

Инженерная школа природных ресурсов _____
 Направление подготовки 18.04.01 Химическая технология _____
 ООП_Химическая технология топлива и газа _____
 Отделение химической инженерии _____

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА МАГИСТРАНТА

Тема работы
Моделирование схемы разделения метанола-сырца

УДК 661.721.048.3

Обучающийся:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2ДМ12	Бальжитов Дашанима Баясхаланович		

Руководитель ВКР

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

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Креницина Зоя Васильевна	к.т.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

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

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Ивашкина Е.Н.	д.т.н.		

Томск – 2023 г.

Результаты освоения ООП

Код компетенции	Наименование компетенции
Универсальные компетенции	
УК(У)-1	Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, выработать стратегию действий
УК(У)-2	Способен управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла
УК(У)-3	Способен организовывать и руководить работой команды, выработывая командную стратегию для достижения поставленной цели
УК(У)-4	Способен применять современные коммуникативные технологии, в том числе на иностранном (-ых) языке (-ах), для академического и профессионального взаимодействия
УК(У)-5	Способен анализировать и учитывать разнообразие культур в процессе межкультурного взаимодействия
УК(У)-6	Способен определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки
Общепрофессиональные компетенции	
ОПК(У)-1	Способен организовывать самостоятельную и коллективную научно-исследовательскую работу, разрабатывать планы и программы проведения научных исследований и технических разработок
ОПК(У)-2	Способен использовать современные приборы и методики, организовывать проведение экспериментов и испытаний, проводить их обработку и анализировать их результаты
ОПК(У)-3	Способен разрабатывать нормы выработки, технологические нормативы на расход материалов, заготовок, топлива и электроэнергии, контролировать параметры технологического процесса, выбирать оборудование и технологическую оснастку
ОПК(У)-4	Способен находить оптимальные решения при создании продукции с учетом требований качества, надежности и стоимости, а также сроков исполнения, безопасности жизнедеятельности и экологической чистоты
Профессиональные компетенции	
ПК(У)-1	Способен к совершенствованию технологического процесса — разработке мероприятий по комплексному использованию сырья, по замене дефицитных материалов и изысканию способов утилизации отходов производства
ПК(У)-2	Способен оценивать эффективность новых технологий, модернизировать существующие технологии и внедрять технические решения в производство
ПК(У)-3	Способен осуществлять экспертный анализ технологий и управление технологическими процессами промысловой подготовки и переработки нефти и газа
ПК(У)-4	Способен проводить аналитический и метрологический контроль производства для обеспечения качества и безопасности выпускаемой продукции, хода технологического процесса, охраны окружающей среды
ПК(У)-5	Способен осуществлять выбор и эксплуатацию технологического оборудования для подготовки и переработки нефти и газа
ПК(У)-6	Способен использовать пакеты прикладных программ при мониторинге действующего процесса, выполнении проектных и/или исследовательских работ



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

Инженерная школа природных ресурсов

Направление подготовки: 18.04.01 «Химическая технология»

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель ООП

(Подпись)

(Дата)

Ивашкина Е.Н.
(Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ на выполнение выпускной квалификационной работы

Обучающийся:

Группа	ФИО
2ДМ12	Бальжитов Дашанима Баясхаланович

Тема работы:

Моделирование схемы разделения метанола-сырца	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	30-97/с от 30.01.2023 г.

Срок сдачи обучающимся выполненной работы:	22 мая 2023 г.
--	----------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к функционированию (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.)</i>	Данные для расчета материальных балансов установок производства метанола и разделения метанола-сырца на моделирующей программе синтеза метанола и в системе Unisim Design.									
	Таблица 1. Технологические параметры для расчета на программе									
	№	Параметр							Значение	
	1	Расход метанола с 2 реакторов, млн. т/год							не менее 1,4	
	2	Расход газа на 1 реактор, тыс. нм ³ /час							подобрать	
	3	Температура сырья на 1-ую полку, °С							210-250	
	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 пополочном расчете), °С, не более							280-290	
8	Фонд рабочего времени, сут.							344		
Таблица 2. Состав циркуляционного газа для расчета на программе										
Вещество	CO	CO ₂	H ₂	N ₂	CH ₄	Диметиловый эфир	H ₂ O	Метанол		

