуждение результатов .....	58
5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение...	60
5.1 Потенциальные потребители результатов исследования .....	61
5.2 Анализ конкурентных технических решений .....	61
5.3 SWOT-анализ .....	63
5.4 Планирование работ по научно-техническому исследованию.....	67
5.4.1. Структура работ в рамках научного исследования .....	67
5.4.2. Определение трудоёмкости выполнения работ .....	69
5.4.3. Разработка графика проведения научного исследования .....	71
5.5 Бюджет научно-технического исследования (НТИ).....	72
5.5.1. Расчет материальных затрат НТИ .....	72
5.5.2. Расчет затрат на специальное оборудование для научных работ ....	73
5.5.3. Основная заработная плата исполнителя темы.....	74
5.5.4. Расчет дополнительной заработной платы.....	76
5.5.5. Отчисления во внебюджетные фонды .....	77
5.5.6. Накладные расходы.....	77
5.5.7. Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта .....	78
5.6 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования ..	79
6 Социальная ответственность .....	82
6.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.....	82

6.1.1. Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.....	85
6.2 Производственная безопасность.....	86
6.2.1. Анализ потенциально возможных и опасных факторов, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований.....	86
6.2.2. Отклонение показателей микроклимата .....	88
6.2.3. Нервно-психические перегрузки .....	89
6.2.4. Статические физические перегрузки.....	89
6.2.5. Повышенный уровень шума.....	90
6.2.6. Перегрузка зрительного аппарата.....	90
6.2.7. Недостаточная освещенность рабочей зоны .....	91
6.2.8. Электрический ток .....	91
6.2.9. Пожарная безопасность .....	92
6.3 Экологическая безопасность.....	93
6.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях .....	94
Заключение .....	96
Список использованных источников .....	98

## **Введение**

Одним из самых важнейших крупнотоннажных химических продуктов является метиловый спирт. Метанол был обнаружен в древесном спирте в XVII веке, а в 1834 г. извлечен из продуктов сухой перегонки древесины. Это стало основным методом его производства, до освоения каталитического метода. Такой спирт содержал большое количество трудноотделимых примесей и ацетона. На сегодняшний день данный метод не имеет промышленного значения.

Впервые в промышленном виде метанол был получен в 1923 году. Этому предшествовала разработка процесса получения синтез-газа в начале 1920-х годов. На протяжении долгого времени отраслевой метанол служил в качестве топлива для хозяйственных нужд, а также стал одним из первых видов горючего для ДВС.

Природный газ является основным сырьем для производства метанола. Менее распространены технологии для получения синтез-газа с использованием отходов нефтепереработки, органического мусора, животной и растительной биомассы.

Расход метанола возрастает из года в год, на сегодняшний день этот показатель составляет более 160 млн. т/год. Метиловый спирт занимает одно из первых мест среди основных продуктов многотоннажной химии [1].

Метиловый спирт имеет большой потенциал во многих областях, и многообразие сфер его применения постоянно возрастает, это объясняет причину столь бурного роста спроса на это вещество.

Метанол применяется в качестве растворителя, является сырьем в производстве формальдегида (около половины от всего выпускаемого метилового спирта), высокооктановых добавок, синтетических каучуков, уксусной кислоты, метиламина, поливинилового спирта и ацеталей,

антифризов, денатурирующих добавок, также в качестве ингибитора гидратообразования в газовой промышленности.

Также свое применение метанол находит в качестве источника энергии, как топлива для тепловых электростанций или моторного топлива. Использование метанола в качестве компонента бензина позволяет улучшить антидетонационные свойства топлива, а также уменьшить содержание вредных веществ в выхлопных газах.

По итогам 2019 года производство метанола составило 4,46 млн т, что составляет примерно 5% от мирового объема производства. Более 80% от этого объема пришлось на четырех крупнейших производителей – ООО ОХК «Щекиноазот» (21%), ПАО «Метафракс» (24%), ООО «Сибметакхим» (20%) и ООО «Томет» (19%) [2].

Российский метанол реализуется не только на внутреннем рынке, но и за рубежом. Финляндия является основным покупателем, совокупная доля в экспорте в 2021 г составила 41,6%. Это связано с наличием необходимой портовой инфраструктурой для экспорта метанола, которая отсутствует в России. Другие ключевые партнеры Словакия, Польша, Нидерланды и Беларусь. В эти страны продукт поставляется по железнодорожной сети и составляет 42,8% от совокупного объема экспорта. Из-за высоких логистических затрат транзит крупнотоннажных продуктов в азиатском направлении затруднен.

В 2022 г наблюдается переориентация экспортных поставок: сокращаются поставки метанола в Финляндию при значительном росте экспорта в Польшу, Латвию, Турцию. Начались поставки метанола в Китай, куда ранее метанол не экспортировался [2].

По всему миру наблюдается повышение спроса на продукты, получаемые из метанола, а также появление новых направлений его использования: в топливно-энергетических целях, очистки сточных вод, при

получении уксусной кислоты. Все это вызывает необходимость повышения объемов его производства.

Для более эффективного получения качественного метанола при минимальных затратах необходимо постоянно совершенствовать технологии его производства, тем самым увеличивая мощности существующих установок синтеза.

## 1 Теоретическая часть

### 1.1 Физико-химические основы синтеза метанола

Метиловый спирт - простейший представитель гомологического ряда предельных одноатомных спиртов. В свободном состоянии практически не встречается, можно обнаружить в небольших количествах в эфирных маслах. Также часто встречается в качестве простых эфиров среди природных красителей, алкалоидов и т. д.

В нормальных условиях метанол - это бесцветная, легколетучая, горючая жидкость. Он легко воспламеняется, а смеси с воздухом в объемных концентрациях 7-35% образует взрывоопасные смеси (температура вспышки 8°C). Обладает опьяняющим эффектом и является для человеческого организма высокотоксичным веществом, с резким запахом, напоминающим этанол. Токсичным считается не сам метанол, а его продукты первичного распада, сперва формальдегид, а затем муравьиная кислота. В зависимости от дозировки может вызвать повреждение зрительного нерва вплоть до полной потери зрения, а 25-100 мл считается смертельной дозой для здорового человека.

Таблица 1 - Физические характеристики метанола при нормальных условиях [1]

Молекулярная масса, г/моль	32,04
Плотность, г/см <sup>3</sup>	0,81
Вязкость, мПа·с	0,817
Температура кипения, °С	64,7
Температура плавления, °С	-97,68
Теплота парообразования, кДж/моль	37,41
Теплота сгорания, кДж/моль жидкого	726,55

Теплота сгорания, кДж/моль газообразного	742,24
---	--------

Плотность и вязкость метанола уменьшаются при повышении температуры (Таблица 2).

Таблица 2 - Плотность и вязкость метанола при разных температурах

Температура, °С	-40	-20	0	20	40	60
Плотность, г/см <sup>3</sup>	0,847	0,829	0,81	0,7915	0,774	0,7555
Вязкость, мПа·с	1,75	1,16	0,817	0,597	0,45	0,35

Повышение температуры приводит к резкому росту давления насыщенных паров метилового спирта. При 10 °С давление насыщенных паров составляет 7 КПа, при увеличении температуры до 60 °С повышается до 84 КПа, а при 100 °С составляет 352 КПа.

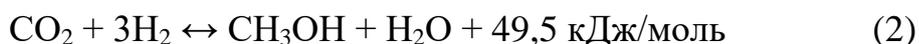
Метанол хорошо поглощает пары воды, двуокись углерода и некоторые другие вещества. Также он обладает высокой растворимостью для большинства известных газов и паров. Так, при нормальных условиях растворимость неона, гелия, кислорода в метаноле выше в сравнении с ацетоном, этанолом, бензолом и т.д. Высокая растворимость газов в нем широко применяется в промышленности, используя метанол и его растворы в качестве поглотителя для извлечения примесей из технологических газов.

Процесс синтеза метанола описывается следующими основными реакциями:

- Гидрирование окиси углерода



- Гидрирование диоксида углерода



С повышением давления и температуры тепловой эффект реакции оксида водорода и углерода незначительно возрастает [3]. Также в процессе синтеза протекает обратимая эндотермическая реакция диоксида углерода и водорода.



Низкотемпературный синтез метанола проводится при температуре (210-290 °С) и давлении около 7 МПа.

Однократного прохождения газовой смеси через слой катализатора недостаточно, учитывая незначительную степень превращения реагентов. Так как реакции (1) и (2) равновесны, логично синтезировать метанол с промежуточным выводом продукта и воды из цикла после каждого прохождения через слой катализатора и повторной циркуляцией газов через реактор

Повторная циркуляция смеси позволяет увеличить выход метанола с единицы объема катализатора. С каждым повторным прохождением смеси выход продукта повышается все менее заметно, а при слишком большой кратности циркуляции, заметно падает качество сепарации метанола и воды из газовой смеси, тем самым возвращая метанол обратно в реактор синтеза [4-5].

Высокое содержание несконденсированного метанола в реакторе ведет к понижению производительности катализатора. Следовательно, для смещения равновесия реакции в сторону реагентов необходимо своевременно выводить метанол из циркуляционной газовой смеси. Именно поэтому верхняя часть реактора, куда поступает циркулирующий газ с низкой концентрацией метанола обеспечивает выход метанола с единицы объема катализатора выше чем нижние слои. Со временем это ведет к потере активности верхних слоев катализатора, тем самым увеличивая съём продукта с нижерасположенных слоев.

При увеличении давления процесса синтеза химическое равновесие основных реакций (1) и (2) смещается в сторону образования метанола. Высокий выход продукта уже при давлении 4 МПа возможен лишь с применением катализатора с повышенной активностью и высокой селективностью на получение метанола. При дальнейшем повышении давления повышается выход метанола. Однако давление 8,2 МПа является верхней границей увеличения давления, так как при более высоких показателях наблюдается разрушение гранул катализатора [6].

Исходя из стехиометрии реакций (1) и (2) следует, что повышение давления способствует более глубокой переработке оксидов углерода. Из рисунка 1 видно, что увеличение давления приводит к увеличению равновесной концентрации метанола на выходе.

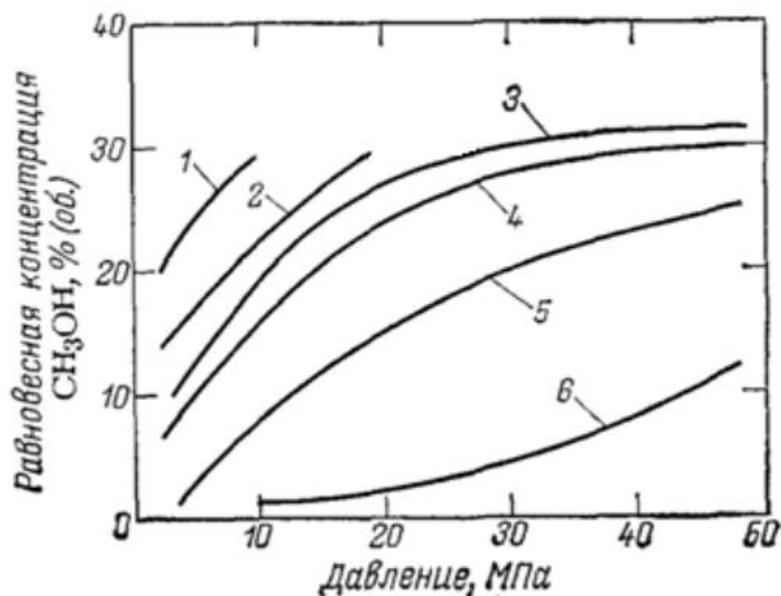


Рисунок 1 – Зависимость равновесной концентрации метанола от давления при различных температурах: (1-6 – кривые концентрации метанола при температурах 200, 220, 240, 260, 300, 400 °С соответственно) [7]

Рисунок 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

$\text{CH}_3\text{OH}$  изменяется незначительно [5]. Вместе с ростом концентрации  $\text{CH}_3\text{OH}$ , увеличение давления ведет к росту концентрации воды.

Так как реакции синтеза метанола экзотермичны, необходимо внимательно относиться к температурному режиму в процессе работы реактора. Чрезмерное повышение температуры в зоне реакции может привести к спеканию катализатора в реакторе синтеза. Оптимальной считается температура в диапазоне 210-290 °С. В связи с высоким тепловым эффектом реакций синтеза метанола возникает необходимость охлаждения зоны синтеза.

Особенность синтеза заключается в способности применяемого катализатора обеспечивать хороший выход метанола при относительно низких температурах, однако при температуре менее 200 °С могут образовываться углеводороды с большой молекулярной массой.

Свежий катализатор способен обеспечить хороший выход метанола при температуре (210-215) °С на входе в слой катализатора, а на выходе из него температура может достигать (240-250) °С. Со временем активность катализатора падает, тогда возникает необходимость повышать температуру на входе в слой катализатора до (240 -250) °С, отчего температура на выходе из слоя катализатора достигает (270-290) °С [8].

Скорость образования метанола растет пропорционально концентрации  $\text{H}_2$  и  $\text{CO}$ . В начале срока службы катализатора возможно применение газа с более низким содержанием  $\text{CO}$  и  $\text{CO}_2$ , чем в конце срока работы.

С увеличением концентрации инертных компонентов в газовой смеси парциальные давления ключевых реагентов уменьшаются, а значит уменьшается выход метанола. Продувка возвратного газа позволяет контролировать концентрацию инертных газов и избыточного водорода, который также негативно влияет на протекание реакций синтеза снижая

парциальное давление CO и CO<sub>2</sub> в реакторе. Современные катализаторы синтеза метанола

## 1.2 Современные катализаторы синтеза метанола

В производстве метанола катализаторы важны так же, как и сам природный газ. Такие качества катализаторов как селективность, активность и термостойкость повышают качество товарного продукта, а также позволяют нарастить объемы производства метанола.

С переходом сырьевой базы на природный газ, улучшением способов очистки газа и усовершенствованием техники в ряде стран стали использовать цинк-медь-алюминиевые и цинк-медные катализаторы.

К исходному сырью предъявляют жесткие требования, так как примеси щелочных металлов вызывают образование высших спиртов, а в присутствии примесей никеля и железа ускоряются реакции, идущие с образованием метана. В синтез-газе не допускается содержание карбонила железа и соединений серы. Высокоактивные и селективные катализаторы синтеза метанола» позволяющие осуществлять процесс при 200—300 °С, содержат медь. [13]

Медьсодержащие катализаторы имеют более высокую активность в сравнении с цинкхромовыми. Свою максимальную активность они проявляют при температуре 220— 260 °С, благодаря этой особенности они характеризуются как низкотемпературные. Это позволяет проводить процесс синтеза при давлении ниже 20 МПа, что значительно упрощает аппаратное оформление.

В свою очередь цинк-хромовые катализаторы обладают высокой термостойкостью и менее чувствительны к каталитическим ядам. При перегревах активность медьсодержащего катализатора снижается быстрее, а

присутствие сернистых соединений ведет к образованию неактивного сульфида меди.

При производстве низкотемпературных катализаторов необходимо использовать сырье, содержащее минимальное количество примесей. Их наличие снижает селективность катализатора и качество метанола-сырца [11].

На сегодняшний день в промышленности большей популярностью пользуются низкотемпературные катализаторы синтеза метанола. Существенного понижения температуры в процессе синтеза метанола можно достичь с помощью катализаторов на основе меди с композицией ее с алюминием, цинком, хромом, натрием, марганцем и другими элементами [12].

Следует отметить, что производство и разработка катализаторов является сложнейшим технологическим процессом и одной из наиболее наукоемких подотраслей мировой химической промышленности. Постоянно ведутся работы по усовершенствованию уже существующих катализаторов синтеза и разработке новых.

Мировыми лидерами в производстве катализаторов синтеза метанола являются такие крупные и всемирно известные компании, как «Johnson Matthey», купившая катализаторное подразделение «Synetix» у компании «ICI» (в 2002 году) – Великобритания и т.д.

– Применение в промышленном синтезе метанола нашли катализаторы компании «Johnson Matthey» серии «Katalco-51». Важное преимущество этих катализаторов заключается в повышенной активности на последних этапах своей службы. Это обуславливается наличием в их составе, помимо  $ZnO-Al_2O_3$ , оксида магния. Который способствует распределению и закреплению атомов меди на поверхности катализатора.

Например, на действующей установке мощностью 2000 тонн в сутки спустя 4 года использования катализатора, производительность реактора снизилась не больше 2,5%. Сравнивая с большинством других катализаторов,

производительность установки, работающей на катализаторах «Katalco-51» выше приблизительно на 3,5% [1].

– Катализаторы фирмы «Sud-Chemie» AG, позволяющие поддерживать наиболее оптимальный баланс между активностью, селективностью и сроком службы в широком диапазоне рабочих условий. Результатом разработок явилось появление целого ряда катализаторов синтеза метанола.

Катализаторы серии С 79-4 GL обладают наилучшей селективностью для изотермических реакторов с производством синтез-газа частичным окислением нефти или угля.

Катализаторы серии С 79-5 GL характеризуется длительным сроком службы с высокой активностью и селективностью в изотермических и адиабатических реакторах с производством свежего газа паровым риформингом.

Катализаторы серии С 79-6 GL обладает наилучшими эксплуатационными показателями для специального свежего газа, такого как отходящие газы ацетилен, с высокой стойкостью к олефинам. [14].

– Катализаторы фирмы «Haldor Topsøe» МК-101 обладают высокой селективностью и стабильной каталитической активностью, это позволяет эффективнее углеводородное сырье. Катализатор создан для работы при давлении 4 – 12 МПа. Оптимальный температурный диапазон для него составляет 205 – 310 °С.

Термическое старение и спекание катализатора приводит к медленному естественному снижению каталитической активности. Этот процесс проявляется в наибольшей степени в первый год эксплуатации, после которого катализатор становится стабильным. 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. В сравнении с предшественником для этой серии характерна большая селективность (примерно на 15%) и активность (10%), а также увеличенная стабильность катализатора [11].

### **1.3 Современные технологические схемы синтеза метанола**

Многочисленные технологические схемы производства метанола включают три обязательных стадии:

- Предварительная очистка синтез-газа от карбониллов железа, частиц масла, соединений серы;
- Синтез;
- Очистка и ректификация метанола-сырца.

Технологические решения могут быть различными, как по аппаратному оформлению, так и по компоновочным вариантам, построения технологических схем.

В связи с тем, что понижение температуры процесса ведет к увеличению равновесного выхода метанола, увеличению селективности процесса и возможности проводить синтез на гораздо более низких давлениях, гораздо большую популярность стали приобретать низкотемпературные схемы синтеза метанола. Процесс протекает при 5-10 МПа на медьсодержащих катализаторах с циркуляцией газа.

Ключевая особенность в том, что исходный газ необходимо подвергнуть тщательной очистке от каталитических ядов (серы, хлора). Содержание серы в газовой смеси не должно превышать 0,15 мг/м<sup>3</sup> [6]. В связи с этим низкотемпературные схемы синтеза представляют огромный интерес, поскольку соединения серы в природном газе поглощаются ацетиленовыми растворителями.

#### **1.3.1. Синтез метанола под давлением 5 МПа**

На рисунке 2 приведена схема синтеза метанола с агрегатом мощностью 100–110 тыс. т в год под давлением 5 МПа. Эта схема компактна и эффективна. Производственные мощности определяются ресурсом природного газа и обычно достигают 100 – 110 млн тонн в год.

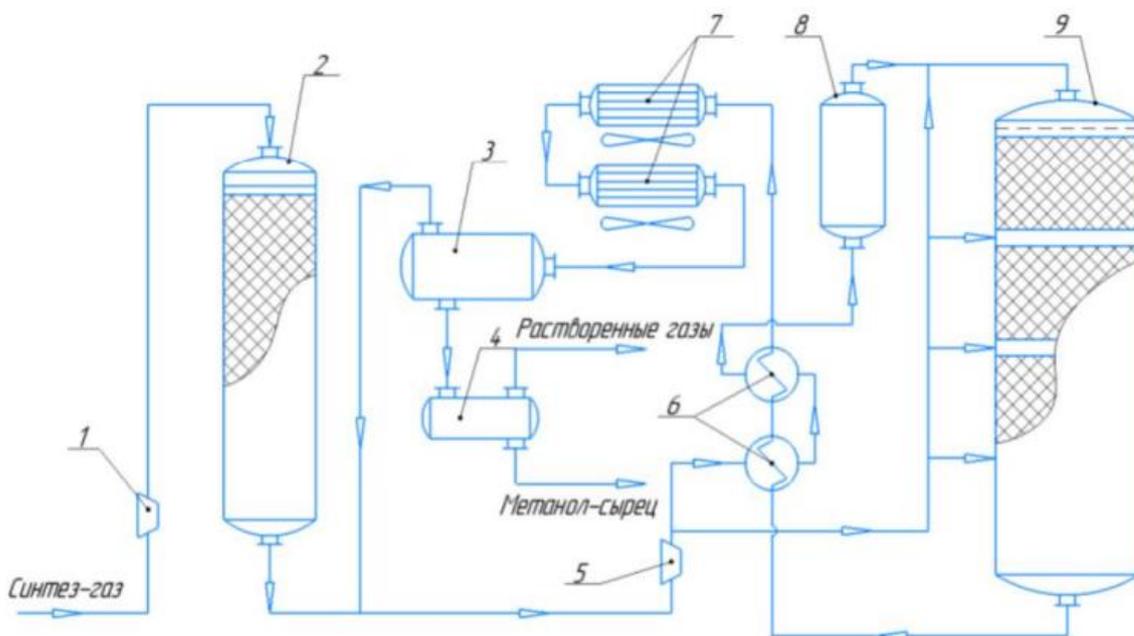


Рисунок 2 – Схема синтеза метанола под давлением 5 МПа: 1, 5 – компрессоры; 2 – фильтр; 3 – сепаратор; 4 – сборник; 6 – теплообменники; 7 – воздушные холодильники; 8 – электроподогреватель; 9 – реактор [7]

Пройдя через турбокомпрессор 1 синтез-газ направляется в угольный фильтр 2, где проходит очистку от паров растворителя ацетилена 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. Далее смесь проходя через теплообменник 6 и электроподогреватель 8, попадает в шахтный реактор синтеза 9. С помощью специально сконструированных камер смешения осуществляется подача в холодного газа в слой катализатора, так называемый байпасный поток.