	Содержание вещества, мольн. %	3	2	82,4	0,9	10,9	0,012	0,07	0,5
<p>Перечень разделов пояснительной записки подлежащих исследованию, проектированию и разработке <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"> 1) Введение. Производство метанола в России и в мире. 2) Физико-химические закономерности синтеза метанола. 3) Катализаторы синтеза метанола. 4) Современные технологические схемы синтеза метанола. Технологическая схема установки синтеза метанола М-750. 5) Ректификация метанола-сырца. Состав метанола-сырца. Технологические схемы ректификации метанола-сырца, полученного при низкотемпературном синтезе; аппаратное оформление. 6) Цели и задачи работы. 7) Характеристика компьютерной программы моделирования синтеза метанола, разработанной в ТПУ. Математическая модель синтеза метанола. 8) Характеристика компьютерной программы для составления инженерных моделей установок нефтегазопереработки — Aspen Hysys / UniSim Design R470. 9) Повышение производительности реакторного блока синтеза метанола: результаты моделирования реактора на компьютерной программе ТПУ. 10) Составление инженерной модели реакторного блока синтеза метанола в Aspen Hysys / UniSim Design. Материальный баланс установки. 11) Оценка энергозатрат при работе установке в режиме повышенной производительности. 12) Составление инженерной модели установки разделения метанола-сырца в Aspen Hysys / UniSim Design. Материальный баланс установки. 13) Оценка работы массообменных устройств установки разделения метанола-сырца при повышенной производительности. 14) Обсуждение результатов. 15) Раздел «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение». 16) Раздел «Социальная ответственность». 17) Заключение (выводы). 18) Приложение А. Раздел на иностранном языке. 								
<p>Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> 1) Технологическая схема синтеза метанола на низкотемпературном катализаторе (агрегат М-750 или аналог). 2) Технологическая схема разделения метанола-сырца, полученного при низкотемпературном синтезе (на агрегате М-750 или аналогичном). 3) Результаты моделирования реакторов на компьютерной программе ТПУ при повышении производительности установки, таблица. 4) Технологическая схема реакторного блока синтеза метанола, составленная в Aspen Hysys / UniSim Design. 5) Материальный баланс блока синтеза метанола, оцененный по инженерной модели Aspen Hysys, таблица. 6) Технологическая схема установки разделения метанола-сырца, составленная в Aspen Hysys / UniSim Design. 7) Сравнение режимов работы массообменных устройств установки разделения метанола-сырца при варьировании производительности. 								
<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i></p>									
Раздел	Консультант								
«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	Креницына З.В. к.т.н., доцент, отделение социально-гуманитарных наук ШБИП ТПУ								
«Социальная ответственность»	Сечин А.А., к.т.н., доцент, отделение общетехнических дисциплин ШБИП ТПУ								
Раздел на английском языке	Уткина А.Н., к.ф.н., доцент, отделение иностранных языков, ШБИП, ТПУ								
<p>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</p>									

Современные технологические схемы синтеза метанола

Дата выдачи задания на выполнение выпускной
квалификационной работы по линейному графику

30 января 2023 г.

Задание выдал руководитель / консультант (при наличии):

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

Задание принял к исполнению обучающийся:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2ДМ12	Бальжитов Дашанима Баясхаланович		



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

Инженерная школа природных ресурсов

Направление подготовки: 18.04.01 «Химическая технология»

ООП: Химическая технология топлива и газа

Уровень образования — магистратура

Отделение химической инженерии

Период выполнения — весенний семестр 2022/2023 учебного года

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

Обучающийся:

Группа	ФИО
2ДМ12	Бальжитов Дашанима Баясхаланович

Тема работы:

Моделирование схемы разделения метанола-сырца
--

Срок сдачи обучающимся выполненной работы:	22 мая 2023 г.
--	-----------------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
18.02.2023 г.	Введение. Производство метанола в России и в мире.	10
15.03.2023 г.	Физико-химические закономерности синтеза метанола. Катализаторы синтеза метанола. Современные технологические схемы синтеза метанола. Технологическая схема установки синтеза метанола М-750. Ректификация метанола-сырца. Состав метанола-сырца. Технологические схемы ректификации метанола-сырца, полученного при низкотемпературном синтезе; аппаратное оформление.	20
01.04.2023 г.	Цели и задачи работы. Характеристика компьютерной программы моделирования синтеза метанола, разработанной в ТПУ. Математическая модель синтеза метанола. Характеристика компьютерной программы для составления инженерных моделей установок нефтегазопереработки — Aspen Hysys / UniSim Design R470.	10
05.05.2023 г.	Повышение производительности реакторного блока синтеза метанола: результаты моделирования реактора на компьютерной программе ТПУ. Составление инженерной модели реакторного блока синтеза метанола в Aspen Hysys / UniSim Design. Материальный баланс установки. Оценка энергозатрат при работе установке в режиме повышенной производительности. Составление инженерной модели установки разделения метанола-сырца в Aspen Hysys / UniSim Design. Материальный баланс установки. Оценка работы массообменных устройств установки разделения метанола-сырца при повышенной производительности. Обсуждение результатов.	50

19.05.2023 г.	Раздел «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение». Раздел «Социальная ответственность». Раздел на иностранном языке. Заключение (выводы).	10
---------------	--	----

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

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

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП

Руководитель ОП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Ивашкина Е.Н.	Д.Т.Н.		

Обучающийся

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2ДМ12	Бальжитов Дашанима Баясхаланович		

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

Студенту:

Группа	ФИО
2ДМ12	Бальжитову Дашаниме Баясхалановичу

Школа	Инженерная школа природных ресурсов	Отделение школы (НОЦ)	Отделение химической инженерии
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	18.04.01 Химическая технология

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

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	<i>Бюджет проекта – не более 350000 руб., в т.ч. затраты по оплате труда – не более 200000 руб.</i>
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	<i>Значение показателя интегральной ресурсоэффективности – не менее 4 баллов из 5</i>
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	<i>В соответствии с налоговым кодексом Российской Федерации. Отчисления во внебюджетные фонды – 30.0 %</i>

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	<i>Анализ потенциальных потребителей, анализ конкурентных технических решений, оценка готовности проекта к коммерциализации</i>
2. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	<i>Определение этапов работ; определение трудоемкости работ; разработка графика Ганта Определение затрат на проектирование (смета затрат)</i>
3. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	<i>Оценка эффективности проекта</i>

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

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Креницына Зоя Васильевна	к.т.н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2ДМ12	Бальжитов Дашаниме Баясхаланович		

«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа 2ДМ12	ФИО Бальжитов Дашанима Баясхаланович
-----------------	---

Школа	Инженерная школа природных ресурсов	Отделение (НОЦ)	ОХИ
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	18.04.01 «Химическая технология»

Тема ВКР:

Моделирование схемы разделения метанола сырца	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объектом исследования является установка синтеза метанола М – 750. Область применения: предприятия синтеза метанола. Рабочая зона: 133 аудитория 2 корпуса отделения химической инженерии Томского политехнического университета.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:	Рассмотреть специальные правовые нормы трудового законодательства; Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны; Обеспечение безопасности на рабочем месте.
2. Производственная безопасность:	Анализ потенциально возможных вредных и опасных факторов проектируемой производственной среды. Разработка мероприятий по снижению воздействия вредных и опасных факторов: – Неудовлетворительный микроклимат; – Повышенный уровень шума; – Перегрузка зрительного аппарата; – Недостаточная освещенность рабочей зоны; – Электрический ток; – выводы на соответствие допустимым условиям труда согласно специальной оценке условий труда
3. Экологическая безопасность:	– анализ воздействия объекта на атмосферу, гидросферу и литосферу. – решение по обеспечению экологической безопасности.
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	– Анализ возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения; – Выбор наиболее типичной ЧС; – Разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; – Разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий. – Пожаровзрывоопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения)

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ООД ШБИП ТПУ	Сечин Андрей Александрович	К.Т.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2ДМ12	Бальжитов Дашанима Баясхаланович		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 94 страницы, 12 рисунков, 36 таблиц, 24 источника.

Ключевые слова: метанол, математическая модель, моделирование, синтез-газ, катализатор.

Объектом исследования является установка синтеза метанола М–750.

Цель работы – исследование режимов работы схемы разделения метанола-сырца на агрегате синтеза метанола М–750 ООО «Газпром Метанол», в ходе повышения производительности установки до 1,5 млн. т/год с применением инженерной модели действующей установки разделения метанола-сырца, разработанной в специализированной программе для расчета химико-технологических систем Honeywell UniSim Design 460.

Область применения: результаты работы могут быть использованы на предприятиях низкотемпературного синтеза метанола.

Оглавление	
ВВЕДЕНИЕ	15
1 ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА МЕТАНОЛА	18
1.1 Механизм образования метанола.....	18
1.2 Термодинамика синтеза	19
1.3 Катализаторы синтеза.....	20
1.3.1 Катализаторы фирмы «Johnson Matthey Catalysts».....	21
1.3.2 Катализаторы фирмы «Sud-Chemie» AG	22
1.3.3 Катализаторы фирмы «Haldor Topsoe»	23
1.3.4 Производство катализаторов синтеза метанола в СНГ	24
1.4 Дезактивация катализаторов синтеза метанола.....	25
1.5 Технологические схемы синтеза метанола	26
1.6 Ректификация метанола-сырца.	31
2 МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	36
2.1 Характеристика компьютерной программы моделирования синтеза метанола	36
2.2 Характеристика компьютерной программы для расчета жидкофазного равновесия – UniSim Design.....	40
3 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ	41
3.1 Определение материального баланса низкотемпературного реактора синтеза метанола при повышенной производительности.	42
3.2 Составление UniSim-модели реакторного блока синтеза метанола.....	44
3.3 Составление UniSim-модели установки ректификационного разделения метанола-сырца.	47
3.4 Гидравлический и поверочный расчет ректификационных колонн	48