– теплообменники; 7 – реактор; 8 – подогреватель конденсата; 9 – воздушный холодильник; 12 – сборник; 13 – хранилище метанола-сырца [7]

Синтез-газ сжимается компрессором 1 до давления 5-9 МПа. Отличие схем синтеза метанола под давлением 5 и 9 МПа заключается в использовании катализаторов разной активности. При высоком давлении применяется менее активный, но более термостойкий катализатор [6].

Газовая смесь нагревается до температуры начала реакции в рекуперационном теплообменнике 6 и подается в паровой подогреватель 5. Циркуляционный газ нагретый до 205-225 °С поступает в шахтный реактор синтеза 7, где протекают основные реакции синтеза метанола. Поддержанием температуры катализатора осуществляется подводом холодного газа.

#### 1.4 Конструкции современных реакторов синтеза метанола

Реакторы синтеза метанола можно разделить на полочные, трубчатые и реактор для синтеза в трехфазной системе (рисунок 4). Аппараты оборудованы средствами для точного замера и регулирования температуры, а также приспособлениями для размещения катализатора.

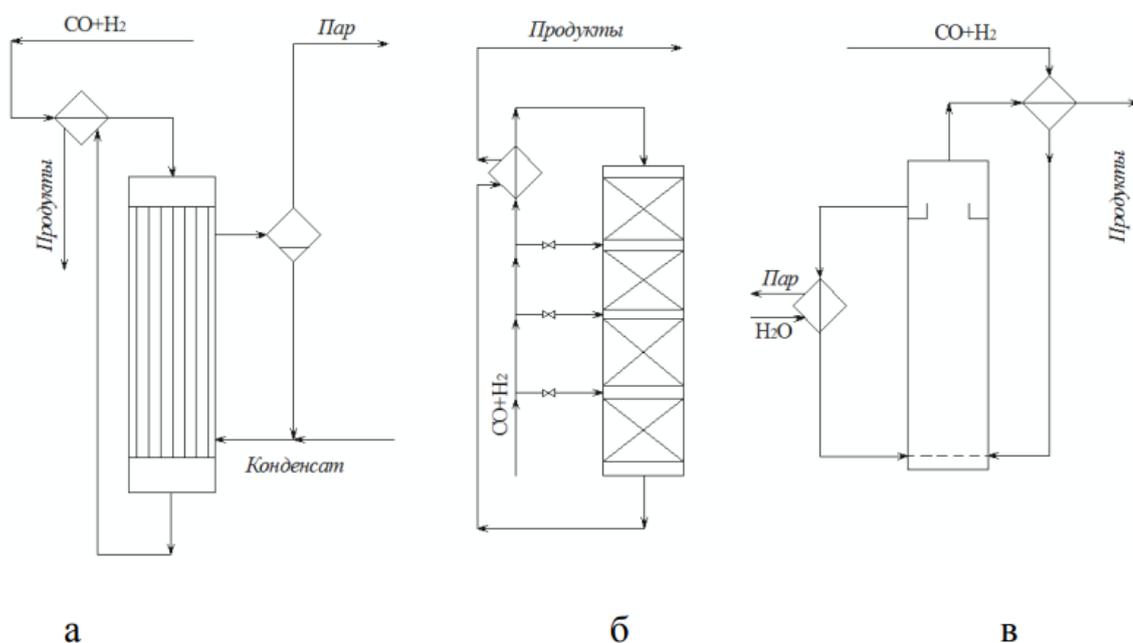


Рисунок 4 – Основные конструкции для синтеза метанола. а – трубчатый реактор; б – адиабатический реактор с несколькими слоями катализатора; в – реактор для синтеза в трехфазной системе [18].

В полочных реакторах (рисунок 4, б) катализатор занимает все поперечное сечение. Он располагается несколькими слоями на горизонтальных решетках (полках), под которыми размещены смесители с отверстиями для подачи холодного байпаса. Необходимо чтобы он равномерно распределялся по сечению реактора. Для таких реакторов характерен ступенчатый профиль температур (рисунок 18). За счет экзотермического эффекта реакции идет постепенное повышение температуры, которое сменяется падением при смешении с байпасным потоком.

В трубчатых реакторах (рисунок 4, а) катализатор размещен в трубках, омываемых хладагентом или же пронизан теплоотводящими трубками. Для трубчатых аппаратов можно снабдить охлаждающую систему паровым котлом-утилизатором, используя воду под давлением. Возможно охлаждение и другими хладагентами, например, смесью дифенила и дифенилоксида. Для подогрева свежего газовой смеси используют тепло прореагировавших газов [16].

Синтез в трехфазной системе (рисунок 4, в) проводят в жидкой фазе инертного углеводорода с суспендированным в жидкости гетерогенным катализатором и при барботировании синтез-газа через эту суспензию. Тепло отводится через парогенератор за счет циркуляции жидкости. Метанол уносится непревращенным синтез-газом; их тепло используют для подогрева исходного газа.

Преимущество этого способа состоит в более благоприятном для синтеза состоянии равновесия при жидкофазной реакции, что позволяет достигнуть концентрации метанола в реакционном газе 15% (об.) вместо 5%

(об.) при обычном синтезе, доведя степень конверсии синтез-газа до 35 вместо 15%. Этим снижаются рециркуляция газа и энергетические затраты [18].

## **1.5 Сырье и продукты реакторного блока синтеза метанола**

### **1.5.1. Сырье синтеза метанола**

В настоящее время основными источниками синтез-газа являются продукты конверсии углеводородного сырья. Это может быть природный газ, коксовый газ, жидкие углеводороды и твердое топливо. Технологический исходный газ также можно извлечь почти из всех видов сырья, которые используют при получении водорода, например, в процессах гидрировании жиров или синтеза аммиака.

Исходный газ для синтеза метанола можно получить почти из всех видов сырья, которые используют при получении водорода, например, в процессах синтеза аммиака и гидрирования жиров. Это позволяет наладить производство метанола на местах производства аммиака. Выбор того или иного источника сырья формируется рядом факторов, но ключевое значение имеют его себестоимость и количество запасов в выбранном месте строительства [2].

В соответствии с реакцией образования метанола (1) видно, что отношение окиси углерода к водороду в исходном газе должно составлять 1:2. Значит теоретически требуется газ с содержанием 33,34% объемной доли CO и 66,66% объемной доли H<sub>2</sub>.

При повышенном содержании двуокиси углерода целесообразно выражать соотношение реагирующих компонентов как (H<sub>2</sub>+CO<sub>2</sub>):(CO+CO<sub>2</sub>). В производственных условиях необходимо учитывать расход водорода в восстановительных реакциях [1, 2], поэтому на практике исходный газ должен содержать повышенное содержание водорода в исходной смеси. Лучшая производительность установок наблюдается при молярном соотношении H<sub>2</sub>:CO=4, в реальности поддерживают отношение 2,15-2,25. В зависимости от

условий синтеза и метода получения метанола количество  $\text{CO}_2$  должно составлять от 1 до 15 %.

Как с экономической точки зрения, так и с точки зрения грамотного оформления процесса подготовки исходного газа (конверсия, очистка и компримирование) лучшим кандидатом в качестве источника сырья является природный газ. Он содержит меньше нежелательных примесей, чем газы, полученные газификацией твердого топлива.

В зависимости от места добычи газа будет меняться его состав. Метан является основным компонентом природного газа. Наиболее заметное различие между образцами природного газа в содержании гомологов метана и инертных газов.

С целью получения газа заданного состава, сырье подвергается конверсией разными окислителями, такими как кислород, двуокись углерода, водяной пар и их смесями.

В зависимости от используемых видов окислителей или их смесей различают следующие способы конверсии:

- пароуглекислотная при атмосферном или повышенном давлениях;
- пароуглекислотная с применением кислорода;
- высокотемпературная и паро-углекислородная газификация жидких или твердых топлив.

После синтеза ацетилена методом окислительного пиролиза, получают синтез-газ, который также используют в качестве сырья в производстве метанола. Отношение  $\text{H}_2:\text{CO}$  в таком газе близко к стехиометрическому в реакции [1]. Метан, оставшийся в смеси, является нежелательной примесью, поэтому до поступления в реактор, газ проходит также каталитическую конверсию [10].

Исходный газ также получают из твердого топлива (кокс и полукокс). Для этого его подвергают газификации водяным паром. Также газификации подвергаются антрацит, сланцы, бурые угли, мазут и нефть.

По технологическим принципам процессы газификации разделяют на циклические и непрерывные. Можно отметить, что практически при любом режиме газификации отношение  $H_2:CO$  в конвертированном газе меньше теоретического. Поэтому часть газа после очистки от примесей направляют на конверсию окиси углерода водяным паром.

Коксовый газ, получаемый в процессе коксования каменных углей, содержит значительное количество метана (до 19-25 %), у непредельных соединений и большое количество различных примесей. От некоторых из них (смолы, аммиак, бензол, нафталин и др.) газ очищают на коксохимических заводах.

### **1.5.2. Разделение метанола-сырца**

Метанол-сырец получаемый в ходе синтеза, кроме основного вещества-метанола, содержит значительное количество примесей. Основными примесями являются вода и диметиловый эфир. Состав микропримесей является очень сложным и до конца не изучен, но именно эти примеси определяют качество метанола-ректификата. Основные из них это соединения азота, карбонилы железа, непредельные соединения и кетоны.

Наличие сероводорода в газовой смеси способствует появлению в продукте органических соединений серы и карбониллов железа. Также и в метаноле-сырце присутствуют амины, растворенные компоненты синтез-газа и механические примеси.

Разделение метанола-сырца от циркуляционного газа проводится в сепараторах. Это происходит за счет резкого понижения давления, изменения направления и уменьшения скорости газового потока на входе в сепаратор. Под действием гравитации часть метанола оседает, а воздушно капельная

часть отделяется в специальных разделяющих сетках в верхней части аппарата. Современные конструкции аппаратов обеспечивают рациональную подачу газа в сепарационные элементы, направлены на сокращение уноса абсорбента с осушаемым газом, снижение вероятности попадания механических примесей вместе с осушаемым газом в массообменную абсорбционную секцию[17].

Далее метанол-сырец отправляется на ректификацию. На первой стадии ректификации происходит отделение от метанола-сырца легких фракций, диметилового эфира, растворенных газов CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>. На второй стадии (основная ректификация) отделяются метанол-ректификат, фракция метанол-масло-вода и вода.

Для отделения метанола от воды в принципе достаточны дистилляционные колонны обычного типа с небольшим числом тарелок. При использовании двух колонн из верхней части первой колонны сначала выводят низкокипящие компоненты, включая метанол. Во второй колонне чистый метанол можно получить в качестве кубового остатка, однако в общем случае метанол выводят с верха второй колонны.

Четырехколонная ректификация метанола – наиболее распространена в отечественных производствах при разделении метанола-сырца. В колонне обезэфирирования происходит отделение метанола-сырца от диметилового эфира. Во второй колонне происходит очистка метанола-сырца от примесей с температурой кипения ниже, чем у метанола. Далее смесь подвергается основной ректификации. В четвертой колонне происходит извлечение концентрированной фракции спиртов из фракции метанол-масло-вода, выведенной из кубового остатка третьей колонны.

## **2 Характеристики объекта исследования**

### **2.1 Цели и задачи исследования**

Ранее в работе были рассмотрены физико-химические основы синтеза метанола, современные технологические схемы и катализаторы. Отмечено, что вопросы повышения производительности действующих установок синтеза метанола выходят на первый план в условиях рынка химических продуктов, где спрос на метанол повышается ежегодно.

Повышение производительности установки синтеза метанола — важнейшая задача для технологов действующего производства. Оценка запаса производительности основных аппаратов может быть несложной задачей, которая, тем не менее, не может быть корректно решена, если в технологической схеме присутствует каталитический реактор (реактора). В таких случаях требуется инструмент моделирования кинетики, учитывающий размеры реактора и свойства катализатора.

Для установки низкотемпературного синтеза метанола задачи по оценке изменения режима работы установки при переходе на повышенную производительность могут быть успешно решены, т.к. имеется соответствующий инструмент моделирования — это программа для расчета продуктов реактора синтеза метанола Methanol TPU.

Рассмотрим вопросы, касающиеся работы реактора при увеличенном расходе сырья в него. Прогнозировать результаты работы реактора возможно на моделирующей программе, разработанной для решения кинетических уравнений протекающих реакций. Таким образом, объектом исследования будет действующая установка синтеза метанола М-750, инструментом исследования — компьютерная программа синтеза метанола, разработанная в ОХИ ИШПР в 2012 г., а целью работы — прогноз режима работы реактора и катализатора синтеза метанола при увеличении расхода сырья в реакторе.

Задачи, которые требуется выполнить для достижения цели работы с помощью компьютерной моделирующей программы:

1. Исследовать процессы, происходящие на полках реактора синтеза метанола при разных расходах сырья, а именно: оценить температурный профиль и профиль концентраций основных веществ по длине (высоте) реакционной зоны.

2. Оценить, как влияет снижение активностей катализатора на полках на массовый расход метанола из реактора.

3. Оценить (спрогнозировать) показатели реактора при его длительной работе в условиях повышенного расхода сырья: активность катализатора и перепад температур по полкам.

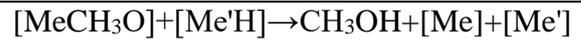
4. Уточнить, увеличивается ли расход метанола из реактора пропорционально увеличению расхода сырья в реактор. В качестве номинального режима при этом рассмотреть режим 100-процентной производительности циркуляционного компрессора.

## 2.2 Характеристика компьютерной программы моделирования синтеза метанола Methanol TPU

Для исследования процесса синтеза метанола была использована модель, описанная в работе [9]. Рассмотрим основные составляющие данной модели.

Таблица 3 – Схема превращения веществ в процессе синтеза, где Me – активный центр катализатора:

Брутто-реакции синтеза	Реакции на поверхности катализатора
$\text{CO} + 2\text{H}_2 = \text{CH}_3\text{OH}$	$[\text{Me}] + \text{CO} \rightarrow [\text{MeCO}]$
$\text{CO}_2 + \text{H}_2 = \text{CO} + \text{H}_2\text{O}$	$2[\text{Me}'\text{H}] + \text{H}_2 \rightarrow 2[\text{Me}'\text{H}]$
$\text{CH}_3\text{OH} + \text{CH}_3\text{OH} = \text{CH}_3\text{OCH}_3$	$[\text{Me}'\text{H}] + [\text{MeCO}] \rightarrow [\text{Me}'\text{H}] + [\text{MeCHO}]$
$\text{CO} + 3\text{H}_2 = \text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O}$	$[\text{MeCHO}] + [\text{Me}'\text{H}] \rightarrow [\text{MeCH}_2\text{O}] + [\text{Me}'\text{H}]$
	$[\text{MeCH}_2\text{O}] + [\text{Me}'\text{H}] \rightarrow [\text{MeCH}_3\text{O}] + [\text{Me}'\text{H}]$



При составлении кинетической модели процесса были использованы уравнения 4 – 7, являющиеся уравнениями скоростей реакций, представленных выше:

$$r_1 = \frac{k_1 K_{CO} K_{H_2}^2 K_{CH_3CO} (P_{CO} P_{H_2}^2 - P_{CH_3CO} / K_{P1})}{(1 - K_{CO} P_{CO}) (1 + K_{H_2}^{0,5} P_{H_2}^{0,5} + K_{H_2O} P_{H_2O})} \quad (4)$$

$$r_2 = \frac{k_1 K_{CO_2} K_{H_2}^{0,5} (P_{CO_2} P_{H_2} - P_{CO} P_{H_2O} / K_{P2}) / P_{H_2}^{0,5}}{(1 + K_{H_2}^{0,5} P_{H_2}^{0,5} + K_{H_2O} P_{H_2O}) (1 + K_{CO_2} P_{CO_2})} \quad (5)$$

$$r_3 = \frac{k_{DMЭ} K_{CH_3OH}^2 (C_{CH_3OH}^2 - (C_{H_2O} C_{DMЭ}) / K_{p,DMЭ})}{(1 + 2\sqrt{K_{CH_3OH} C_{CH_3OH}} + K_{H_2O,DMЭ} C_{H_2O})^4} \quad (6)$$

$$r_4 = \frac{k_{CH_4} K_{CH_3OH}^2 (C_{CH_3OH}^2 - (C_{H_2O} C_{CH_4}) / K_{p,CH_4})}{(1 + 2\sqrt{K_{CH_3OH} C_{CH_3OH}} + K_{H_2O,CH_4} C_{H_2O})^4} \quad (7)$$

где  $r_1$  – скорость реакции образования метанола из СО, моль/с;  $r_2$  – скорость реакции конверсии СО, моль/с;  $r_3$  – скорость образования диметилового эфира, моль/с;  $r_4$  – скорость реакции образования метана, моль/с;  $k$  – константа скорости соответствующей реакции,  $c^{-1}$ ;  $K_i$  – константа равновесия по соответствующему веществу;  $P_i$  – парциальное давление соответствующего компонента, МПа;  $C$  – концентрация соответствующего компонента, % моль.

На основании данной математической модели была составлена моделирующая программа расчета реактора синтеза метанола «М – 750» Methanol TPU (рис. 5).

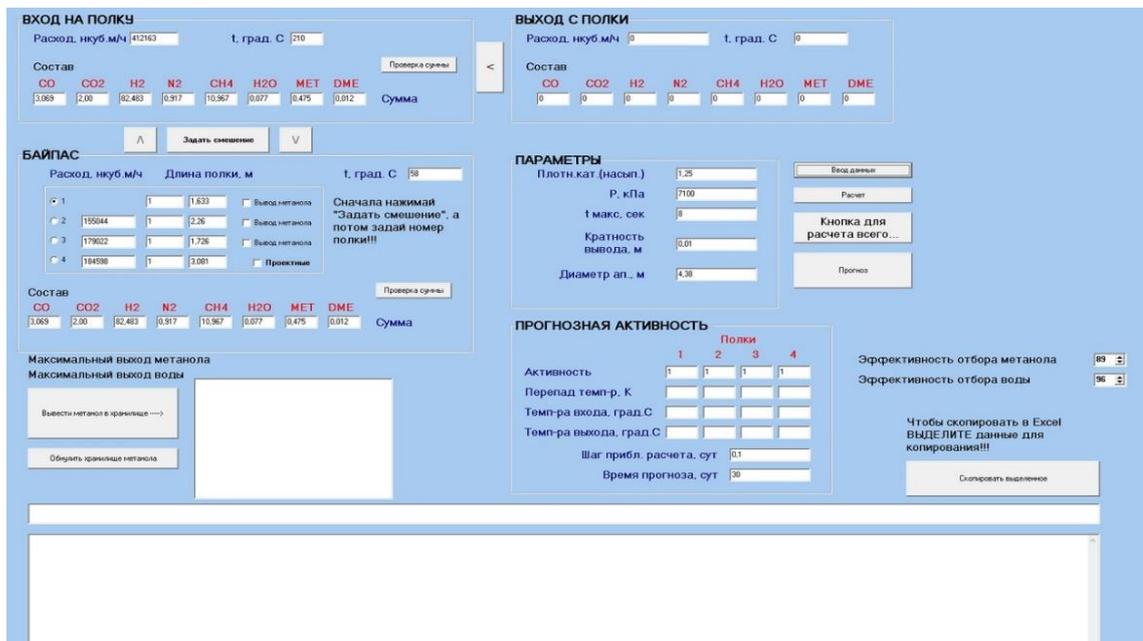


Рисунок 5 – Основное рабочее окно моделирующей программы

Реально программа просчитывает одну полку, для которой можно изменить показатели состава смеси на входе, расход сырья и его температуру. Остальные данные не меняются на протяжении всей колонны и задаются в панели «Параметры».

Для расчета полки необходимо нажать кнопки «Ввод данных» и «Расчет». В нижней панели программы (рис. б) будут выведены результаты изменений мольных долей, мольных концентраций, парциальных давлений компонентов, а также давление и температура сырья.

Расстояние, м	Мольные доли, %							Мольные концентрации, моль/л							Парциальные давления, Па													
	CO	CO2	H2	N2	CH4	H2O	Σ	CO	CO2	H2	N2	CH4	H2O	Σ	CO	CO2	H2	N2	CH4	H2O	Σ	P, Па	T, °C					
0,00	1,46	2,00	80,64	0,97	11,56	1,10	2,94	0,13	0,22445	0,02022	1,35331	0,01621	0,19392	0,01849	0,49339	0,00218	112412	0,92361	6221206	074533	891480	044990	227061	010193	7714662	280	32,99	0,00000
0,01	1,46	2,00	80,64	0,97	11,56	1,11	2,94	0,13	0,22442	0,02020	1,35318	0,01621	0,19393	0,01856	0,49394	0,00223	112277	0,92390	6221777	074547	891647	065332	226874	010257	7715601	280	32,99	1,67807
0,02	1,45	2,00	80,64	0,97	11,56	1,11	2,94	0,14	0,22439	0,02018	1,35305	0,01621	0,19393	0,01863	0,49429	0,00228	112142	0,92319	6222349	074561	891814	056678	226677	010498	7716539	280	32,99	1,67797
0,03	1,45	2,00	80,63	0,97	11,56	1,11	2,93	0,14	0,22435	0,02016	1,35292	0,01621	0,19393	0,01870	0,49454	0,00234	112008	0,92370	6222922	074574	891981	088026	226470	010744	7717416	280	32,99	1,67786
0,04	1,45	2,00	80,63	0,97	11,56	1,12	2,93	0,14	0,22432	0,02015	1,35281	0,01621	0,19393	0,01878	0,49481	0,00239	111875	0,92351	6223497	074588	892147	065377	226264	010993	7718413	280	33,00	1,67776
0,05	1,45	2,00	80,63	0,97	11,56	1,12	2,93	0,15	0,22429	0,02013	1,35269	0,01621	0,19393	0,01885	0,49512	0,00244	111743	0,92313	6224073	074602	892312	086731	226057	011246	7719349	280	33,00	1,67766
0,06	1,45	2,00	80,63	0,97	11,56	1,13	2,92	0,15	0,22425	0,02011	1,35256	0,01621	0,19393	0,01892	0,49546	0,00250	111612	0,92346	6224650	074615	892478	067088	225850	011503	7720285	281	33,00	1,67755
0,07	1,44	2,00	80,62	0,97	11,56	1,13	2,92	0,15	0,22422	0,02009	1,35244	0,01621	0,19393	0,01900	0,49580	0,00256	111482	0,92380	6225228	074629	892643	067448	225643	011763	7721220	281	33,00	1,67745
0,08	1,44	2,00	80,62	0,97	11,56	1,14	2,92	0,16	0,22419	0,02007	1,35233	0,01621	0,19393	0,01907	0,49614	0,00261	111352	0,92415	6225807	074642	892808	067810	225436	012026	7722155	281	33,01	1,67735
0,09	1,44	2,00	80,62	0,97	11,56	1,14	2,91	0,16	0,22415	0,02006	1,35222	0,01621	0,19393	0,01915	0,49648	0,00267	111224	0,92350	6226388	074656	892973	088175	225229	012294	7723089	281	33,01	1,67725
0,10	1,44	2,00	80,62	0,97	11,56	1,15	2,91	0,16	0,22412	0,02004	1,35210	0,01621	0,19393	0,01923	0,49680	0,00273	111098	0,92287	6226969	074669	893134	088543	225024	012566	7724023	281	33,01	1,67715
0,11	1,44	2,00	80,62	0,97	11,56	1,15	2,91	0,17	0,22409	0,02002	1,35197	0,01621	0,19393	0,01930	0,49713	0,00279	110969	0,92224	6227553	074683	893297	088913	224819	012841	7724957	281	33,01	1,67705
0,12	1,43	1,99	80,61	0,97	11,56	1,16	2,90	0,17	0,22406	0,02000	1,35186	0,01621	0,19393	0,01938	0,49746	0,00285	110843	0,92212	6228139	074697	893459	089287	224617	013119	7725890	281	33,02	1,67696
0,13	1,43	1,99	80,61	0,97	11,57	1,16	2,90	0,17	0,22403	0,01999	1,35175	0,01621	0,19393	0,01946	0,49789	0,00291	110718	0,92101	6228723	074710	893621	089663	224415	013402	7726823	281	33,02	1,67686
0,14	1,43	1,99	80,61	0,97	11,57	1,17	2,89	0,18	0,22400	0,01997	1,35163	0,01621	0,19393	0,01954	0,49821	0,00297	110593	0,92004	6229310	074723	893783	090042	224217	013687	7727756	281	33,02	1,67676
0,15	1,43	1,99	80,61	0,97	11,57	1,17	2,89	0,18	0,22397	0,01995	1,35152	0,01621	0,19393	0,01962	0,49854	0,00303	110470	0,91982	6229898	074736	893944	090423	224025	013977	7728689	281	33,02	1,67667
0,16	1,43	1,99	80,61	0,97	11,57	1,17	2,88	0,18	0,22393	0,01994	1,35141	0,01621	0,19393	0,01970	0,49887	0,00310	110347	0,91923	6230487	074749	894105	090807	223831	014270	7729621	282	33,03	1,67658
0,17	1,43	1,99	80,60	0,97	11,57	1,18	2,88	0,19	0,22390	0,01992	1,35130	0,01621	0,19393	0,01978	0,49920	0,00316	110225	0,91866	6231078	074762	894266	091194	223639	014567	7730553	282	33,03	1,67648
0,18	1,42	1,99	80,60	0,97	11,57	1,18	2,87	0,19	0,22387	0,01991	1,35119	0,01621	0,19394	0,01986	0,49953	0,00322	110104	0,91809	6231670	074775	894426	091584	223449	014867	7731484	282	33,03	1,67639
0,19	1,42	1,99	80,60	0,97	11,57	1,19	2,87	0,20	0,22384	0,01989	1,35108	0,01621	0,19394	0,01994	0,49986	0,00329	109983	0,91753	6232264	074788	894586	091976	223259	015169	7732416	282	33,03	1,67630
0,20	1,42	1,99	80,60	0,97	11,57	1,19	2,86	0,20	0,22381	0,01988	1,35097	0,01621	0,19394	0,02002	0,49986	0,00335	109864	0,91698	6232859	074802	894745	092371	223073	015477	7733347	282	33,04	1,67621
0,21	1,42	1,98	80,60	0,97	11,57	1,20	2,86	0,20	0,22378	0,01986	1,35087	0,01621	0,19394	0,02010	0,49986	0,00342	109745	0,91643	6233454	074815	894904	092768	222893	015788	7734278	282	33,04	1,67612
0,22	1,42	1,98	80,59	0,97	11,57	1,20	2,85	0,21	0,22375	0,01985	1,35076	0,01621	0,19394	0,02019	0,49986	0,00349	109626	0,91588	6234051	074828	895063	093169	222710	016102	7735209	282	33,04	1,67603
0,23	1,42	1,98	80,59	0,97	11,57	1,21	2,85	0,21	0,22372	0,01983	1,35066	0,01621	0,19394	0,02027	0,49986	0,00356	109508	0,91533	6234649	074841	895221	093571	222532	016419	7736139	282	33,04	1,67594
0,24	1,41	1,98	80,59	0,97	11,57	1,21	2,84	0,22	0,22369	0,01982	1,35056	0,01621	0,19394	0,02036	0,49986	0,00363	109392	0,91478	6235249	074854	895379	093976	222359	016740	7737069	282	33,04	1,67585
0,25	1,41	1,98	80,59	0,97	11,57	1,22	2,84	0,22	0,22367	0,01980	1,35045	0,01621	0,19394	0,02044	0,49986	0,00370	109276	0,91423	6235850	074867	895537	094384	222189	017064	7737999	282	33,05	1,67576
0,26	1,41	1,98	80,59	0,97	11,57	1,22	2,83	0,22	0,22364	0,01979	1,35035	0,01621	0,19394	0,02053	0,49986	0,00377	109161	0,91368	6236452	074879	895694	094794	222024	017391	7738929	282	33,05	1,67568
0,27	1,41	1,98	80,59	0,97	11,57	1,23	2,83	0,23	0,22361	0,01977	1,35025	0,01621	0,19394	0,02061	0,49986	0,00384	109046	0,91313	6237056	074892	895851	095206	221863	017722	7739859	283	33,05	1,67559
0,28	1,41	1,98	80,59	0,97	11,58	1,24	2,82	0,23	0,22358	0,01976	1,35015	0,01621	0,19394	0,02070	0,49986	0,00391	108932	0,91258	6237661	074905	896008	095621	221703	018055	7740789	283	33,05	1,67550
0,29	1,41	1,98	80,59	0,97	11,58	1,24	2,81	0,24	0,22355	0,01974	1,35005	0,01621	0,19394	0,02078	0,49986	0,00398	108819	0,91203	6238266	074918	896164	096039	221548	018388	7741718	283	33,06	1,67542
0,30	1,40	1,98	80,58	0,97	11,58	1,25	2,81	0,24	0,22352	0,01973	1,34995	0,01621	0,19394	0,02087	0,49986	0,00405	108707	0,91148	6238873	074931	896320	096458	221399	018732	7742647	283	33,06	1,67533

Рисунок 6 – Панель расчета полки в программе

Затем параметры выхода с полки необходимо перенаправить на вход следующей полки. Для этого нужно нажать кнопку копирования данных.

Затем задается смещение основного потока с байпасным. Параметры байпасного потока задается на панели «Байпас». Все характеристики байпасных потоков приведены в панели «Байпас» (рисунок 7):

№ полки	Расход, нкуб.м/ч	Длина полки, м	Вывод метанола	
1	1	1,633	<input type="checkbox"/>	
2	155044	1	2,26	<input type="checkbox"/>
3	179022	1	1,726	<input type="checkbox"/>
4	184598	1	3,081	<input type="checkbox"/>

Состав							
CO	CO2	H2	N2	CH4	H2O	MET	DME
3,069	2,00	82,483	0,917	10,967	0,077	0,475	0,012
							Сумма

Рисунок 7 – Окно параметров байпасных потоков

После нажатия кнопки «Задать смещение» происходит перерасчет новых параметров потока. Результаты расчетов передаются на панель «Вход на полку». Также необходимо задать длину последующей полки переключив номер полки на панели «Байпас». Последний шаг перед расчетом новой полки – задание ее длины, это делается переключением номера полки. Все, после этого программа готова к расчету следующей полки.

Кнопка «Кнопка для расчета всего» позволяет произвести расчет всех 4 полок реактора «М – 750», пропустив поэтапный алгоритм работы. На панели «Выход с полки» появятся данные о потоке на выходе из реактора. Этот тип расчета может быть использован для расчета производительности реактора в целом.

### 2.3 Технологическая схема установки синтеза метанола М-750

Объектом исследования является установка синтеза метанола М-750 ООО «Сибметакхим», г. Томск. Принципиальная схема реакторного блока синтеза метанола агрегата М-750 (рисунок 8) практически не отличается от установок низкотемпературного синтеза описанных в разделе 1.3.3.

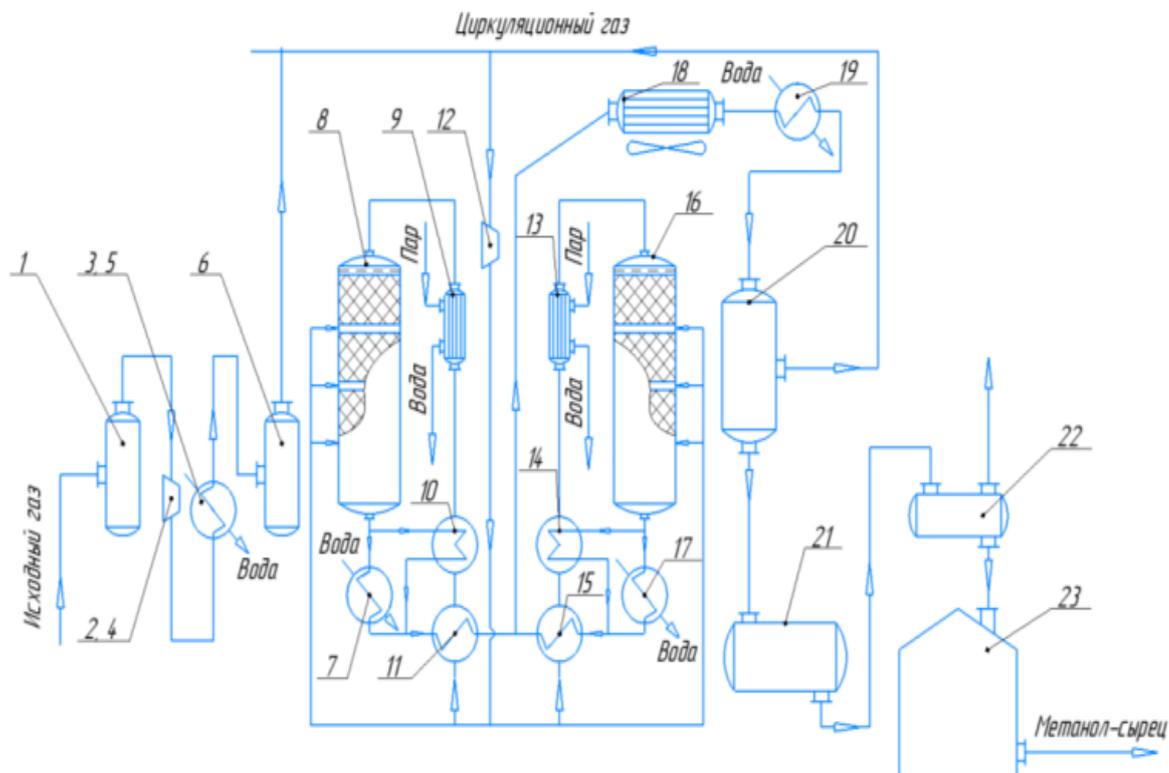


Рисунок 8 – Схема синтеза метанола на агрегате мощностью 750 тыс. т/г: 1, 6, 20 – сепараторы; 2, 4, 12 – компрессоры; 3, 5 – холодильники; 7, 17 – подогреватели конденсата; 8, 16 – реакторы; 9, 13 – паровой подогреватель; 10, 11, 14, 15 – рекуперационные теплообменники; 18, 19 – холодильники конденсатор; 21 – сборник; 22 – дегазатор; 23 – хранилище метанола-сырца[7]

Конвертированный газ, полученный паровой конверсией метана в трубчатых печах, двухступенчатым компрессором 2, 4 сжимается от 1,5 до 7,7 МПа и смешивается с циркуляционным газом. После каждой ступени компрессора газ охлаждается в холодильниках 3, 5, сконденсировавшаяся влага отделяется в сепараторах 1, 6. Привод ступеней компрессора осуществляется паровыми турбинами, использующими пар под давлением 10,4 МПа и температурой 490°C.

Свежий синтез-газ, смешиваясь с циркуляционным газом, разделяется на два потока и поступает к основным реакторам синтеза. Первый поток, пройдя каскад рекуперационных теплообменников, поступает в основные реакторы синтеза 8, 16. Второй направляется для создания байпасного охлаждения.

Прореагировавший газ используется в подогревателях 7 и 17 для подогрева питательной воды котлов-утилизаторов, и в теплообменниках 10 и 14 для подогрева газа, поступающего в реактор. Далее полученная смесь подается в аппарат воздушного охлаждения 18 и водяной холодильник 19, а затем на разделение в сепаратор 20. Метанол сырец направляется в дегазатор 22, а отделенный газ возвращается в цикл, смешиваясь со свежим синтез-газом. Полученный продукт собирается в хранилище 23, а после отправляется на ректификацию [15].

Эта схема хорошо учитывает физико-химические особенности процесса синтеза метанола. Активная циркуляция обеспечивает большие линейные скорости в реакторах, что в свою очередь снимает диффузионные ограничения локальных тепловых напряжений, минимизирует протекание побочных реакций в реакторе. Байпасные потоки охлаждают колонну-синтеза, поддерживая заданный температурный профиль в пределах 210 – 290°C [7].

Реактор синтеза метанола представляет собой аппарат колонного типа. Низкотемпературный Zn-Cu-Al-катализатор в реакторе разделен на 4 слоя, между которыми подаются байпасные потоки, для поддержания температурного профиля системы в пределах 210-270 °С. Доля такого газа не более 60% от циркуляционного газа, подаваемого в колонну синтеза. Режим работы реакторов синтеза метанола представлен в таблице 4.

Таблица 4 – Режим работы реакторов синтеза метанола P1/1,2

Слои катализатора	На выходе с 1 слоя катализатора	На входе в 2 – 4 слоя 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		

Аппарат имеет цилиндрическую форму, общей площадью сечения – 15,06 м<sup>2</sup>, диаметром – 4,38 м и высотой 17,5 м. Смесительное устройство представляет собой тор с диаметром образующей окружности 140 мм. По всей окружности устройства равномерно распределены 480 отверстий диаметром 6 мм для смешения холодного байпасного потока с газо-продуктовой смесью в реакторе. Интенсивная циркуляция позволяет поддерживать большие линейные скорости в аппаратах, следовательно, снятие диффузионных ограничений, локальных тепловых напряжений, минимизирует протекание побочных реакций.

Различие температур кипения продукта реакции и остальных компонентов смеси позволяет при температуре ~ 40 °С выделить метанол-сырец, а отделенный газ вновь направить на смешение с свежим потоком синтез-газа.

Реактор синтеза метанола приведен на рисунке 9.

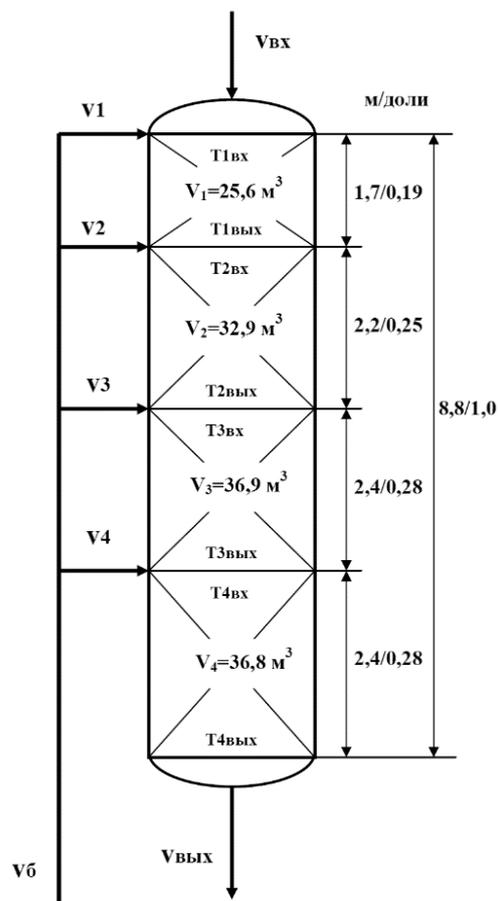


Рисунок 9 - Четырехполочный промышленный реактор синтеза метанола агрегата М-750

В зависимости от режима работы установки паровой конверсии и качественного состава природного газа, состав циркуляционного газа может меняться. В таблице 5 представлен состав циркуляционного газа.

Таблица 5 – Состав циркуляционного газа

Компонент	Объемная доля, %
СО	от 0,1 до 10,0
СО <sub>2</sub>	от 2,0 до 15,0
Н <sub>2</sub>	от 75,0 до 85,0
Н <sub>2</sub>	от 1,0 до 2,0
СН <sub>4</sub>	от 0,1 до 14,0
Метанол	от 0,002 до 0,5

В качестве исходных данных для моделирования реактора в программе были использованы значения, приближенные к данным с действующей установки (таблицы 6 и 7).

Таблица 6 – Состав циркуляционного газа для расчета на программе

Вещество,	CO	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	H <sub>2</sub> O	Метанол	Диметиловый эфир
Мольная доля, %	3,069	2,00	82,483	0,917	10,967	0,077	0,475	0,012

Таблица 7 – Технологические параметры работы реактора для расчета на моделирующей программе.

№	Параметр	Значение
1	Температура входа сырья на полку, °С	220
2	Температура байпасных потоков, °С	50
3	Давление в реакторе, МПа	7,1
4	Относительное распределение потоков по полкам реактора	0,55/0,15/0,15/0,15

### **3 Моделирование четырехполочного реактора синтеза метанола на компьютерной программе ТПУ**

#### **3.1 Подбор расхода сырья для повышения производительности реакторного блока по метанолу**

В этом исследовании производили подбор значений давлений, чтобы расход метанола из реакторного блока составлял не менее 1,5 млн. т/год. Распределение потоков по полкам реактора и температуры входа сырья в реактор и байпасных потоков представлены в таблице 7.