3.5	Определение материального баланса установки разделения метанола-сырца в условиях повышенной производительности.....	50
4	ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ.....	53
4.1	Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	53
4.1.1	Потенциальные потребители результатов исследования	53
4.1.2	Анализ конкурентных технически решений	54
4.1.3	SWOT-анализ.....	56
4.2	Определение возможных альтернатив при проведении исследований.....	59
4.3	Планирование проекта.....	59
4.3.1	Структура работ в рамках научного исследования	59
4.3.2	Определение трудоемкости выполнения работ и разработка графика проведения	61
4.4	Бюджет исследования.....	65
4.4.1	Расчет материальных затрат	65
4.4.2	Расчет затрат на специальное оборудование	66
4.4.3	Основная заработная плата исполнителей темы.....	67
4.4.4	Дополнительная заработная плата исполнителей темы.....	69
4.4.5	Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)	69
4.4.6	Накладные расходы.....	70
4.4.7	Формирование бюджета исследовательского проекта.....	70
4.5	Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.....	71
5	СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ.....	74

5.1	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	74
5.1.1	Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны	76
5.2	Производственная безопасность	77
5.2.1	Анализ потенциально возможных и опасных факторов, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований.....	77
5.2.2	Разработка мероприятий по снижению воздействия вредных и опасных факторов.....	79
5.2.3	Расчет системы воздухообмена.....	82
5.3	Экологическая безопасность	83
5.3.1	Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду.....	83
5.3.2	Анализ влияния процесса исследования на окружающую среду.....	84
5.4	Безопасность в чрезвычайных ситуациях	85
5.4.1	Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований и обоснование мероприятий по предотвращению ЧС.....	85
5.4.2	Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть при проведении исследований и обоснование мероприятий по предотвращению ЧС.....	87
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ	90
	СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	91
	Приложение А	94

ВВЕДЕНИЕ

Метанол является одним из базовых продуктов химической промышленности и применяется в различных областях. Основное количество метанола расходуется на получение формальдегида. Метанол используют также в качестве растворителя и экстрагента, в энергетических целях как компонент моторных топлив и для синтеза метил-трет-бутилового эфира – высокооктановой добавки к топливу. В последнее время наметились новые перспективные направления использования метанола, такие как производство уксусной кислоты, очистка сточных вод, производство синтетического протеина, конверсия в углеводороды с целью получения топлива.

На протяжении последних трех лет в России наблюдается подъем производства метанола. В 2022 г. в России было произведено 4,46 млн тонн метанола, что составляет примерно 5% от мирового объема производства [1]. На рисунке 1 представлена динамика структуры потребления метанола по основным направлениям.

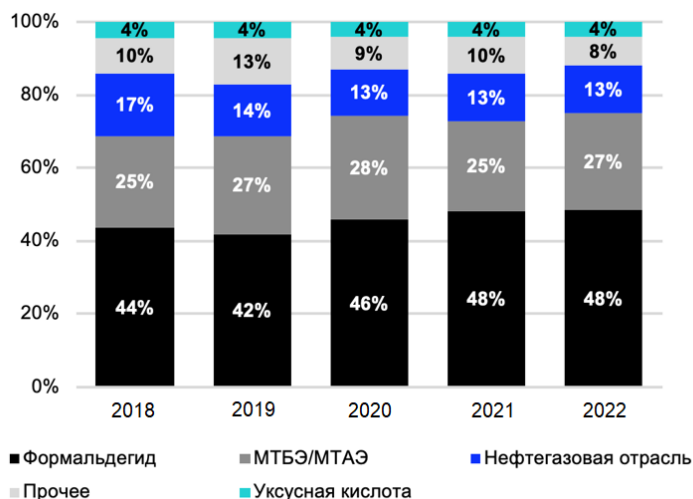


Рисунок 1 – Динамика структуры потребления метанола в России [1].

Сырьем для производства метанола главным образом является природный газ (преимущественно, метан). Также известны, но менее распространены схемы использования отходов нефтепереработки, коксующихся углей как сырья для получения синтез-газа. Существуют проекты по получению метанола из растительной и животной биомассы

(шелухи зерен и семечек, сухих листьев, навоза, помета), а также из органического мусора.