Значения давления в реакторе выбранные для анализа:

- 1) 4,0 МПа - минимальное давление на циркуляционном компрессоре
- 2) 7,1 МПа – стандартное давление работы реактора
- 3) 8,1 МПа – максимальное давление на циркуляционном компрессоре

Результаты представлены в таблице 8.

Таблица 8 – Зависимость выходных параметров от давления в реакторе

Параметр	Расчет 1	Расчет 2	Расчет 3
Расход сырья млн $\text{нм}^3$ /ч	3 348	3 044	3 033
Давление в реакторе, МПа	4,0	7,1	8,1
Выход метанола из реактора, т/г	1500,198	1500,115	1500,396

Исходя из полученных данных можно увидеть, что увеличение давления уменьшает расход сырья на производство метанола. Это объясняется смещением равновесия основных реакций в сторону получения метанола. Однако повышение давления ускоряет побочные реакции, а также ведет к ухудшению экономических показателей за счет увеличения затрат на компрессию газа.

Учитывая, что разница в расходе сырья между 2 и 3 расчетами составляет меньше 1%, можно сделать вывод, что лучший показатель давления равен 7,1 МПа.

### 3.2 Исследование профилей температур и концентраций в реакторе при повышенной производительности

Для проведения данного исследования рассматривали работу установки при разном давлении, с учетом расхода метанола не менее 1,5 млн. т/год.

На рисунке 10 представлены графики перепада температуры во времени по реактору синтеза метанола.

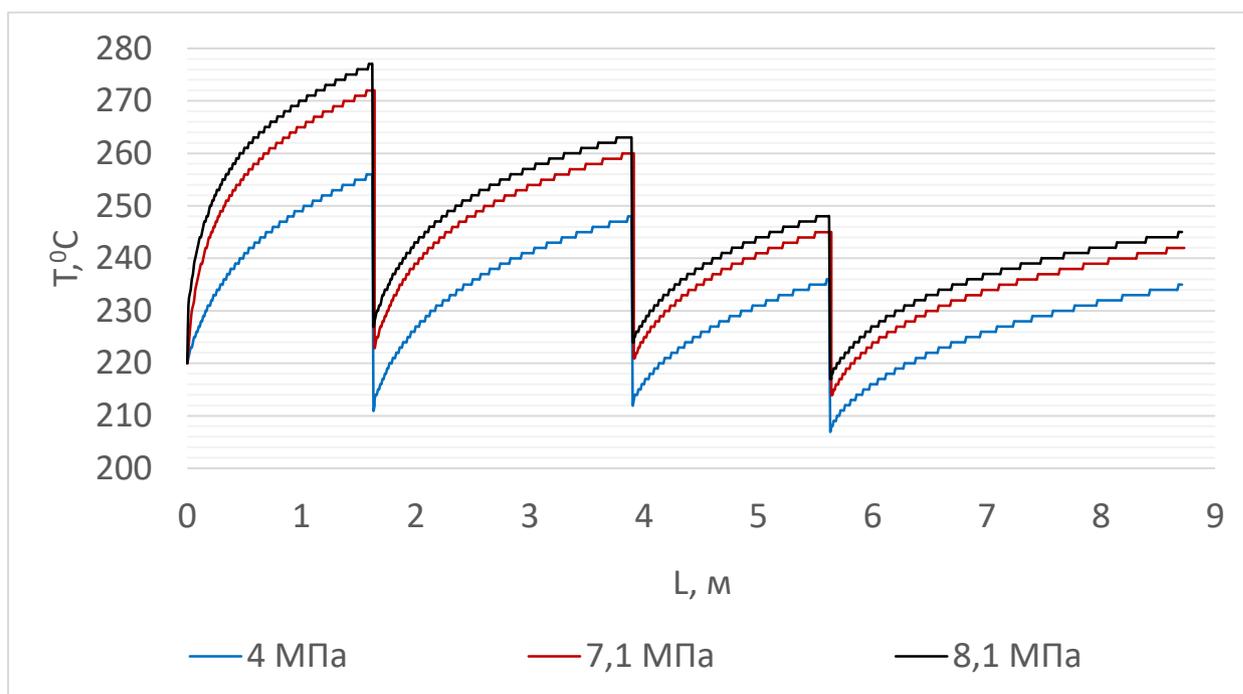


Рисунок 10 – График температурного профиля реактора при разных давлениях

По данным графика видно, что большему давлению в реакторе соответствуют большие значения температур на выходах с полок, в т.ч. промежуточных. Причиной этому является смещение равновесия в сторону получения продукта, а также увеличение вклада побочных экзотермических реакций в общий тепловой эффект процесса. С каждой последующей полкой температура падает из-за повышения содержания несконденсированного метанола, что ведет к понижению активности катализатора.

На рисунке 11 представлена зависимость содержания  $\text{CH}_3\text{OH}$  в продукте реактора (мольн. %) от длины реактора.

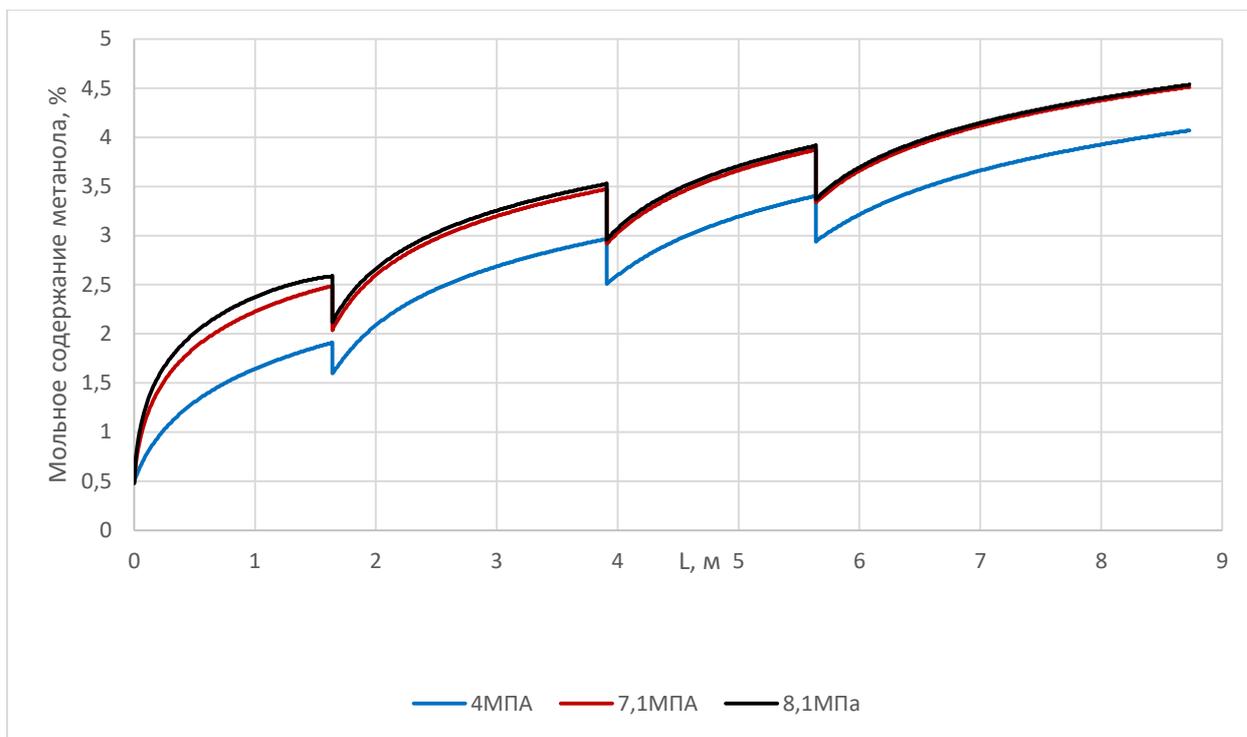


Рисунок 11 – График зависимости мольных концентраций метанола от расстояния от начала реактора при разных давлениях

Из графика виден рост содержания метанола в смеси с каждой последующей катализаторной полкой. Заметно увеличение концентрации с ростом давления, это также можно объяснить увеличением глубины переработки оксидов углерода. Для каждой последующей полки эффект роста снижается, это обуславливается смещением равновесия в сторону реагентов, из-за повышенного содержания метанола в смеси. Таким образом, профили концентраций метанола в реакторе для режимов работы при высоких давлениях очень близки друг к другу, заметная разница наблюдается только на первой полке. Последующие полки компенсируют недополучение метанола

На рисунке 12 представлена зависимость содержания  $H_2O$  в продукте реактора (мольн. %) от длины реактора.

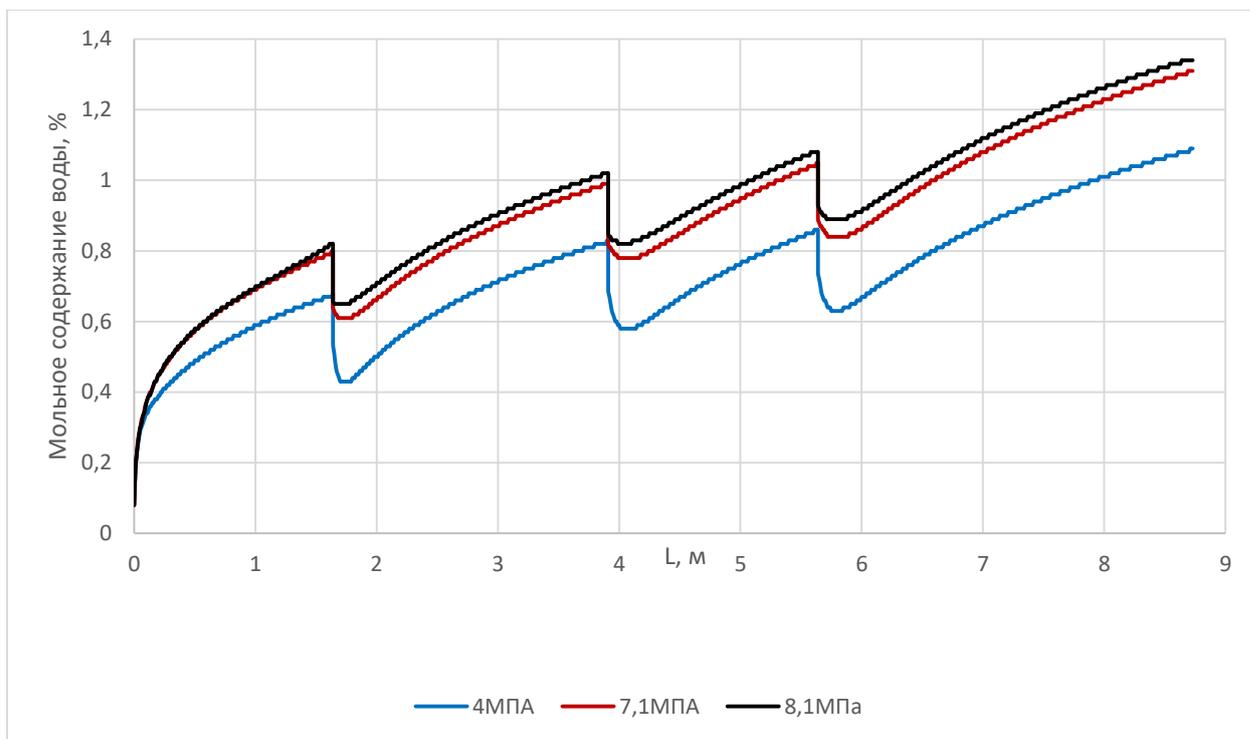


Рисунок 12 – График зависимости мольных концентраций воды от расстояния от начала реактора при разных давлениях

На данном графике мы также наблюдаем рост концентрации воды на протяжении всей длины колонны. Для каждой полки эффект роста снижается, это обуславливается смещением равновесия в сторону реагентов, из-за повышенного содержания воды в смеси, как одного из продуктов основных реакций.

### 3.3 Влияние увеличения расхода сырья на расход метанола из реакторного блока при среднем давлении синтеза

Наличие свободного сырья позволяет увеличивать его расход на реакторный блок. Конверсия сырья будет снижаться при увеличении подачи сырья на полку, объясняется это уменьшением времени контакта сырья с катализатором в реакторе. Это вызывает интерес к изучению влияния расхода сырья на расход метанола.

На рисунке 13 представлен график зависимости относительного увеличения расхода метанола от относительного увеличения расхода сырья в

реакторе. За точку (1; 1) приняты расход сырья 3,04 млн  $\text{нм}^3/\text{ч}$  и выход метанола 1500 тыс.т/г при 7,1 МПа.

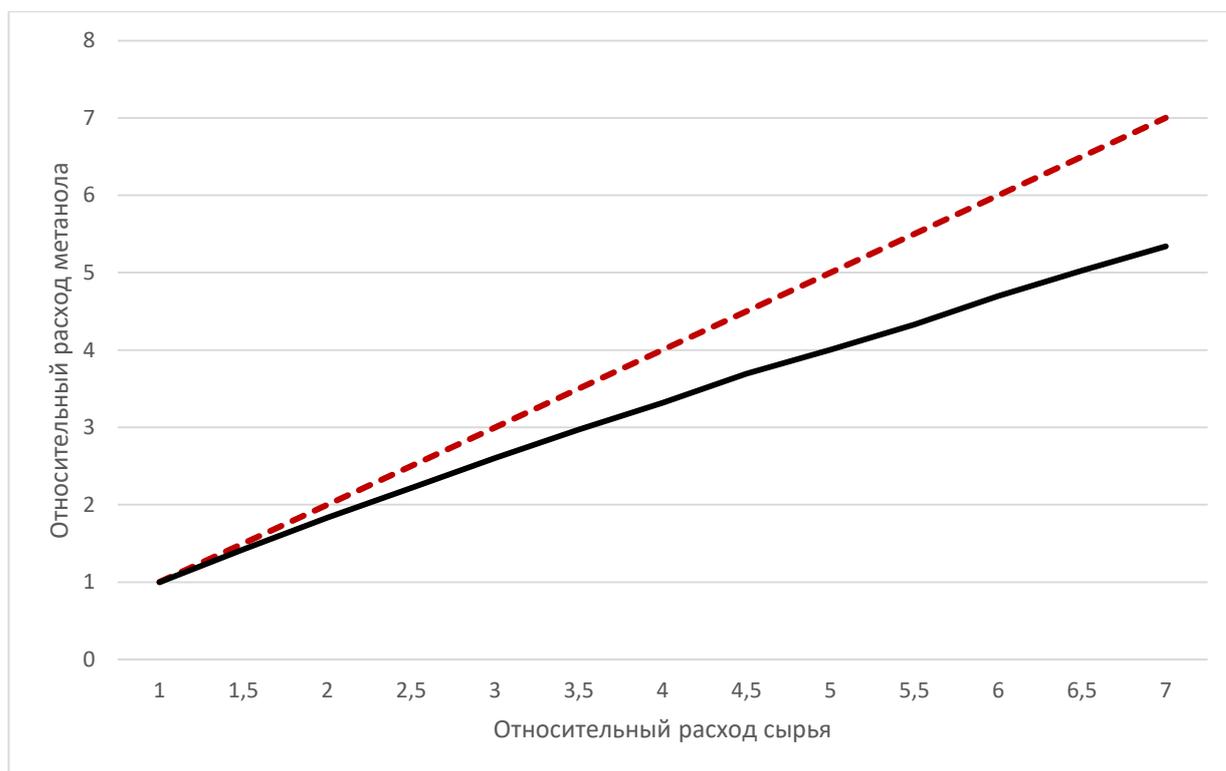


Рисунок 13 – График зависимости относительного расхода метанола от относительного расхода сырья в реакторе

Из графика можно сделать выводы, что каждое кратное увеличение расхода сырья в реакторе, приводит постепенному увеличению расхода метанола. 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.

На рисунке 14 представлен график температур по реактору при давлении 7,1 МПа для расхода сырья 4300 тыс.  $\text{нм}^3/\text{ч}$  и для 3044 тыс.  $\text{нм}^3/\text{ч}$  рассчитанной в пункте. Более низкая температура в реакторе при больших количествах сырья обуславливается недостаточным промежутком времени контакта сырья с катализатором, для вступления в реакцию полного объема реагентов. Таким образом, очевидно, что есть запас по максимальной температуре на полке. Кроме того, температуры ниже 200 °С в реакторе синтеза метанола

нежелательны: производительность катализатора невысока и возможен переход метанола в жидкую фазу с нарушением процесса его образования на твердом катализаторе. Значит при очень высоких расходах сырья можно или выбирать более высокую начальную температуру (температуру входа на 1 полку), или при перезагрузке реактора увеличивать объем катализатора на 1 полку, или увеличивать расход сырья на 1 полку за счет снижения расходов байпасных потоков.

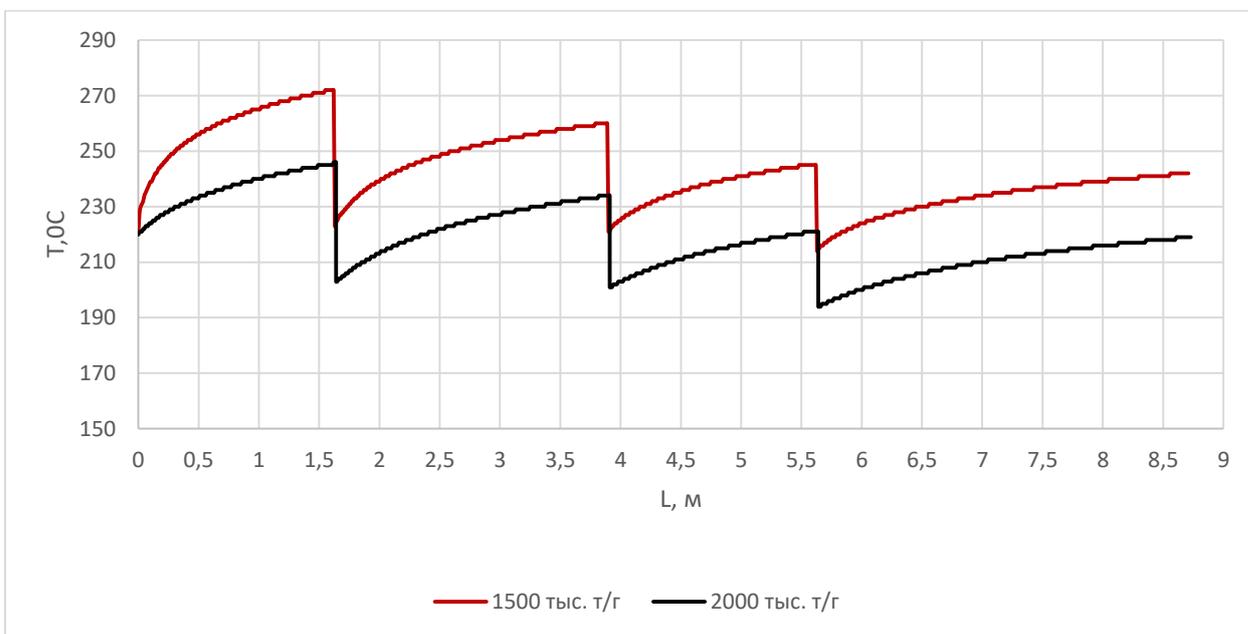


Рисунок 14 – График температур реакторов с мощностями 1500 и 2000 тыс. т/г

На рисунке 15 представлен график концентраций метанола по реактору для расхода сырья 4300 тыс.  $\text{нм}^3/\text{ч}$  и для 3044 тыс.  $\text{нм}^3/\text{ч}$  рассчитанной в пункте.

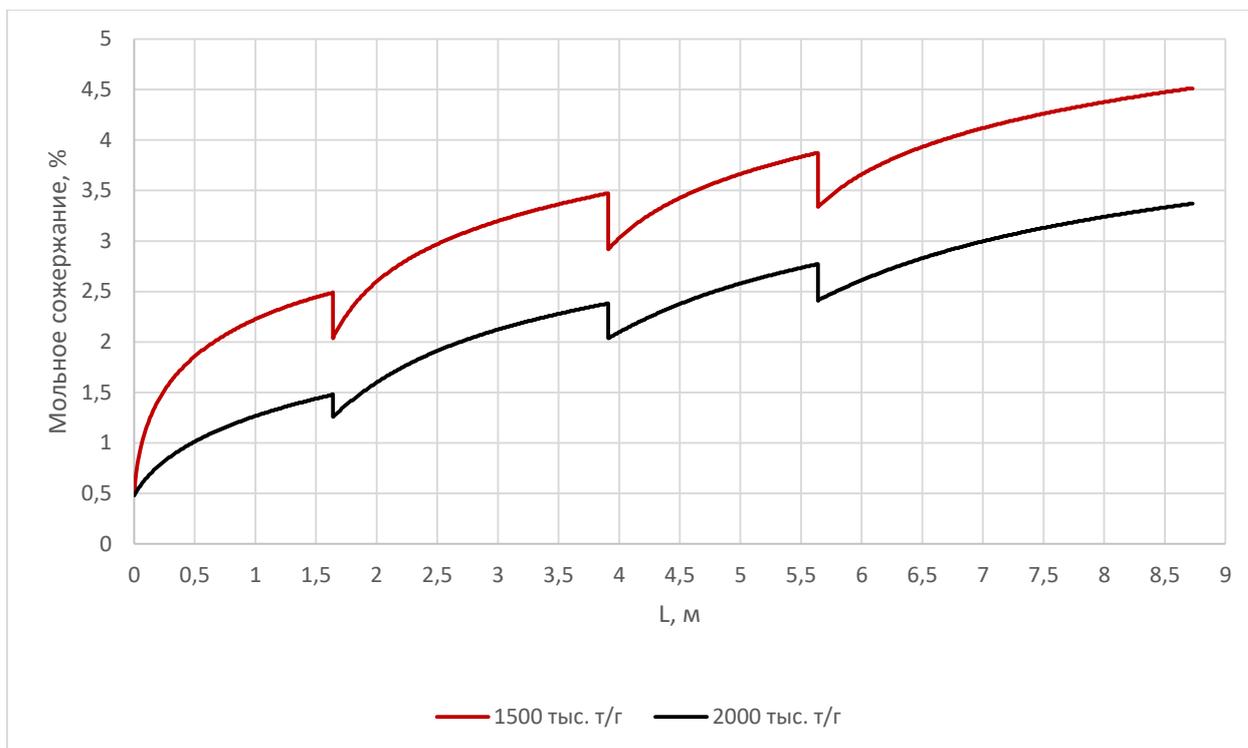


Рисунок 15 – График концентраций реакторов с мощностями 1500 и 2000 тыс. т/г

На нем видно, что, не смотря на меньшие численные объемы на выходе при исходных значениях, концентрация его гораздо выше, чем при высоком расходе сырья. Это также объясняется уменьшением времени контакта, следовательно, концентрация метанола в продуктовой смеси будет снижаться.

### 3.4 Прогноз изменения активности катализатора при повышенной производительности во время длительной работы установки.

С учетом среднего срока службы катализатора (6-8 лет), в ходе данного исследования была спрогнозирована активность катализатора в течение 2200 дней. Расход сырья для исследуемых режимов 1000, 1500 и 2100 тыс. нм<sup>3</sup>/ч. Основные параметры системы отображены в таблице 7, состав газа (см. в таблице 2).

Результаты представлены на рисунках 16-19.

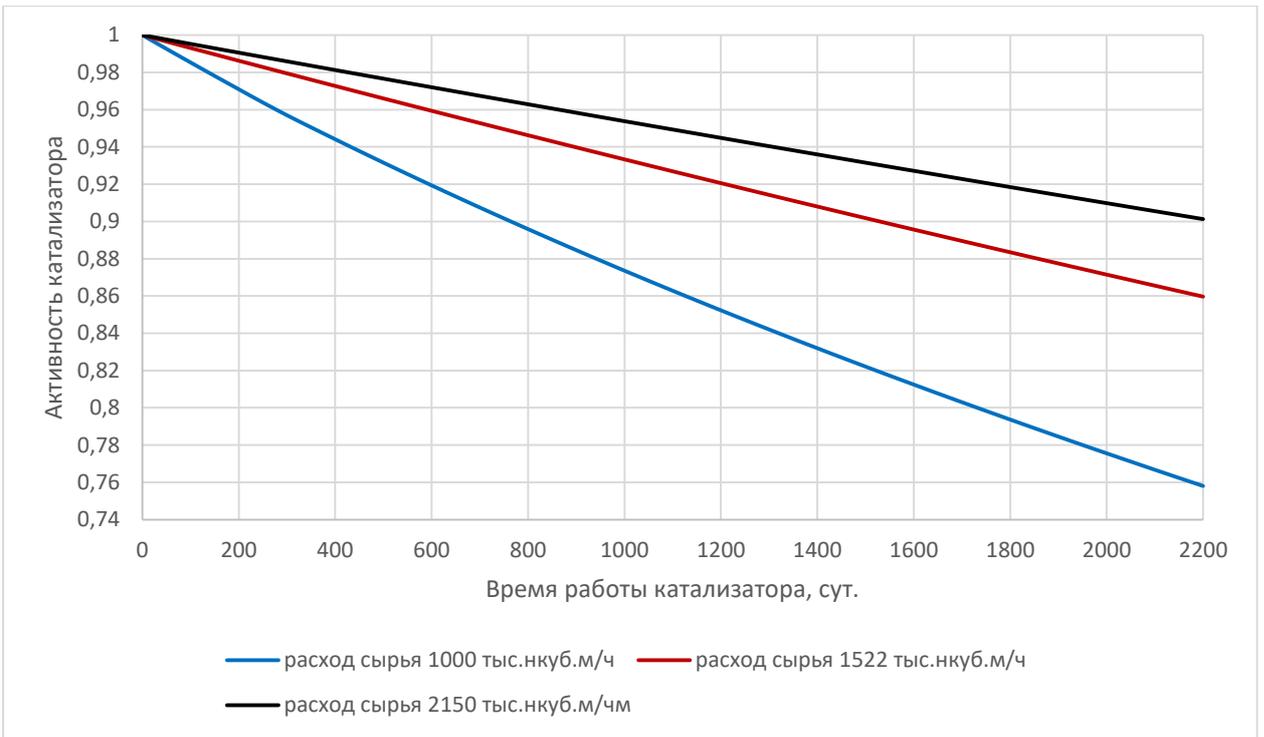


Рисунок 16 – Зависимость активностей катализатора на полках от времени работы реактора на первой полке

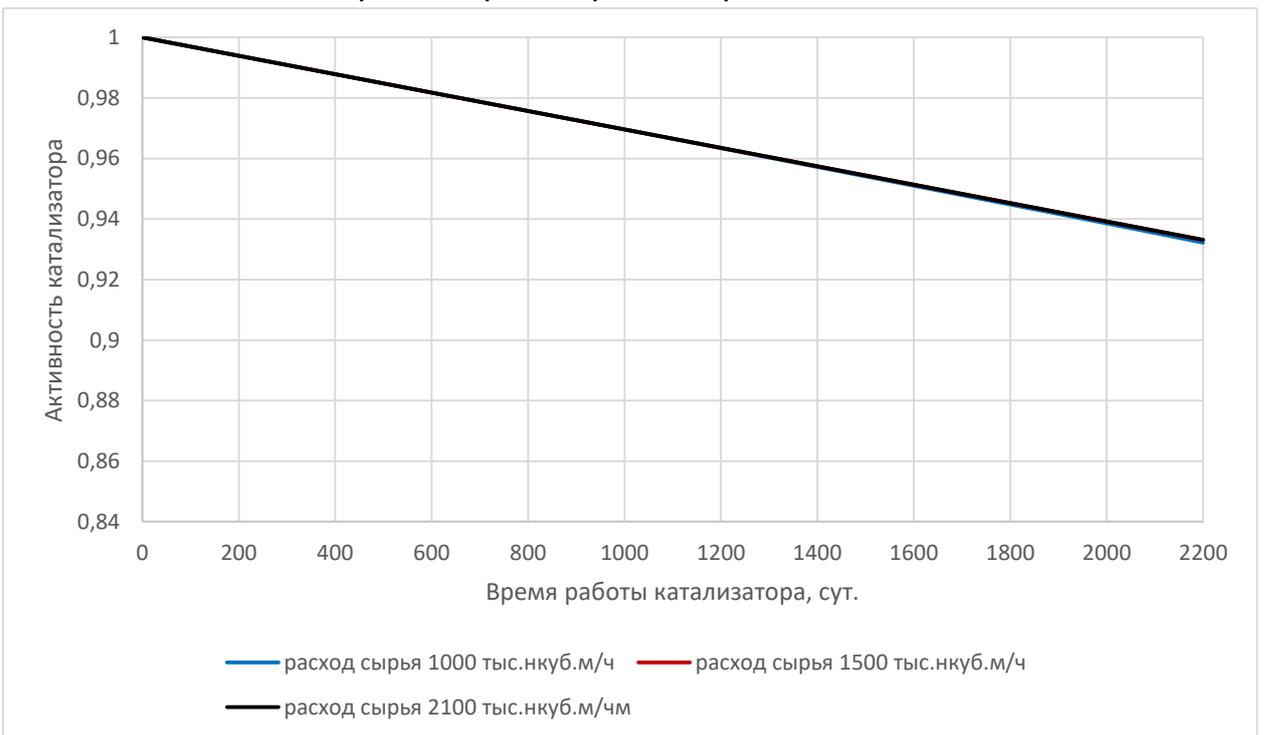


Рисунок 17 – Зависимость активностей катализатора на полках от времени работы реактора на второй полке

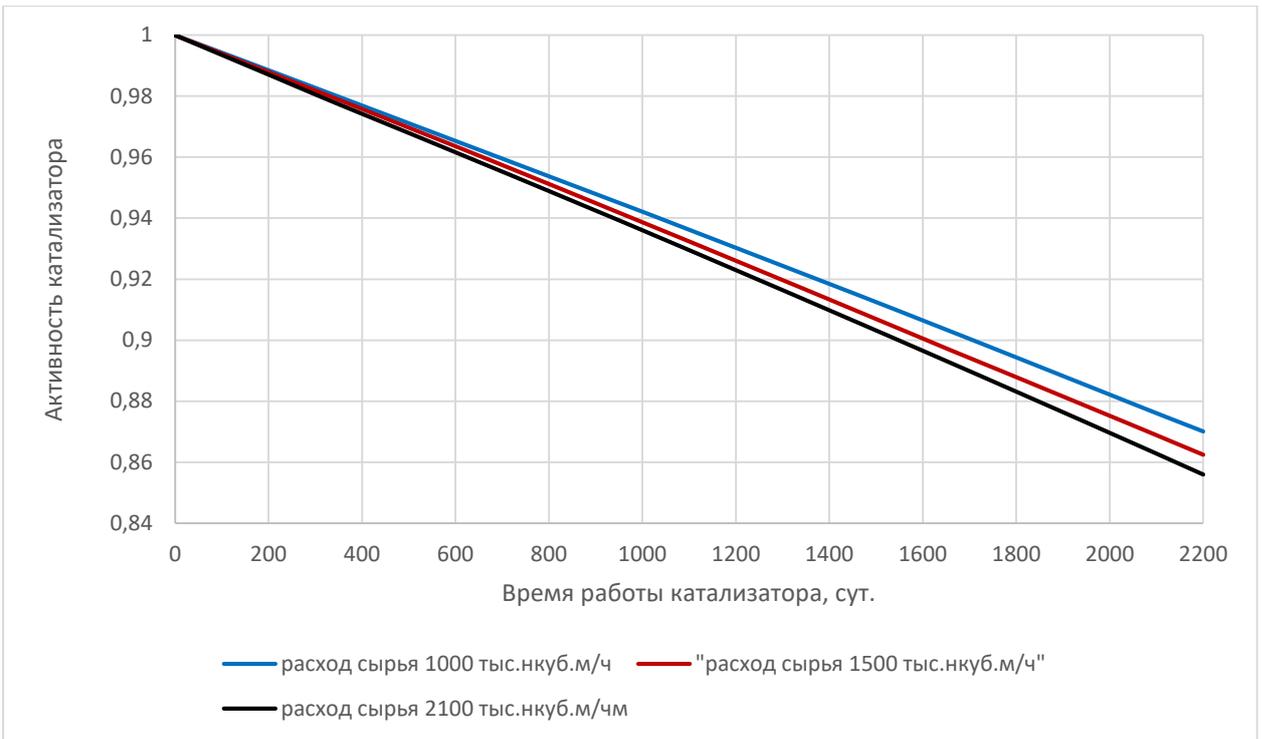


Рисунок 18 – Зависимость активностей катализатора на полках от времени работы реактора на третьей полке

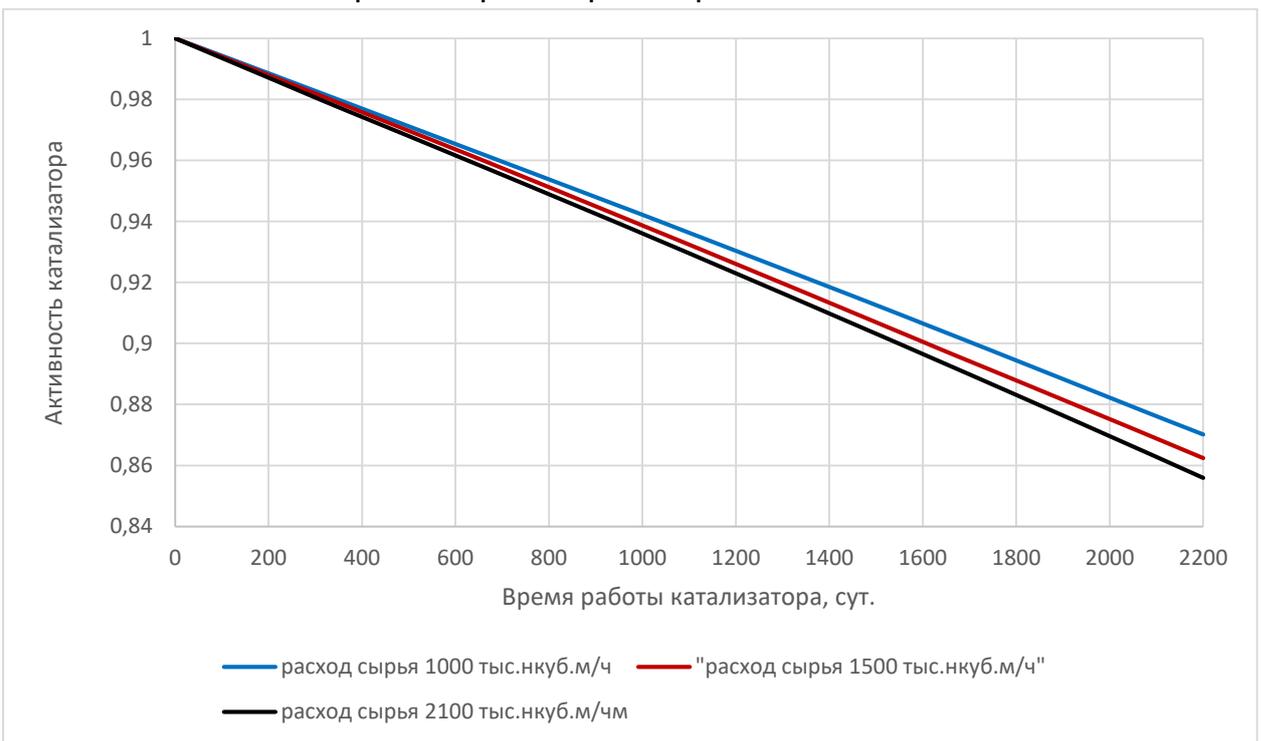


Рисунок 19 – Зависимость активностей катализатора на полках от времени работы реактора на четвертой полке

Из рисунков видно, что на первой полке реактора происходит

дезактивация катализатора гораздо быстрее, так как на нее приходится самый большой расход сырья. Также видно, что по окончании срока исследования катализатор на первой полке имеет большую активность на установке с большим расходом сырья. При расходе сырья в 1000 тыс. нм<sup>3</sup>/ч потеря активности катализатора на первой полке составила 24%, при расходе в 1522 тыс. нм<sup>3</sup>/ч составила 14%, а при 2150 тыс. нм<sup>3</sup>/ч составила 10%. Это обусловлено тем, что большой расход сырья уменьшает время контакта сырья с катализатором, следовательно, понижается скорость реакции синтеза метанола, перепад температур и скорость дезактивации катализатора.

На второй полке на всех установках после 6 лет активность упала примерно на 7%. А на третьей полке наблюдается увеличение дезактивации катализатора. Причем на установках с большим расходом активность падает сильнее. Это связано с подпиткой газовой смеси байпасными потоками, что приводит к увеличению концентрации синтез газа в смеси и смещению равновесия в сторону продукта. На четвертой полке мы вновь наблюдаем небольшую потерю активности катализатора, так как основную нагрузку на себя приняла третья полка.

На рисунках 20-23 представлен график прогноза перепада температур по полкам реактора в течение 2200 дней при сырьевом расходе исследуемых установок 100, 1522 и 200 тыс. нкуб.м/ч.

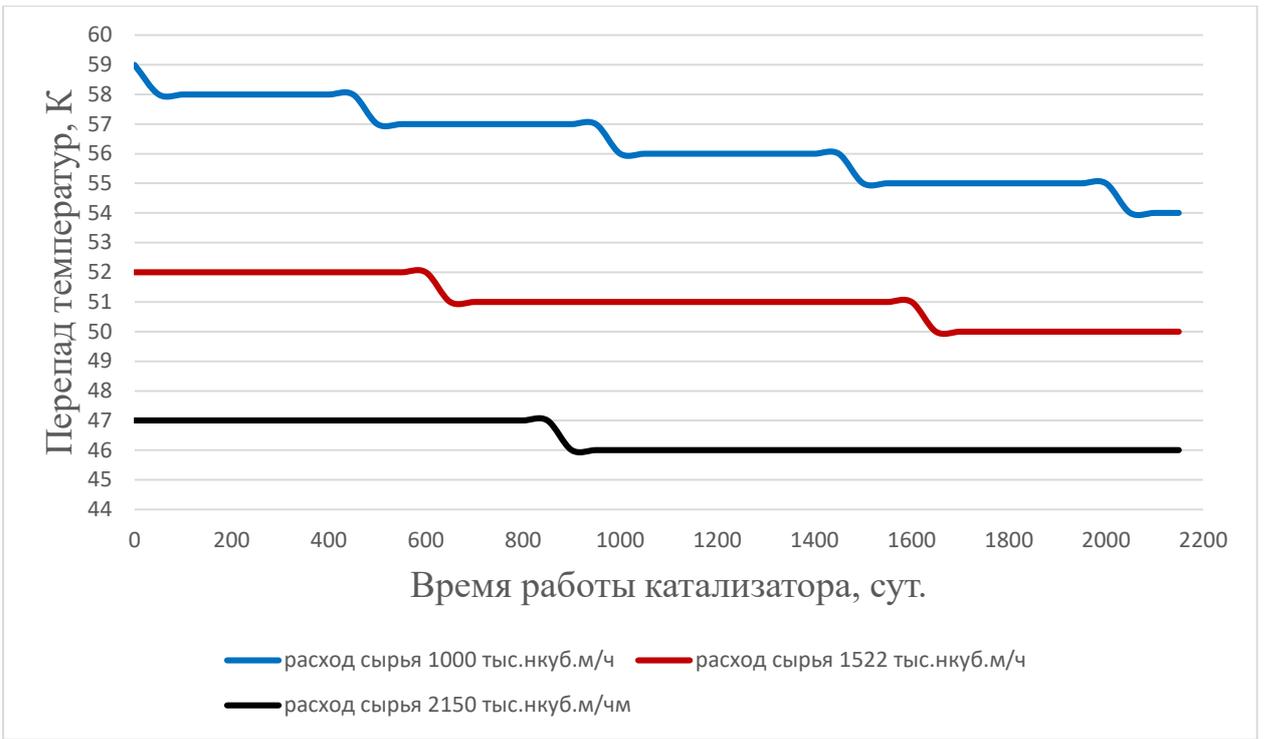


Рисунок 20 – Зависимость перепада температур от времени работы реактора на первой полке

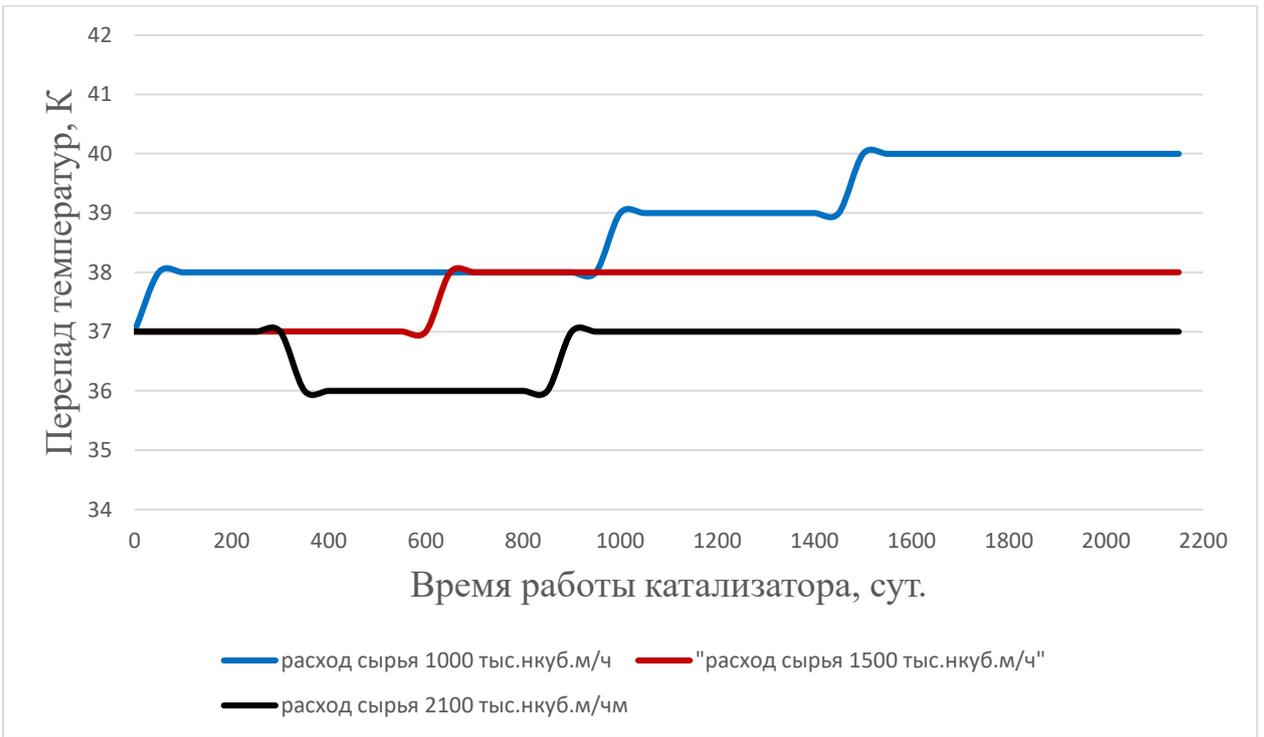


Рисунок 21 – Зависимость перепада температур от времени работы реактора на второй полке