На мировом рынке метанола на сегодняшний день представлено более 90 компаний. На рисунке 2 представлены крупнейшие российские производители метанола в 2022 году: «Метафракс», «Сибметахим», «Томет», «Щекиноазот» и другие.

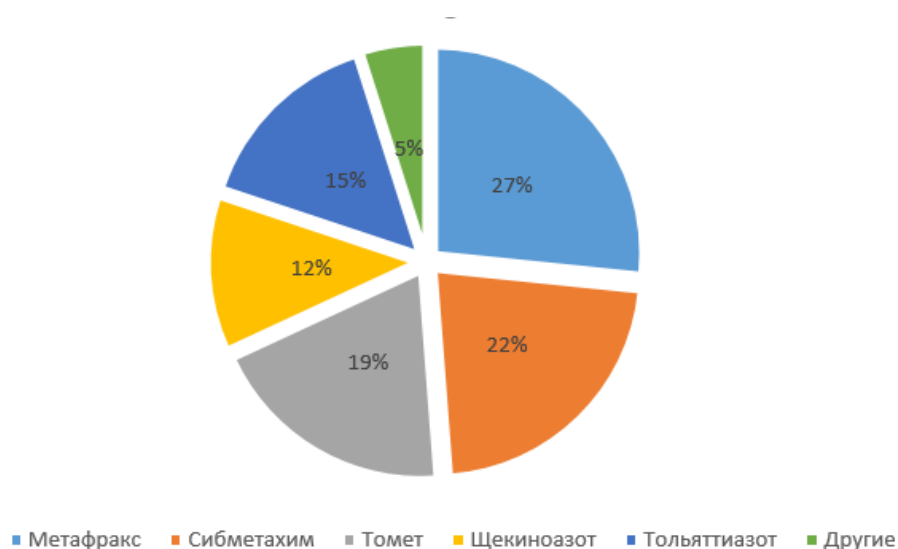


Рисунок 2 - Структура производства метанола в России [1].

Суммарная мощность производств метанола в мире оценивается на уровне 125 млн тонн в год, мощности 10 ведущих мировых производителей метанола составляют 40% от совокупной мировой эффективной мощности (2022 год) [2]:

Таблица 1 – Ведущие мировые производители метанола

№	Компания	Регионы присутствия	Мощность, тыс. т	Сырье
1	Methanex	США, Чили, Египет, Канада	9380	Газ
2	Yankuang Group	Китай	9000	Уголь
3	PETRONAS	АТР	7800	Газ
4	Mitsubishi Gas Chemical	Саудовская Аравия, Венесуэла, Бруней	7300	Газ
5	Methanol Holdings	Тринидад	4100	Газ
6	Zhongtian Synergetic Energy	Китай	3600	Уголь
7	Zagros Petrochemical	Иран	3300	Газ
8	OCI NV	США	1800	Газ

9	CNCEC	Китай	1800	Уголь
10	China Petroleum	Китай	1800	Уголь

За 2016-2020 годы средняя мировая цена импорта метанола снизилась на 17,5% [3]: с 386,0 до 318,4 долларов за тонну. В 2016-2017 значение показателей сократилось из-за падения цены на нефть в эти годы. Цены на метанол тесно связаны с ценами на нефть, так как значительная часть спроса на метанол обусловлена спросом на топливо, особенно в Китае, крупнейшем потребителем и производителем метанола в мире [3].

Рост мирового спроса на метанол обусловлен ростом спроса на основные химические соединения, получаемые из метанола, и появлением новых направлений его использования. В связи с этим создание новых и увеличение мощностей существующих установок метанола является ключевым направлением в области математического моделирования данного процесса.

Целью данной работы является исследование режимов работы схемы разделения метанола-сырца на агрегате синтеза ООО «Газпром Метанол» М – 750, в ходе повышения производительности установки до 1,5 млн. т/год с применением инженерной модели действующей ректификационной колонны разделения метанола-сырца и специализированной программы для расчета газожидкостного равновесия.

Для достижения данной цели были проведены расчеты на компьютерной программе процесса синтеза метанола и исследованы:

- 1) Зависимость увеличения расхода метанола при увеличении давления и расхода сырья в реактор синтеза метанола.
- 2) Расчет расхода оборотной воды для обеспечения работы ректификационных колонн разделения метанола при повышенной производительности.
- 3) Расчет мощности компрессоров, требуемой для обеспечения нужного расхода метанола.

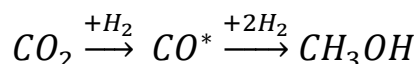
1 ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА МЕТАНОЛА

В данном разделе будет рассмотрен механизм образования метанола, термодинамика синтеза, кинетика реакций и катализаторы, которые используются при производстве метанола.