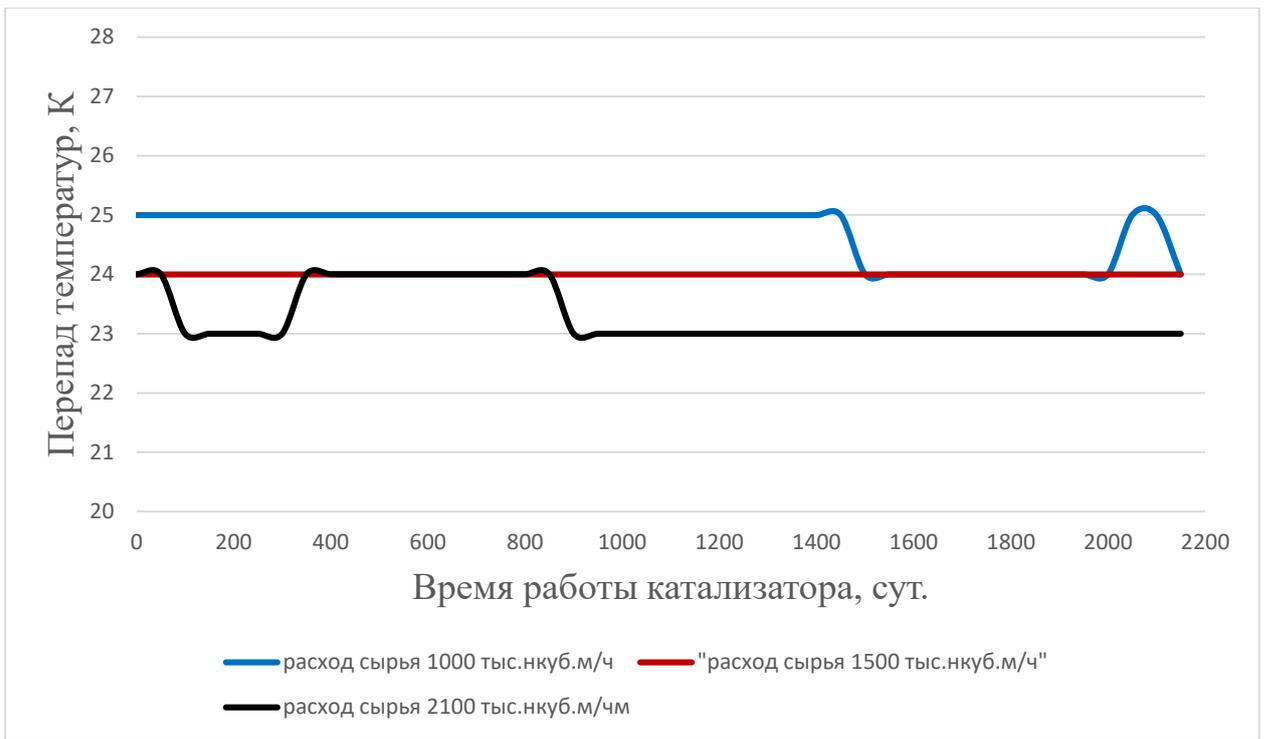


Рисунок 22 – Зависимость перепада температур от времени работы реактора на третьей полке

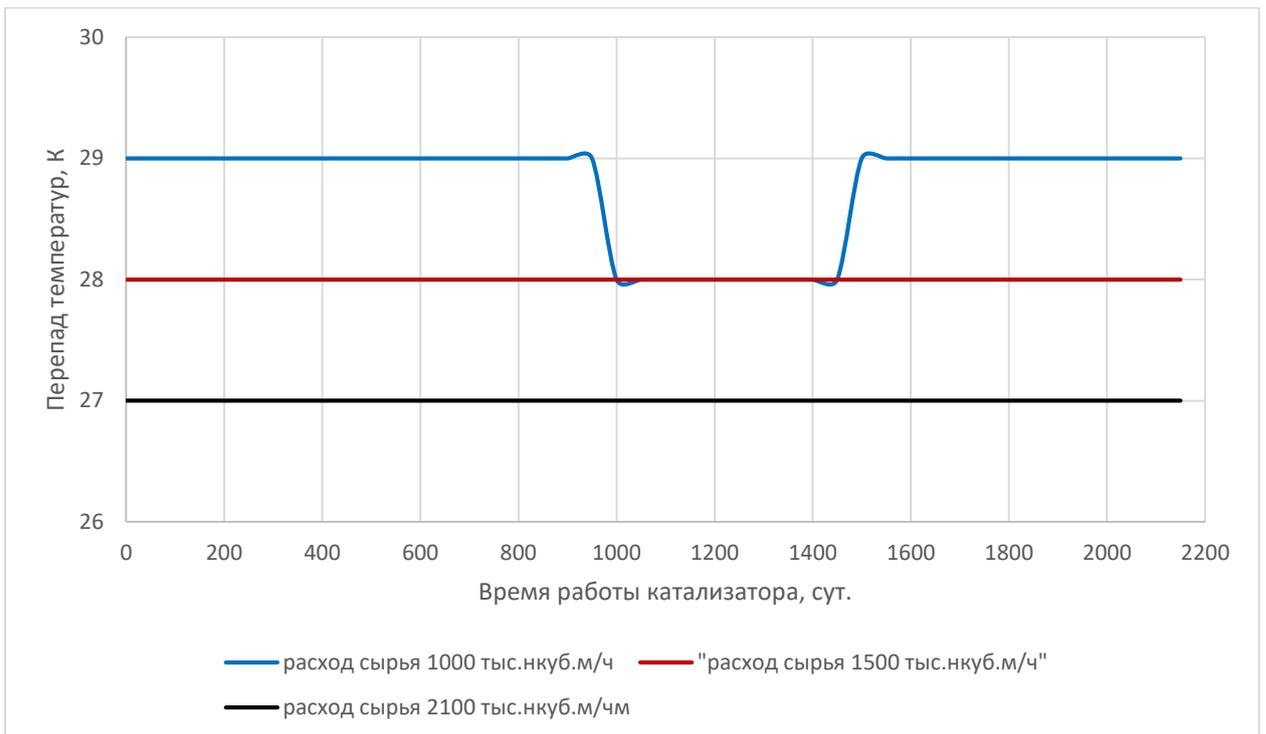


Рисунок 23 – Зависимость перепада температур от времени работы реактора на четвертой полке

В связи с тем, что на первую полку приходится основной расход сырья, перепад температур на ней больше, чем на нижних. Начиная со второй полки, перепад температур увеличивается, это обусловлено тем что реакции синтеза перетекают на них из-за более быстрой дезактивации катализатора на первой полке. На установке с расходом сырья 1000 тыс. нм<sup>3</sup>/ч перепад температур выражен сильнее в сравнении с системами с 1522 и 2150 тыс. нм<sup>3</sup>/ч. Это объясняется тем что при меньшем сырьевом потоке увеличивается качество синтеза, за счет увеличенного времени контакта синтез-газа с катализатором.

#### 4 Обсуждение результатов

В ходе исследования подобрали выгодный расход сырья на установке для получения высокого показателя расхода метанола с учетом разного давления в системе. Выяснили, что повышение давления ведет к уменьшению требуемого расхода сырья, благодаря смещению химического равновесия основных реакций синтеза метанола (1) и (2) в сторону получения продукта. Однако разница затраченного сырья между процессами при 7,1 МПа и 8,1 МПа при равном расходе метанола составила меньше 1%. Учитывая, что повышенное давление может привести к негативным последствиям для системы в целом, предпочтение отдали установке с поддержанием давления 7,1 МПа.

Работа реактора при давлении 4,0 МПа показала худший результат. Расход сырья на такой установке превысил 10% в сравнении с остальными вариантами.

Исследование профилей температур и концентраций метанола и воды в полученной смеси показало, что повышение давления ведет к увеличению этих показателей. Графики получились ступенчатые с постепенным уменьшением роста исследуемых параметров. Это связано с постепенным увеличением концентрации несконденсированного метанола в смеси. Расход метанола, как и концентрация воды на установке с давлением 7,1 МПа в сравнении с минимальным давлением выше примерно на 0,5%. Разница концентрации продуктов с 8,1 МПа незначительна.

Отталкиваясь от предыдущего исследования можно сделать вывод, что установка, работающая при давлении 7,1 МПа, лучше подходит для работы на повышенной производительности.

В ходе увеличения подачи сырья при давлении 7,1 МПа, выяснили что по мере возрастания расхода сырья расход метанола будет возрастать, но не пропорционально увеличению расхода синтез-газа. Это происходит благодаря

уменьшении времени контакта сырья с катализатором, а значит смесь не успевает прореагировать в эквивалентном количестве. Это также подтверждает исследование температур и концентраций расхода метанола на выходе из реактора. Заметно лучше переработка сырья происходит при расходе сырья 3044 тыс. нм<sup>3</sup>/ч чем при 4300 тыс. нм<sup>3</sup>/ч. Разница составила больше 1%.

Также произведена работа в изучении дезактивации катализатора в течении 6 лет. В условиях повышенной производительности с течением времени, самая большая потеря активности катализатора наблюдается на первой полке. Это связано с увеличенным расходом сырья на ней.

По истечении срока исследования самую большую активность на первой полке проявил катализатор установки где был наименьший расход сырья. При расходе сырья в 1000 тыс. нм<sup>3</sup>/ч потеря активности катализатора на первой полке составила 24%, при расходе в 1522 тыс. нм<sup>3</sup>/ч составила 14%, а при 2150 тыс. нм<sup>3</sup>/ч составила 10%. Это объясняется тем, что при большем расходе сырья (при одинаковом сечении реактора) время контакта уменьшается, а значит, снижается скорость образования метанола, и скорость дезактивации катализатора. Дезактивация катализатора на нижележащих полках менее выражена, причина этому высокий расход сырья на первой полке. Это также объясняет постепенное уменьшение перепада температур на первой полке и рост на последующих полках, которое наблюдали в ходе исследования.

## **5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение**

Одним из важнейших нефтехимических продуктов на мировом и региональных рынках сбыта нефтехимической продукции является метанол. В структуре потребления метанола существуют три основных направления, это – производство формальдегида, кислот и компонентов топлива – добавок, повышающих октановое число бензинов.

В последнее время значение метанола резко возросло. Оказалось, что он не может помочь в решении многих острых и актуальных проблем энергетики, экологии, обеспечения продуктами питания, так как является универсальным энергоносителем, компонентом и сырьем для получения моторных топлив, высокооктановых добавок, источником углерода для микробиологического синтеза белков, а синтез метанола является рациональным путем утилизации отходов промышленности и жизнедеятельности. В настоящее время проводится множество исследований по улучшению эффективности процесса синтеза метанола и улучшения технологии. Первым путем повышения эффективности является нововведения в сфере реакторов и появление новых катализаторов с целью увеличения активности, селективности и срока их службы.

В ходе научно исследовательской работы требуется провести исследование работы промышленной установки М-750 методом математического моделирования.

Разработка НИ производится группой работников, состоящей из двух человек – руководителя и студента.

Целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является рассмотрение следующих задач:

- Оценка коммерческого потенциала и перспективность разработки НИ;
- Планирование научно-исследовательской работы;

- Расчет бюджета научно-исследовательской работы
- Определение ресурсной, финансовой и бюджетной эффективности исследования;
- Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

### **5.1 Потенциальные потребители результатов исследования**

Для анализа потребителей результатов исследования необходимо рассмотреть целевой рынок и провести его сегментирование.

Целевой рынок – сегмент рынка, на котором в будущем будет разработана. Иначе, сегмент рынка – это особым образом выделенная часть рынка, группы потребителей, обладающих определенными общими признаками.

Сегментирование – это разделение покупателей на однородные группы, для каждой из которых может потребоваться определенный товар (услуга). Критерием сегментирования может служить вид оказываемых услуг по улучшению процесса синтеза метанола.

- Увеличение выхода целевого продукта.
- Оказание услуг в области улучшения качества готового продукта.

В данной работе продуктом, получаемым в ходе научно-исследовательской работы является метанол. К потенциальным потребителям могут относиться химические и нефтехимические компании, нефтеперерабатывающие заводы.

### **5.2 Анализ конкурентных технических решений**

Лидирующие позиции в настоящее время занимают разработки компаний – ОАО «ВНИПИнефть», Johnson Matthey и Toyo Engineering. Каждая из представленных выше компаний давно находится на рынке и зарекомендовала себя как надежный проектировщик и исполнитель своих

работ, что подтверждается реализованными проектами предприятий в условиях крайнего севера или действующими установками синтеза метилового спирта, размещенных на морских судах.

Для успешного противостояния конкурентам необходимо постоянно анализировать новые разработки, существующие на рынке. Важно реалистично отмечать как сильные, так и слабые стороны разработок конкурентов.

С точки зрения ресурсоэффективности и ресурсосбережения такой анализ позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направление для её будущего повышения.

Целесообразно проводить данный анализ с помощью оценочной карты. Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений представлена в таблице 9.

Таблица 9 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		БМ	БВ	БТ	КМ	КХ	КТ
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Простота проведения	0,05	5	4	3	0,25	0,20	0,15
2. Надежность	0,10	4	4	4	0,40	0,40	0,40
3. Энергоэкономичность	0,10	4	3	3	0,40	0,30	0,30
4. Повышение производительности	0,20	4	3	3	0,80	0,60	0,60
5. Безопасность метода	0,10	5	5	5	0,50	0,50	0,50
Экономические критерии оценки эффективности							
6. Цена	0,15	3	2	2	0,45	0,30	0,30
7. Конкурентоспособность	0,10	3	4	5	0,30	0,40	0,50
8. Срок эксплуатации	0,15	5	4	4	0,75	0,60	0,60
9. Уровень внедрения на рынок	0,05	3	4	4	0,15	0,20	0,20

<b>Итого</b>	<b>1</b>	<b>36</b>	<b>32</b>	<b>33</b>	<b>4</b>	<b>3,5</b>	<b>3,55</b>
--------------	----------	-----------	-----------	-----------	----------	------------	-------------

Сравниваем разрабатываемую технологическую схему (индекс «М») с разработкой компании ОАО «ВНИПИнефть» (индекс «В») и разработкой компании Toyo Engineering (индекс «Т»).

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \times B_i$$

где  $K$  – конкурентоспособность вида;

$B_i$  – вес критерия (в долях единицы);

$B_i$  – балл  $i$ -го показателя.

Из данных вышеприведенной таблицы можно сделать вывод, что разрабатываемая технологическая схема обеспечивает больший прирост производительности и обладает лучшей простотой эксплуатации чем у конкурентов. Однако у конкурента более высокий уровень проникновения на рынок. Преимуществом собственной разработки можно считать низкую цену и более высокий предполагаемый срок эксплуатации.

### **5.3 SWOT-анализ**

Произведем также в данном разделе SWOT – анализ НИ, позволяющий оценить факторы и явления, способствующие или препятствующие продвижению проекта на рынок.

На первом этапе описываются сильные и слабые стороны проекта, а также возможности и угрозы для реализации проекта которые могут появиться в его внешней среде.

Сильные стороны — это факторы, которые положительно сказываются на развитии проекта. Сюда обычно включают все, что превращает функционирование в успешную и конкурентную работу.

Слабые стороны – это недостаток, упущение или ограниченность научно-исследовательского проекта, которые препятствуют достижению его

целей. Это то, что плохо получается в рамках проекта или где он располагает недостаточными возможностями или ресурсами по сравнению с конкурентами.

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

Угроза представляет собой любую нежелательную ситуацию, тенденцию или изменение в условиях окружающей среды проекта, которые имеют разрушительный или угрожающий характер для его конкурентоспособности в настоящем или будущем. В качестве угрозы может выступать барьер, ограничение или что-либо еще, что может повлечь за собой проблемы, разрушения, вред или ущерб, наносимый проекту.

На первом этапе SWOT анализа в таблице 10 были описаны сильные и слабые стороны проекта, выявлены возможности и угрозы реализации НИ.

Таблица 10 – Матрица SWOT анализа

Сильные стороны	Возможности во внешней среде
С1. Высокий выход целевого продукта (меанола);	В1. Усовершенствование разработанной схемы процесса с учетом индивидуальных особенностей производства; В2. Внедрение разработанной схемы на предприятия для оптимизации процесса производства метанола.
С2. Уменьшение затрат путем использования рекуперации тепла в теплообменном оборудовании;	
С3. Простота конструкции вспомогательного оборудования.	
Слабые стороны	Угрозы внешней среды

Сл1. Усложнение существующей технологической схемы;	У1. Появление более эффективных реакторов; У2. Падение спроса на продукцию.
Сл2. Расходы на приобретение и монтаж нового оборудования;	
Сл3. Увеличение выхода побочного продукта.	

Второй этап состоит в выявлении соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды. Это соответствие или несоответствие должны помочь выявить степень необходимости проведения стратегических изменений. В рамках данного этапа необходимо построить интерактивную матрицу проекта. Её использование помогает разобраться с различными комбинациями взаимосвязей областей матрицы SWOT.

Возможно использование этой матрицы в качестве одной из основ для оценки вариантов стратегического выбора. Каждый фактор помечается либо знаком «+» (означает сильное соответствие сильных сторон возможностям), либо знаком «-» (что означает слабое соответствие); «0» – если есть сомнения в том, что поставить «+» или «-». Интерактивная матрица проекта представлена в таблицах 11 и 12.

Таблица 11 – Интерактивная матрица сильных и слабых сторон и возможностей

	Сильные стороны			Слабые стороны			
		С1	С2	С3	Сл1	Сл2	Сл3
Возможности проекта	В1	+	+	+	+	+	+
	В2	+	+	+	+	+	+

Таблица 12 – Интерактивная матрица сильных сторон и слабых сторон и угроз

	Сильные стороны			Слабые стороны			
		С1	С2	С3	Сл1	Сл2	Сл3
Угрозы проекта	У1	-	-	+	+	+	0
	У2	+	-	+	+	+	-

В рамках третьего этапа составляется итоговая матрица SWOT-анализа, представленная в таблице 13.

На основе SWOT-анализа были показаны проблемы, стоящие перед разработкой.

Для проекта характерен баланс сильных и слабых сторон, а также возможностей и угроз, т. е. разработка находится в достаточно стабильных условиях.

Таблица 13 - Итоговая матрица SWOT-анализа

	<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>С1. Высокий выход целевого продукта (меанола);</p> <p>С2. Уменьшение затрат путем использования рекуперации тепла в теплообменном оборудовании;</p> <p>С3. Простота конструкции вспомогательного оборудования;</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>Сл1. Усложнение существующей технологической схемы;</p> <p>Сл2. Расходы на приобретение и монтаж нового оборудования;</p> <p>Сл3. Увеличение выхода побочного продукта.</p>
<p>Возможности:</p> <p>В1. Усовершенствование разработанной схемы процесса с учетом индивидуальных</p>	<p>1. Повышение эффективности использования сырья и ресурсов на предприятии. (В2С1С2С3)</p>	<p>1. Приобретение нового оборудования. (В2Сл1Сл2)</p> <p>2. Вовлечение новых интеллектуальных ресурсов. (В2Сл1Сл2Сл3)</p>

<p>особенностей производства;</p> <p>В2. Внедрение разработанной схемы на предприятия для оптимизации процесса производства метанола.</p>	<p>2. Совершенствование разработанной схемы, исходя из возможностей и целей производства, на котором будет реализован проект. (В1С1С2С3)</p>	
<p>Угрозы:</p> <p>У1. Появление более эффективных реакторов;</p> <p>У2. Падение спроса на продукцию.</p>	<p>1 Уменьшить постоянные издержки производства. (У1С1)</p> <p>2 Торговля напрямую с потребителем, без посредников. (У1С1)</p> <p>3 Перевооружение производственных мощностей. (У2С1С2)</p>	<p>1. Привлечение специалистов, готовых к обучению. (У1Сл1Сл2)</p> <p>2. Привлечение зарубежных инвестиций. (У2Сл1Сл2)</p> <p>3. Изучение и проработка всех возможных кризисных ситуаций. (У2Сл1Сл2)</p>

По итогам SWOT-анализа можно выделить основные направления повышения конкурентоспособности проекта: привлечение специалистов, создание программ по обучению новых сотрудников и повышению их квалификации, приобретение нового оборудования.

## **5.4 Планирование работ по научно-техническому исследованию**

### **5.4.1. Структура работ в рамках научного исследования**

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований.

Для выполнения научных исследований формируется рабочая группа, в состав которой могут входить научные сотрудники и преподаватели, инженеры, техники и лаборанты, численность групп может варьироваться. По

каждому виду запланированных работ устанавливается соответствующая должность исполнителей.

Перечень этапов и работ, распределение исполнителей по данным видам работ приведен в таблице 14.

Таблица 14 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель
Выбор направления исследований	2	Выбор направления исследований	Бакалавр
	3	Подбор и изучение материалов по теме	Бакалавр
	4	Календарное планирование работ	Руководитель Бакалавр
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Теоретическое обоснование и выбор экспериментальных методов исследований	Бакалавр
	6	Проведение экспериментальных расчетов	Бакалавр
Обобщение и оценка результатов	7	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель
	8	Обсуждение результатов	Руководитель Бакалавр
Разработка технической документации и проектирование	9	Сбор информации об охране труда	Бакалавр
	10	Подбор данных для выполнения экономической части работы	Бакалавр
Оформление отчета по НИР	11	Составление пояснительной записки	Руководитель Бакалавр
	12	Защита ВКР	Руководитель Бакалавр

### 5.4.2. Определение трудоёмкости выполнения работ

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

Продолжительность каждой работы в рабочих днях:

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i},$$

Продолжительность каждой работы в календарных днях:

$$T_{ki} = T_{pi} * k_{кал},$$

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

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

$$k_{ка} = \frac{365}{365 - 104 - 14} = 1,48;$$

Рассчитанные значения в календарных днях по каждой работе необходимо округлить до целого числа. Все рассчитанные значения сведены в таблице 15.

Таблица 15 – Трудоёмкость работ

№	именованиеработ	Трудоёмкость работ						Длительность в рабочих днях $T_{pi}$	Длительность работ в календарных днях $T_{ki}$
		$t_{min}$ , чел-дни		$t_{max}$ , чел-дни		$t_{ожі}$ , чел-дни			
		Руководитель	Бакалавр	Руководитель	Бакалавр	Руководитель	Бакалавр		
1	Составление и утверждение технического задания	2	-	4	-	2,8	-	2,8	4

2	Выбор направления исследования	-	2	-	4	-	2,8	2,8	4
3	Календарное планирование работ по теме	2		4		2,8		1,4	2
4	Подбор и изучение материалов по теме	-	18	-	21	-	19,2	19,2	24
5	Проведение теоретических расчетов	-	15	-	18	-	16,2	16,2	20
6	Сопоставление результатов расчетов с теоретическими исследованиями	-	2	-	4	-	2,8	2,8	4
7	Оценка эффективности полученных результатов	2	-	4	-	2,8	-	2,8	4
8	Обсуждение результатов	5		7		5,8		2,9	4
9	Сбор информации об охране труда	-	9	-	12	-	10,2	10,2	13
10	Подбор данных для выполнения экономической части работы	-	9	-	12	-	10,2	10,2	13
11	Составление пояснительной записки	10		13		11,2		5,6	7
12	Защита дипломной работы	1		1		1		0,5	1
13	Итого:							77,4	100

### 5.4.3. Разработка графика проведения научного исследования

На основе таблицы составлен календарный план-график выполнения проекта с использованием диаграммы Ганта (таблица 16).

Таблица 16 Календарный план-график проведения научного исследования

№ работ	Вид работ	Исполнители	T <sub>кi</sub> , кал. дн.	Продолжительность выполнения работ													
				февраль		март			апрель			май					
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3			
1	Составление и утверждение технического задания	НР	4	■													
2	Выбор направления исследования	Ст	4		■												
3	Календарное планирование работ по теме	Ст, НР	2		■												
4	Подбор и изучение материалов по теме	Ст	24		■	■	■	■									
5	Проведение теоретических расчетов	Ст	20				■	■	■	■							
6	Сопоставление результатов расчетов с теоретическими исследованиями	Ст	4							■	■						
7	Оценка эффективности полученных результатов	НР	4								■	■					
8	Обсуждение результатов	Ст, НР	4									■	■				
9	Сбор информации об охране труда	Ст	13										■	■	■		
10	Подбор данных для выполнения экономической части работы	Ст	13											■	■	■	
11	Составление пояснительной записки	Ст, НР	7													■	■
12	Защита дипломной работы	Ст, НР	1														■

-  – научный руководитель;
-  – студент.

## 5.5 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

1. Материальные затраты.
2. Затраты на спец.оборудование
3. Основная и дополнительная ЗП.
4. Социальные отчисления.
4. Прямые затраты.
5. Накладные расходы.

### 5.5.1. Расчет материальных затрат НТИ

При планировании бюджета научно-техническое исследование должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением.

Расчет материальных затрат осуществляется по формуле:

$$Z_M = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{\text{расх}i} ,$$

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

$N_{\text{расх}i}$  – количество материальных ресурсов  $i$ -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, м<sup>2</sup> и т.д.);

$C_i$  – цена приобретения единицы  $i$ -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./м<sup>2</sup> и т.д.);

$k_T$  – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Материальные затраты, необходимые разработки технологической схемы в различных исполнениях отражены в таблице 17. Различия в затратах обусловлены тем, что при проведении исследования альтернативными способами возникает необходимость в чертежах схемы на форматах А2.

Таблица 17 – Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество			Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, (Зм), руб.		
		Исп.1	Исп.2	Исп.3		Исп.1	Исп.2	Исп.3
Бумага А2	Листов	0	3	3	35	0	105	105
Бумага А4	Листов	100	110	90	1,5	180	198	162
Тетрадь для записей	Шт.	3	3	3	75	132	172	172
Ручка	Шт.	4	4	4	35	168	168	168
Карандаш	Шт.	2	2	2	20	48	48	48
Чернила для принтера	Мл.	100	130	130	1,1	132	172	172
Итого, руб.						798	961	925

Общие материальные затраты составили 1035 руб.

### 5.5.2. Расчет затрат на специальное оборудование для научных работ

В данную статью включают все затраты, связанные с приобретением специального оборудования (приборов, контрольно-измерительной аппаратуры, стендов, устройств и механизмов), необходимого для проведения работ по конкретной теме. Определение стоимости спецоборудования производится по действующим прейскурантам, а в ряде случаев по договорной цене. При приобретении спецоборудования необходимо учесть затраты по его доставке и монтажу в размере 15% от его цены. Расчет затрат по данной статье представлен в таблице 18.

Таблица 18– Расчет бюджета затрат на приобретение спецоборудования для научных работ

Наименование	Количество единиц оборудования	Цена единицы оборудования, тыс. руб.			Затраты на материалы, (Зм), тыс. руб.		
		Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3

Персональный компьютер	1	0	10	20	0	5	10
ПО MicrosoftOffice	1	60	60	60	60	60	60
Лицензии программ	1	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
Итого:					62,5	67,5	72,5

### 5.5.3. Основная заработная плата исполнителя темы

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением проекта, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату и рассчитывается по формуле:

$$Z_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп}$$

где  $Z_{осн}$  – основная заработная плата;

$Z_{доп}$  – дополнительная заработная плата (12–20 % от  $Z_{осн}$ ).

Основная заработная плата руководителя рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p$$

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

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

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d}$$

где  $Z_m$  – месячный должностной оклад работника, руб.;

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

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

при отпуске в 48 раб. дней  $M = 10,4$  месяца, 6–дневная неделя;

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

Таблица 19 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Студент
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней		
- выходные дни	52	104
- праздничные дни	14	14
Потери рабочего времени	48	24
- отпуск		
- невыходы по болезни	10	10
Эффективный фонд рабочего времени	241	213

Месячный должностной оклад работника (руководителя):

$$Z_m = Z_{tc} \cdot (1 + k_{пр} + k_d) \cdot k_p$$

где  $Z_{tc}$  – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

$k_{пр}$  – премиальный коэффициент, равный 0,3 (т.е. 30 процентов от  $Z_{tc}$ );

$k_d$  – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2 – 0,5;

$k_p$  – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Тарифная заработная плата  $Z_{tc}$  находится из произведения тарифной ставки работника 1-го разряда  $Tc_1 = 600$  руб. на тарифный коэффициент  $k_T$  и учитывается по единой для бюджетной организации тарифной сетке.

Тарифный коэффициент для НР = 1,866; для С = 1,407.

Расчёт основной заработной платы представлен в таблицах 20-22.

Таблица 20 – Расчет основной заработной платы по проекту №1

Исполнители	$k_T$	$Z_{tc}$ , руб.	$k_{пр}$	$k_d$	$k_p$	$Z_m$ , руб.	$Z_{дн}$ , руб.	$T_p$ , раб. дн.	$Z_{осн}$ , руб.
Научный руководитель	1,866	25000	0,3	0,5	1,3	58500 00	2524,48	241	608400
Бакалавр/ Инженер	1,407	15000	0,3	0,3	1,3	35100	35100	1845, 63	393120
Итого									1001520

Таблица 21 – Расчет основной заработной платы по проекту №2

Исполнители	к <sub>т</sub>	З <sub>тс</sub> , руб.	к <sub>пр</sub>	к <sub>д</sub>	к <sub>р</sub>	З <sub>м</sub> , руб.	З <sub>дн</sub> , руб.	Т <sub>р</sub> , раб. дн.	З <sub>осн</sub> , руб.
Научный руководитель	1,866	25000	0,3	0,5	1,6	72600	3132,95	241	755040
Бакалавр/Инженер	1,407	15000	0,3	0,3	1,6	43200	2271,55	213	483840
Итого									1238880

Таблица 22 – Расчет основной заработной платы по проекту №3

Исполнители	к <sub>т</sub>	З <sub>тс</sub> , руб.	к <sub>пр</sub>	к <sub>д</sub>	к <sub>р</sub>	З <sub>м</sub> , руб.	З <sub>дн</sub> , руб.	Т <sub>р</sub> , раб. дн.	З <sub>осн</sub> , руб.
Научный руководитель	1,866	35000	0,3	0,5	2	90000	3883,82	241	936000
Бакалавр/Инженер	1,407	20000	0,3	0,3	2	54000	2839,44	213	604800
Итого									1540800

#### 5.5.4. Расчет дополнительной заработной платы

Дополнительная заработная плата учитывает величину предусмотренных Трудовым кодексом РФ доплат за отклонение от нормальных условий труда, а также выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций (при исполнении государственных и общественных обязанностей, при совмещении работы с обучением, при предоставлении ежегодного оплачиваемого отпуска и т.д.).

Расчет дополнительной заработной платы рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}},$$

где  $k_{\text{доп}}$  – коэффициент дополнительной заработной платы, принятый на стадии проектирования за 0,15.

$$Z_{\text{доп-1}} = 0,15 \cdot 1001520 = 150228 \text{ руб};$$

$$З_{\text{доп-2}} = 0,15 \cdot 1238880 = 185832 \text{ руб.}$$

$$З_{\text{доп-3}} = 0,15 \cdot 1540800 = 231120 \text{ руб.}$$

### 5.5.5. Отчисления во внебюджетные фонды

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из формулы:

$$З_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}})$$

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

В соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30%.

Отчисления во внебюджетные фонды представлены в таблице 23.

Таблица 23 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.			Дополнительная заработная плата, руб.		
	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
Руководитель проекта Студент	1001520	1238880	1540800	150228	185832	231120
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,30					
Итого						
Исполнение 1	345524					
Исполнение 2	427413					
Исполнение 3	531576					

### 5.5.6. Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов. Их величина определяется по формуле:

$$Z_{\text{накл}} = \left( \sum \text{статей} \right) \cdot k_{\text{нр}}$$

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

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%.

Накладные расходы для исполнения 1 составили:

$$Z_{\text{накл}} = (798 + 62500 + 1001520 + 150228 + 345524) \cdot 0,16 = 249691,2 \text{ руб.}$$

Накладные расходы для исполнения 2 составили:

$$Z_{\text{накл}} = (961 + 67500 + 1238880 + 185832 + 427413) \cdot 0,16 = 307293,8 \text{ руб.}$$

Накладные расходы для исполнения 3 составили:

$$Z_{\text{накл}} = (925 + 72500 + 1540800 + 231120 + 531576) \cdot 0,16 = 380307,4 \text{ руб.}$$

### 5.5.7. Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Рассчитанная величина затрат научно–исследовательской работы является основой для формирования бюджета затрат проекта. Определение бюджета затрат на научно–исследовательский проект приведено в таблице 24.

Таблица 24 –Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб.			Примечание
	Исп.1	Исп.2	Исп.3	
1. Материальные затраты НТИ	798	961	925	Пункт 4.5.1
2. Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	62500	67500	72500	Пункт 4.5.2
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	1001520	1238880	1540800	Пункт 4.5.3

4. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	150228	185832	231120	Пункт 4.5.4
5. Отчисления во внебюджетные фонды	345524	427413	531576	Пункт 4.5.5
6. Затраты на научные и производственные командировки	-	-	-	Отсутствуют
7. Контрагентские расходы	-	-	-	Отсутствуют
8. Накладные расходы	249691,2	307293,8	380307,4	Пункт 4.5.6
9. Бюджет затрат НИИ	1810261,2	2227879,8	2757228,4	

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

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

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования определяется как:

$$I_{\text{фин.р}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}}$$

Где  $I_{\text{фин.р}}^{\text{исп.}i}$  – интегральный финансовый показатель разработки;

$\Phi_{pi}$  – стоимость  $i$ -го варианта исполнения;

$\Phi_{\text{max}}$  – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта.

$$I_{\text{фин.р}}^{\text{исп1}} = \frac{1810261,2}{2757228,4} = 0,657;$$

$$I_{\text{фин.р}}^{\text{исп2}} = \frac{2227879,8}{2757228,4} = 0,808;$$

$$I_{\text{фин.р}}^{\text{исп3}} = \frac{2757228,4}{2757228,4} = 1$$

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

$$I_{pi} = \sum_{i=1}^n a_i \times b_i$$

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

$a_i$  – весовой коэффициент  $i$ -го варианта исполнения разработки;

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

$n$  – число параметров сравнения.

Таблица 25 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии \ Объект исследования	Весовой коэффициент параметра	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1. Простота проведения	0,05	5	4	3
2. Надежность	0,20	4	4	4
3. Энергоэкономичность	0,20	4	3	3
4. Повышение производительности	0,20	4	3	3
5. Безопасность метода	0,20	5	5	5
6. Материалоемкость	0,15	5	4	4
Итого	1	4,4	3,8	3,75

$$I_{p-исп1} = 0,05 \cdot 5 + 0,2 \cdot 4 + 0,20 \cdot 4 + 0,20 \cdot 4 + 0,2 \cdot 5 + 0,15 \cdot 5 = 4,4;$$

$$I_{p-исп2} = 0,05 \cdot 4 + 0,2 \cdot 4 + 0,20 \cdot 3 + 0,20 \cdot 3 + 0,2 \cdot 5 + 0,15 \cdot 4 = 3,8;$$

$$I_{p-исп3} = 0,05 \cdot 3 + 0,2 \cdot 4 + 0,20 \cdot 3 + 0,20 \cdot 3 + 0,2 \cdot 5 + 0,15 \cdot 4 = 3,75.$$

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

$$I_{исп1} = \frac{I_{p-исп1}}{I_{фин.р}^{исп1}} = \frac{4,4}{0,657} = 6,69$$

$$I_{\text{исп2}} = \frac{I_{\text{р-исп2}}}{I_{\text{фин.р}}^{\text{исп2}}} = \frac{3,8}{0,808} = 4,7;$$

$$I_{\text{исп3}} = \frac{I_{\text{р-исп3}}}{I_{\text{фин.р}}^{\text{исп3}}} = \frac{3,75}{1} = 3,75.$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных.

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

$$\mathcal{E}_{\text{ср}} = \frac{I_{\text{исп2}}}{I_{\text{исп1}}}$$

Таблица 26 – Сравнительная эффективность разработки

№	Показатели	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,657	0,808	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,4	3,8	3,75
3	Интегральный показатель эффективности	6,69	4,7	3,75
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	0,703	0,561

**Вывод:** Сравнив значения интегральных показателей эффективности можно сделать вывод, что реализация технологии в первом исполнении является более эффективным вариантом решения задачи, поставленной в данной работе с позиции финансовой и ресурсной эффективности.

## **6 Социальная ответственность**

### **Введение**

В настоящее время требования к социальной ответственности предприятий нефтегазовой отрасли приобретают все большее значение. В теории и практике утвердилось понятие о корпоративной ответственности предприятий.

Объектом исследования данной работы является действующий реактор синтеза метилового спирта установка М – 750, расположенная в городе Томске. Данная установка состоит из трех основных блоков. Первый блок, блок паровой конверсии метана, второй блок, реакторный блок и третий блок, блок ректификации целевого продукта – метилового спирта. Одним из важных пунктов в процессе трудовой деятельности, является обеспечение безопасности жизни и здоровья работников.

Сырьем для установки служит синтез-газ, получаемый на блоке паровой конверсии природного газа.

Охрана здоровья трудящихся, обеспечение безопасности условий труда, ликвидация профессиональных заболеваний и производственного травматизма составляет одну из главных забот человеческого общества. Обращается внимание на необходимость широкого применения прогрессивных форм научной организации труда, сведения к минимуму ручного, малоквалифицированного труда, создания обстановки, исключая профессиональные заболевания и производственный травматизм.

Задачей данного раздела является анализ проблем социальной ответственности с точки зрения потребителя результатов работы.

### **6.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности**

Федеральный закон «Об основах охраны труда в Российской

Федерации» от 17.07.1999 N 181-ФЗ является основным нормативным документом, отражающий права и обязанности сотрудника и работодателя. Настоящий Федеральный закон устанавливает правовые основы регулирования отношений в области охраны труда и направлен на создание условий труда, соответствующих требованиям сохранения жизни и здоровья работников в процессе трудовой деятельности.

Для реализации этого закона приняты Постановления Правительства РФ «О государственном надзоре и контроле за соблюдением законодательства РФ о труде и охране труда», «О службе охраны труда» и др.

Работник должен быть проинформирован об условиях и охране труда на рабочем месте, о существующем риске повреждения здоровья, а также о мерах по защите от воздействия вредных или опасных производственных факторов. В соответствии с федеральным законом "Об основах охраны труда в Российской Федерации", рабочее место должно соответствовать требованиям охраны труда и быть защищенным от влияния вредных и (или) опасных производственных факторов, и ее организация должна соответствовать правовым нормам, а также антропометрическим, социальным, психофизическим данным работника.

Разработка комплекса мер, направленных на модернизацию производства в целях улучшения условий труда позволит в значительной мере улучшить условия труда работающих. При разработке данных мер, крайне важно учитывать не только отечественные разработки и результаты, но и международный опыт, что позволит осуществить совершенствование нормативной правовой базы Российской Федерации в соответствии с международными нормами.

Специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства Согласно ТК РФ от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 01.04.2019) работник имеет право на:

- предоставление ему работы, обусловленной трудовым договором;
- рабочее место, соответствующее государственным нормативным требованиям охраны труда и условиям, предусмотренным коллективным договором;
- своевременную и в полном объеме выплату заработной платы в соответствии со своей квалификацией, сложностью труда, количеством и качеством выполненной работы;
- отдых, обеспечиваемый установлением нормальной продолжительности рабочего времени, сокращенного рабочего времени для отдельных профессий и категорий работников, предоставлением еженедельных выходных дней, нерабочих праздничных дней, оплачиваемых ежегодных отпусков;
- полную достоверную информацию об условиях труда и требованиях охраны труда на рабочем месте, включая реализацию прав, предоставленных законодательством о специальной оценке условий труда;
- подготовку и дополнительное профессиональное образование в порядке, установленном настоящим Кодексом, иными федеральными законами;
- защиту своих трудовых прав, свобод и законных интересов всеми не запрещенными законом способами;
- возмещение вреда, причиненного ему в связи с исполнением трудовых обязанностей, и компенсацию морального вреда в порядке, установленном настоящим Кодексом, иными федеральными законами;
- обязательное социальное страхование в случаях, предусмотренных федеральными законами.

### **6.1.1. Организационные мероприятия при компоновке рабочей**

#### **зоны**

Правильная организация рабочего места оказывает непосредственное влияние на производительность труда. Повышению трудовой деятельности способствует просторное хорошо проветриваемое помещение, в котором соблюден баланс освещения. Согласно гигиеническим нормам СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 помещение в целом и рабочее место должны быть освещены достаточно и равномерно. При оборудовании рабочей зоны необходимо также учесть, что яркий солнечный свет порождает блики на мониторе, следовательно, существует потребность в установке жалюзи.