1.1 Механизм образования метанола

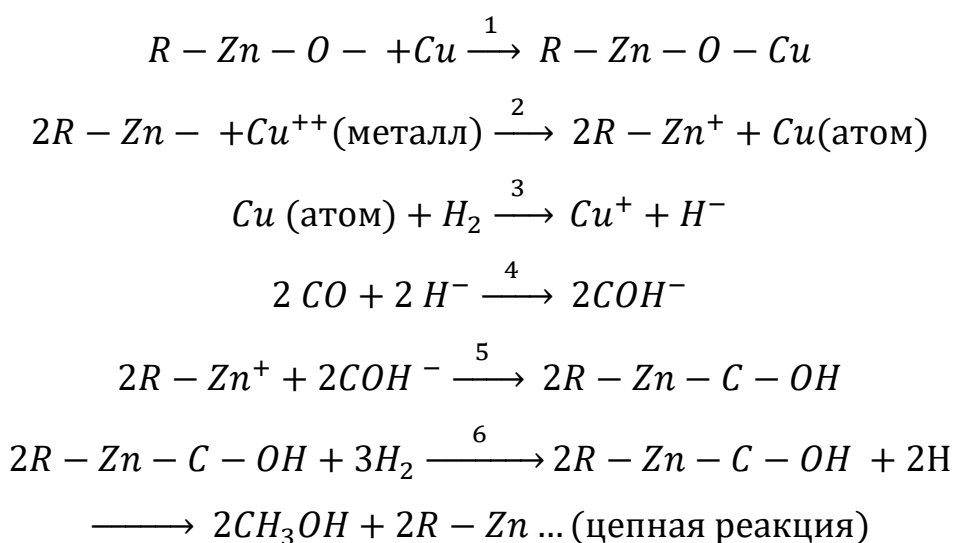
Синтез метанола – сложный гетерогенно–каталитический процесс, сопровождающийся образованием побочных продуктов по последовательным и параллельным стадиям реакции. Под воздействием примесей в исходном газе и состава реакционной среды катализатор со временем меняет химический состав и стимулирует развитие качественно новых процессов.

При изучении образования метанола из H_2 и CO_2 на медь – алюминиевом катализаторе экспериментально доказали, что образование метанола из диоксида углерода и водорода протекает по последовательному механизму [4]:



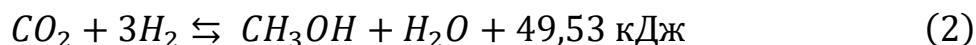
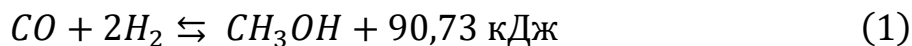
т.е. свойственному для синтеза на цинк – хромовом катализаторе.

Диоксид углерода участвует также в фазовых превращениях на поверхности катализатора. Например, на цинк-медном катализаторе синтез может быть описан следующими стадиями:



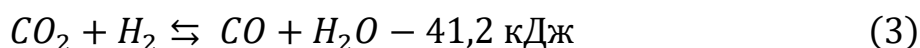
Согласно стадии 3, атомарная медь, содержащая в катализаторе, активирует водород – при образовании гидроксида меди водород диссоциирует на атомы и хемосорбируется на поверхности контакта.

1.2 Термодинамика синтеза



Основные реакции образования метанола – взаимодействие оксида углерода и диоксида углерода с водородом (реакция 1 и 2) – реакции обратимые и экзотермические [4]:

Тепловой эффект реакции взаимодействия оксида углерода и водорода незначительно возрастает с повышением температуры [5]. Кроме этих реакций, при синтезе метанола протекает и эндотермическая обратимая реакция взаимодействия диоксида углерода и водорода – реакция 3.



Экспериментальное определение константы равновесия реакции взаимодействия оксида углерода и водорода, приводило к значительным погрешностям. Хорошее совпадение с экспериментальными данными дает уравнение [5]:

$$\lg K_p = \frac{3748,7}{T} - 9,2833 \cdot \lg T + 3,1475 \cdot 10^{-3} \cdot T - 4,2613 \cdot 10^{-7} \cdot T^2 + 13,8144$$

С повышением температуры равновесная концентрация метанола снижается, в условиях низкотемпературного синтеза (9,8 и 29,4 МПа) равновесная концентрация снижается соответственно в 54 и 6 раз, а воды напротив, увеличивается в 5 и 2 раза [4]. При этих же условиях содержание диоксида углерода в равновесной смеси снижается, а оксида углерода повышается. Степень превращения оксидов углерода и водорода с повышением температуры снижается.