Дипломная работа выполнялась в компьютерном зале Новосибирской государственной публичной научно-технической библиотеке. Экспериментальная часть бакалаврской работы выполнялась на персональном компьютере (далее ПК). Рабочая зона представляет собой аудиторию, оборудованную системами отопления и кондиционирования воздуха. Освещение рабочего места, комбинированное – сочетание естественного света из окон и искусственного.

Так как трудовая деятельность в данном случае непосредственно связана с работой на ЭВМ, необходимо соблюдать меры безопасности, направленные на сохранение полноценного зрения сотрудника:

- экран видеомонитора должен находиться от глаз пользователя на оптимальном расстоянии 600 – 700 мм, но не ближе 500 мм с учетом размеров алфавитно-цифровых знаков и символов;

- уровень глаз при вертикально расположенном экране должен приходиться на центр или  $2/3$  высоты экрана. Линия взора должна быть перпендикулярна центру экрана и оптимальное её отклонение от

перпендикуляра, проходящего через центр экрана в вертикальной плоскости, не должно превышать 5 градусов, допустимое 10 градусов.

Для того, чтобы минимизировать последствия «сидячей» работы, необходимо оборудовать рабочее место подставкой для ног, имеющей ширину не менее 300 мм, глубину не менее 400 мм, регулировку по высоте в пределах до 150 мм и по углу наклона опорной поверхности подставки до 20 градусов.

## **6.2 Производственная безопасность**

Производственная безопасность представляет собой систему организационных мероприятий и технических средств, уменьшающих вероятность воздействия на персонал опасных производственных факторов, вредных воздействий технологических процессов, энергии, средств, предметов, условий и режимов труда до приемлемого уровня.

### **6.2.1. Анализ потенциально возможных и опасных факторов, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований**

Выбор факторов производится с использованием ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация». Выявленные факторы перечислены в таблице 27.

Таблица 27 – Опасные и вредные факторы при моделировании процесса синтеза метанола

Факторы	Этапы работ			
	Разработка	Изготовление	Эксплуатация	
(ГОСТ 12.3.003-2015)				Нормативные документы
Отклонение показателей микроклимата	+	+	+	СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Гигиенические требования к персональным

				электронновычислительным машинам и организации работы
Нервнопсихические перегрузки	+	+	+	СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Гигиенические требования к персональным электронновычислительным машинам и организации работы
Статические физические перегрузки	+	+	+	СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Гигиенические требования к персональным электронновычислительным машинам и организации работы
Повышенный уровень шума	+	+	+	СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Гигиенические требования к персональным электронновычислительным машинам и организации работы
Перегрузка зрительного аппарата	+	+	+	СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Гигиенические требования к персональным электронновычислительным машинам и организации работы
Недостаточная освещенность рабочей зоны	+	+	+	СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Гигиенические требования к персональным электронновычислительным машинам и организации работы
Электрический ток	+	+	+	ГОСТ 12.1.038-82 Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов.

Пожарная безопасность	+	+	+	СНиП 21-01-97* Пожарная безопасность зданий и сооружений
-----------------------	---	---	---	---

### 6.2.2. Отклонение показателей микроклимата

К метеорологическим факторам, влияющим на человека, относятся температура, влажность, скорость движения воздуха, так как эти факторы при длительном воздействии на работника оказывают психологическое и физическое влияние на его состояние в процессе работы.

В производственных помещениях, в которых основная работа осуществляется с использованием персональных электронных вычислительных машин, должны обеспечиваться оптимальные параметры микроклимата для категории работ 1а и 1б в соответствии с действующими санитарно-эпидемиологическими нормативами микроклимата производственных помещений.

Оптимальные значения показателей микроклимата на рабочем месте для помещений данных категорий приведены в таблице 28.

Таблица 28 – Оптимальные характеристики микроклимата

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат, Вт	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	Iа (до 139)	22-24	21-25	60-40	0,1
	Iб (140-174)	21-23	20-24	60-40	0,1
Теплый	Iа (до 139)	23-25	22-26	60-40	0,1
	Iб (140-174)	22-24	21-25	60-40	0,1

С целью защиты сотрудника от воздействия данного вредного фактора предусмотрены системы вентиляции, кондиционирования и обогрева

помещения. Также присутствуют установленные нормы проветривания рабочего места.

### **6.2.3. Нервно-психические перегрузки**

Нарушение микроклимата, монотонность труда, низкое качество периферийных устройств, умственное и зрительное перенапряжение, вызванное информационной нагрузкой, при работе с персональным компьютером все эти факторы могут стать причиной нервно – психических перегрузок

Перерывы в работе могут предотвратить данного рода перегрузки. Работая за персональным компьютером, требуется каждый час устанавливать перерывы. Эти перерывы нужно включать в общее рабочее время и не вычитать из продолжительности смены. Если продолжительность рабочего дня 74 составляет 8 часов, то сумма времени на перерывы составляет от 50 минут до 1,5 часа. Если рабочее время составляет 12 часов, то - 80 – 140 минут.

Регламентированные перерывы прописываются экспертами в картах спецоценки условий труда.

### **6.2.4. Статические физические перегрузки**

Работа на ПЭВМ связана с длительным пребыванием сотрудника в сидячем положении, что приводит к физическим перегрузкам статического характера.

К требованиям СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 касательно оптимального устройства рабочего места и минимальной физической нагрузки можно отнести следующие требования:

- Конструкция рабочего стула (кресла) должна обеспечивать поддержание рациональной рабочей позы при работе на ПЭВМ, позволять изменять позу с целью снижения статического напряжения мышц шейно-плечевой области и спины для предупреждения развития утомления.

- Тип рабочего стула (кресла) следует выбирать с учетом роста пользователя, характера и продолжительности работы с ПЭВМ.

- 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.

- Поверхность сиденья, спинки и других элементов стула (кресла) должна быть полумягкой, с нескользящим, слабо электризующимся и воздухопроницаемым покрытием, обеспечивающим легкую очистку от загрязнений.

#### **6.2.5. Повышенный уровень шума**

Повышенный уровень шума связан с работой агрегатов персонального компьютера. В производственных помещениях при выполнении основных или вспомогательных работ с использованием ПЭВМ уровни шума на рабочих местах не должны превышать значений в 80 дБА, установленных для данных видов работ в соответствии с действующими санитарно-эпидемиологическими нормативами.

Для уменьшения общего уровня шума шумящее оборудование (печатающие устройства, серверы и т.п.), уровни шума которого превышают нормативные, должно размещаться вне помещений с ПЭВМ.

#### **6.2.6. Перегрузка зрительного аппарата**

Работы с персональным компьютером непосредственно связаны с перегрузками зрительного аппарата, вызванными длительным сосредоточенным наблюдением и световыми нагрузками.

Для минимизации перегрузки зрительного аппарата необходимо учитывать нормы освещенности и расположение ПК.

### **6.2.7. Недостаточная освещенность рабочей зоны**

Данный вредный фактор возникает при неправильном комбинировании света в рабочей зоне. Как указано выше, недостаточная освещенность рабочей зоны оказывает негативное воздействие на зрительную систему.

Предусмотрены следующие нормы освещения при работе с ПК:

- Освещенность на поверхности стола в зоне размещения рабочего документа должна быть 300-500 лк. Освещение не должно создавать бликов на поверхности экрана. Освещенность поверхности экрана не должна быть более 300 лк.

- Следует ограничивать прямую блескость от источников освещения, при этом яркость светящихся поверхностей (окна, светильники и др.), находящихся в поле зрения, должна быть не более 200 кд/м<sup>2</sup>.

- Следует ограничивать неравномерность распределения яркости в поле зрения пользователя ПЭВМ, при этом соотношение яркости между рабочими поверхностями не должно превышать 3:1-5:1, а между рабочими поверхностями и поверхностями стен и оборудования 10:1.

Соблюдение данных требований способствует установлению светового баланса в рабочем помещении и минимизирует его воздействие на зрительный аппарат.

### **6.2.8. Электрический ток**

Источниками электрической опасности являются:

- оголенные части проводов или отсутствие изоляции;
- отсутствие заземления;
- замыкания;
- статическое напряжение.

От токоведущих частей электроустановок человека защищают изолирующие защитные средства. Они подразделяются на основные и дополнительные. Основными изолирующими средствами защиты

разрешается прикасаться к токоведущим частям электроустановок, имеющих рабочее напряжение до 1000 Вольт. В первую очередь, к таким защитным средствам относится слесарно-монтажный инструмент, снабженный изолирующими рукоятками – плоскогубцы, ножи, отвертки и т.п.

Электробезопасность работающего персонала и посторонних лиц должна обеспечиваться выполнением следующих мероприятий:

1. Соблюдение соответствующих расстояний до токоведущих частей;
2. Изоляция электропроводных частей;
3. Применение блокировки аппаратов и ограждающих устройств для предотвращения ошибочных операций и доступа к токоведущим частям;
4. Использование предупреждающей сигнализации, надписей и плакатов;
5. Применение устройств для снижения напряженности электрических и магнитных полей до допустимых значений;
6. Использование средств защиты и приспособлений.

#### **6.2.9. Пожарная безопасность**

Работа с персональными компьютерами связана с рисками возгорания электрического оборудования, в связи с чем в зданиях должны быть предусмотрены конструктивные, объемно-планировочные и инженернотехнические решения, обеспечивающие в случае пожара:

- возможность эвакуации людей независимо от их возраста и физического состояния наружу на прилегающую к зданию территорию (далее - наружу) до наступления угрозы их жизни и здоровью вследствие воздействия опасных факторов пожара;
- возможность спасения людей;
- возможность доступа личного состава пожарных подразделений и подачи средств пожаротушения к очагу пожара, а также проведения мероприятий по спасению людей и материальных ценностей;

- нераспространение пожара на рядом расположенные здания, в том числе при обрушении горящего здания;
- ограничение прямого и косвенного материального ущерба, включая содержимое здания и само здание, при экономически обоснованном соотношении величины ущерба и расходов на противопожарные мероприятия, пожарную охрану и ее техническое оснащение.

### **6.3 Экологическая безопасность**

Одной из важнейших проблем нефтедобывающей и нефтеперерабатывающей отраслей промышленности является проблема охраны производственной и окружающей среды.

В данном подразделе рассматривается характер воздействия проектируемого решения на окружающую среду. Выявляются предполагаемые источники загрязнения окружающей среды, возникающие в результате реализации предлагаемых в ВКР решений.

В данном разделе рассматривается характер воздействия проектируемого решения на окружающую среду. Поскольку, со стороны экологической безопасности, суть работы заключается в использовании персонального компьютера, принтера, бумаги и других материальных ресурсов (ручек, карандашей и т.д.), следовательно, основное влияние на экологическую безопасность оказывают процессы их утилизации. Так, бумажные отходы оказывают влияние на литосферу. Целесообразным решением вопроса утилизации бумаги является сбор макулатуры с целью вторичной переработки.

Одним из основных ресурсов, необходимым при выполнении работ являются различные источники света. Аудитория, в которой осуществлялась разработка технологической схемы оснащена люминесцентными лампами, которые, согласно Постановлению Правительства РФ от 3 сентября 2010 г. N 681 «Об утверждении Правил обращения с отходами производства и

потребления в части осветительных устройств, электрических ламп, ненадлежащие сбор, накопление, использование, обезвреживание, транспортирование и размещение которых может повлечь причинение вреда жизни, здоровью граждан, вреда животным, растениям и окружающей среде» необходимо утилизировать как ртутьсодержащие лампы.

Также значительное влияние на литосферу оказывает пластик, входящий в состав основных электронных устройств, используемых при выполнении работы.

Влияние проводимых работ на атмосферу и гидросферу минимально.

#### **6.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

Наиболее вероятной ЧС при работе с персональным компьютером является пожар, так как в современных ЭВМ очень высокая плотность размещения элементов электронных схем, в непосредственной близости друг от друга располагаются соединительные провода и кабели, при протекании по ним электрического тока выделяется значительное количество теплоты, при этом возможно нарушение изоляции и возникновение возгорания.

В связи с этим, помещения, на которых используется компьютерная техника, по пожарной опасности относятся к категории пожароопасных «В».

При пожаре люди должны покинуть помещение согласно плану эвакуации.

В помещениях с компьютерной техникой, недопустимо применение воды и пены ввиду опасности повреждения или полного выхода из строя дорогостоящего электронного оборудования, в связи с этим для тушения пожаров необходимо применять углекислотные и порошковые огнетушители, которые обладают высокой скоростью тушения, большим временем действия, возможностью тушения электроустановок, высокой эффективностью борьбы с огнем. Воду разрешено применять только во вспомогательных помещениях.

Рабочее помещение должно быть оборудовано пожарными извещателями, которые позволяют оповестить персонал о пожаре.

В качестве пожарных извещателей устанавливаются дымовые фотоэлектрические извещатели. Эти устройства характеризуются высокой скоростью и надежностью срабатывания и работают на принципе рассеяния частицами дыма теплового излучения.

При работе с персональным компьютером возникновение других видов ЧС – маловероятно.

**Вывод:** В данном разделе ВКР проведен анализ проекта с точки зрения социальной ответственности за моральные, общественные, экономические, экологические возможные негативные последствия. Работа была выполнена в соответствии с нормативными документами и требованиями.

## **Заключение**

В первой главе были рассмотрены физико-химические характеристики метанола. Рассмотрены теоретические основы синтеза метанола, а также влияние на протекание основных реакций таких параметров как температура и давление. Проведен обзор схем производств низкотемпературного синтеза метанола, а также влияние различных видов катализаторов на процесс. Рассмотрены конструкции современных реакторов синтеза. Исследовали сырье реакторного блока синтеза метанола и процесс разделения метанола сырца.

Вторая часть работы посвящена изучению характеристик объекта исследования. Рассмотрена установка синтеза метанола М-750, с которой были использованы проектные данные. Ознакомились с компьютерной программой моделирования синтеза метанола, с помощью которой была проведена основная работа исследования. Поставлены цели и задачи работы.

В ходе выполнения экспериментальной части проводилось исследование режимов работы аппарата синтеза метанола М-750. В ходе подбора сырья для повышения повышенного расхода метанола, что увеличение расхода сырья в реакторе ведет к постепенному увеличению расхода метанола. Рассматривая работу реактора при разных давлениях, выбрали установку, функционирующую при давлении 7,1 МПа. В сравнении с реактором, работающим при давлении 4,0 МПа, такая установка продемонстрировала меньший расход сырья (>10%). Разница расхода сырья между 7,1 и 8,1 незначительна, однако предпочтительней выбрать меньшее давление, из-за негативных последствий повышенного давления для системы в целом.

В ходе исследования профилей температур и концентраций метанола и воды в полученной смеси также пришли к выводу, что установка, работающая

при давлении 7,1МПа, лучше подходит для работы на повышенной производительности.

Отметили, что в ходе кратного увеличения расхода сырья расход метанола возрастает не пропорционально увеличению расхода синтез-газа. Это обусловлено уменьшением времени контакта сырья с катализатором. Определили, что переработка синтез-газа при 3044 тыс. нм<sup>3</sup>/ч больше 1% чем при 4300 тыс. нм<sup>3</sup>/ч. Кроме того профиль температур при расходе сырья 4300 тыс. нм<sup>3</sup>/ч начиная со второй полки показывал значения ниже 200 °С, что может привести к нарушению процесса образования метанола.

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 меньшую активность при расходе сырья 1000 тыс. нм<sup>3</sup>/ч, чем при мощности в 1522 и 2150 тыс. нм<sup>3</sup>/ч. 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.

Повышение спроса на метиловый спирт и продукты, получаемые из него, делают его одним из самых востребованных органическим соединением, выпускаемым химической промышленностью. Все это вызывает необходимость повышения объемов его производства, делая исследования в направлении повышения производительности и улучшения технологий его получения 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. «BusinesStat» готовые обзоры рынков: «Анализ рынка метанола в России в 2014-2018 гг., прогноз на 2019-2023 гг.».
3. Тимофеев В.С., Серафимов Л.А. Принципы технологии основного органического и нефтехимического синтеза. – Москва: высшая школа, 2003. – 534 с.
4. Кузнецов В.Д., Шуб В.С., Темкин М.И. Кинетика синтеза метанола и гидролиза метанола на медьсодержащем катализаторе. 65 (1.Экспериментальные результаты) // Кинетика и катализ. – 1984. – Т. 25. – №3. – С. 606–613. 6.
5. Новиков А.А. Прикладная кинетика процессов на основе синтез-газа. – Томск: Изд-во Том. ун-та, – 2001. – 156 с.
6. Шуб В.С., Кузнецов В.Д., Иванова Р.А., Снаговский Ю.С., Темкин М.И. Кинетика синтеза метанола на медьсодержащем катализаторе // Кинетика и катализ. – 1985. – Т. 26. – №2. – С. 349–355.
7. Караваяев М.М., Леонов В.Е., Попов И.Г., Шепелев Е.Т. Технология синтетического метанола. – М.:Химия, 1984.
8. Рабочая инструкция № 39-01-р2, аппаратчику синтеза метанола 6, 5, 4 разряда отделения синтеза и перегонки производства метанола.
9. Мещеряков Г.В., Комиссаров Ю.А. Энергосберегающие схемы синтеза метанола // Вестник Казанского технологического университета. 2011. №9. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/energoberegayuschie-shemy-sinteza-metanola>, (дата обращения: 01.06.2023).
10. Ермолаева В.А., Захаричева А.А., Моделирование технологического процесса производства метанола // Московский экономический журнал №1.

2022. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/modelirovanie-tehnologicheskogo-protsessa-proizvodstva-metanola>, (дата обращения: 01.06.2022).

11. Сазонов И.В. Катализаторы синтеза метанола. // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 2010. - №2. – с. 117 – 122.

12. Чернышев А.К. Метанол: свойства, производство, применение / А. К. Чернышев [и др.] ; Инфохим . — Москва : Инфохим , 2011 т. 1 — 2011. — 411 с.

13. Катализаторы синтеза метанола [Электронный ресурс]: – Режим доступа: <https://msd.com.ua/tehnologiya-katalizatorov/katalizatory-sinteza-metanola/>, (дата обращения: 01.06.2022).

14. Обзор современных катализаторов метанола [Электронный ресурс]: – Режим доступа: [https://www.newchemistry.ru/letter.php?n\\_id=883](https://www.newchemistry.ru/letter.php?n_id=883), (дата обращения: 01.06.2022).

15. Розовский А.Я., Лин Г.И. Теоретические основы процесса синтеза метанола. – М.:Химия, 1990. – 272 с.

16. Реакторы для синтеза метанола [Электронный ресурс]: – Режим доступа: <https://studfile.net/preview/7752032/page:2/>, (дата обращения: 01.06.2022).

17. Хазеев А.А., Черепанова М.В. Модернизация стадии синтеза в производстве метанола // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Химическая технология и биотехнология. 2020. – 135с.

18. Гимаева А.Р., Хасанов И.И. Обзор реакторов синтеза метанола и их характеристик // Нефтегазохимия. 2019. 28с.

19. Маркетинг: целевые рынки [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.e-biblio.ru/xbook/new/xbook307/book/part-004/page.htm> (дата обращения 22.03.2023).

20. Сегментирование [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://activetraffic-ru.turbopages.org/s/activetraffic.ru/wiki/segmentirovanie/> (дата обращения 06.04.2023).

21. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: учебно-методическое пособие / И.Г. Видяев, Г.Н. Сери, Н.А. Гаврикова, Н.В. Шаповалова, Л.Р.Тухватулина, З.В. Криницына; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014 – 36 с. 101

22. Федеральный закон от 17.07.1999 N 181-ФЗ "Об основах охраны труда в Российской Федерации" // Собрание законодательства РФ.

23. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы (с изменениями на 21 июня 2016 года). - М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2003. – 56с.

24. ГОСТ 12.0.003-2015 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Опасные и вредные производственные факторы. Классификация. - М.: ИПК Издательство стандартов, 2017. – 16 с.

25. ТОИ Р-45-084-01 «Типовая инструкция по охране труда при работе на ПК» от 02.07.2001 N 162.

26. СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. - М.: Информационно-издательский центр Минздрава России, 1997. – 20с

27. ГОСТ 12.1.038-82. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов (с Изменением N 1). - М.: ИПК Издательство стандартов, 2001. - 7с.

28. ГОСТ 12.1.003-2014. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Шум. Общие требования безопасности. - М.: Стандартинформ, 2015. – 28с.
29. СНиП 23-05-95\*. Естественное и искусственное освещение (с Изменением N 1). - М.: Госстрой России, ГУП ЦПП, 2003. – 107с.
30. СНиП 21-01-97\*. Пожарная безопасность зданий и сооружений (с Изменениями N 1, 2). - М.: ГУП ЦПП, 2002. – 38с.
31. Федеральный закон от 28.12.2013 N 426-ФЗ "О специальной оценке условий труда" // Собрание законодательства РФ.