Повышение давления способствует более глубокой переработке оксидов углеродов, особенно CO, что следует из стехиометрии реакции 1 и 3, синтез

метанола протекает с уменьшением объема, а восстановление углерода – без его изменения [4].

В практических условиях, исходя из применяемого исходного сырья технологических предпосылок, технико-экономических соображений и требований к качеству метанола параметры процесса синтеза устанавливаются для каждого конкретного случая. Причем требования, обоснованные с точки зрения термодинамики процесса, могут оказаться не приемлемы для практики.

1.3 Катализаторы синтеза

Интенсификация производства метанола, создание крупных однолинейных установок и повышение качества товарного продукта во многом определяются активностью, селективностью и термостойкостью применяемых катализаторов.

В связи с изменением сырьевой базы (переход на природный газ), совершенствованием методов очистки газа и развитием техники в ряде стран используют цинк-медь-алюминиевые и цинк-медные катализаторы. Катализаторы, имеющие в своем составе медь, более активны, чем цинкхромовые, причем максимальная активность их наблюдается при 220—260 °С. В силу этой особенности катализаторы на основе меди обычно называют низкотемпературными. Высокая активность их при низких температурах позволяет проводить процесс при давлении ниже 20 МПа, что значительно упрощает аппаратное оформление. Развитие способов очистки сыграло важную роль в вытеснении цинкхромовых катализаторов катализаторами второго поколения, в основе которых используются медьсодержащие системы. Поэтому еще в 60-х годах прошлого столетия после появления разработок фирмы ICI практически все вновь вводимые установки получения метанола работали при низком давлении на медьсодержащих катализаторах, что позволило уменьшить концентрации побочных продуктов и улучшить качество метанола-сырца [6].

В настоящее время в промышленности используются низкотемпературные катализаторы синтеза метанола (цинк – медь –

алюминиевые, цинк – хром – медные и другие медьсодержащие контакты). Их производство включают две основные стадии: приготовление контактной массы и восстановление ее до активного состояния.

Снижение температуры синтеза метанола способствует повышению равновесных выходов метанола, увеличению селективности процесса и позволяет проводить его при пониженных давлениях. Установлено, что значительного снижения температуры в реакции синтеза метанола можно достичь в присутствии катализаторов на основе меди с композицией ее с цинком, алюминием, хромом, марганцем, натрием и другими элементами [5].

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

Рассмотрим актуальные низкотемпературные катализаторы перечисленных выше производителей.

1.3.1 Катализаторы фирмы «Johnson Matthey Catalysts»

Катализаторы компании «Johnson Matthey» серии «Katalco–51» нашли широкое применения в мировой практике синтеза метанола. В состав таких катализаторов помимо обычного носителя $ZnO-Al_2O_3$ входит и оксид магния (MgO), который способствует распределению и закреплению атомов меди на поверхности катализатора. Таким образом, катализаторы серии «Katalco–51» имеют повышенную активность на последних этапах своей службы.

Например, на действующей установке мощностью 2000 тонн в сутки после 4-х лет использования катализатора, его активность была повышена на 25%. На последних этапах эксплуатации, по сравнению с большинством других существующих катализаторов, производительность на этом катализаторе выше примерно на 3,5% [6].

Катализаторы фирмы «Johnson Matthey» активно применяются на 3-х крупнейших российских производствах метанола - ОАО «Метанол» (Томск),

ОАО «Метафракс» (Губаха), ОАО «Тольяттиазот». Также катализаторы применялись на ПАО «Акрон» (Новгород).

1.3.2 Катализаторы фирмы «Sud-Chemie» AG

Катализаторы фирмы «Sud-Chemie» AG характеризуются лучшей селективностью, длительным сроком службы, наилучшими эксплуатационными показателями. Не так давно был разработан новый катализатор С 79–7 GL, сочетающий в себе длительный срок службы с высокой активностью (до 7 лет) и высокую селективность. Ниже представлены результаты его эксплуатации на заводе в Аль-Джубраиле. (рисунок 3).

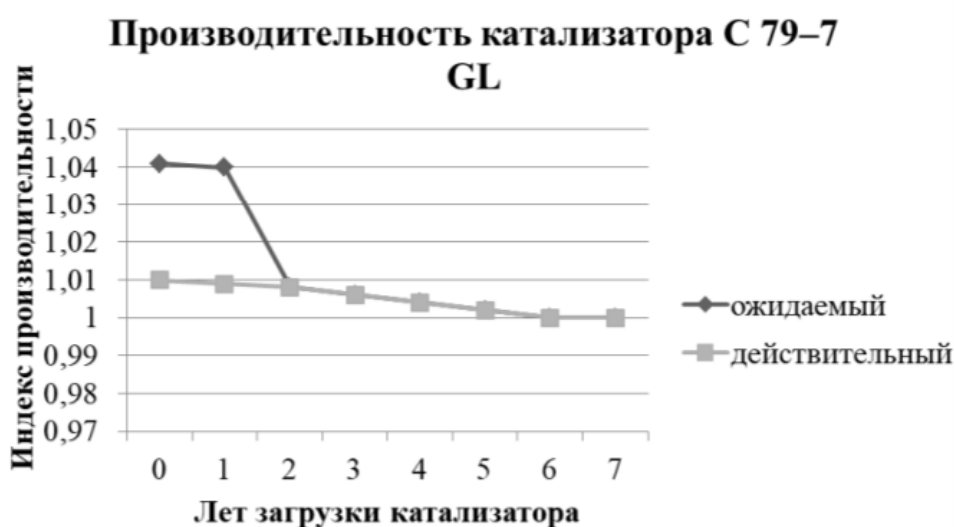


Рисунок 3 – Характеристики работы катализатора С 79–7 GL [6].

На рисунке 3 сравнивается прогнозируемый индекс производительности метанола с действительным. Снижение индекса производительности объяснялось главным образом колебаниями в составе исходного газа, которые сглаживались с повышением содержания инертных компонентов. Прогнозируемая эффективность в данном случае очень хорошая: 95% на 7 лет. Обычно ресурс стойкости катализаторов метанола варьируются между 4 и 6 годами.

При синтезе метанола образуется некоторое количество побочных продуктов, главные из которых – этанол, высшие спирты и ацетон. В данном отношении катализатор значительно превзошел прогнозы.

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

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

1.3.3 Катализаторы фирмы «Haldor Topsoe»

Компанией были разработаны и выпущены катализатор синтеза метанола МК–101 (1984 г.) и более новый и совершенный катализатор МК–121 (1999 г.) [6].

Катализатор МК–101 имеет высокую и стабильную каталитическую активность, что обеспечивает оптимальную эффективность использования углеводородного сырья. Он также обладает высокой селективностью. Рекомендуемый диапазон рабочих температур для него составляет 205 – 310°C. Возможно также кратковременное воздействие высоких температур вплоть до 350°C. Катализатор разработан для рабочих давлений 4 – 12 МПа, но ими не ограничен.

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

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

1.3.4 Производство катализаторов синтеза метанола в СНГ

В странах СНГ существует по крайней мере три производства катализаторов синтеза метанола. Самое крупное из них располагается в Украине на Северодонецком ГПП «Объединения Азот», где выпускали цинкхромовые катализаторы СМС–4 (Северодонецкий метанольный среднетемпературный) и медь-цинк-хромовые катализаторы СМС–5. Катализатор СМС–4 цинк–хромовый, $ZnCr_2O_3 \cdot 3ZnO$, негорючий темнозеленый порошок. Химический состав: 65% ZnO, 31% Cr₂O₃, 1% H₂O, 3% графит.

Катализатор СМС–4 выпускается в невосстановленном или восстановленном виде в форме цилиндрических таблеток.

На Чирчикском ПО «Электрохимпром» (Узбекистан) производили медь-цинк-алюминиевые катализаторы соосажденно–смешанного типа СНМ–1 (Северодонецкий низкотемпературный метанольный). Химический состав невосстановленного образца следующий: 52 – 54% CuO, 26 – 28% ZnO, 5 – 6% Al₂O₃, насыпная масса 1,3 – 1,5 кг/м³, удельная поверхность 80 – 90 м²/г, пористость ~ 50% [6].

На заводе Новомосковского НИАП (Россия, Тульская обл.) выпускали медьцинкхромалюминиевые катализаторы ДВ–8–1 и ДВ–8–2. Этот тип катализаторов уже не производится.

Данные типы катализаторов были ориентированы по большей части на высокотемпературные производства, число которых стремительно уменьшалось, т.к. полученный высокотемпературным синтезом метанол был плохого качества.

Спустя время на заводе Новомосковского НИАП началось производство катализаторов СНМ–У (Северодонецкий низкотемпературный метанольный универсальный), которые не уступали западным катализаторам в активности, селективности и цене. Его активно используют на заводах в Северодонецке, Щекино, Новомосковске, Гродно и на установке компании «АХЕМА» в Литве.

Это единственный отечественный катализатор синтеза метанола, имеющий перспективы на рынке СНГ.

В заключение можно сказать, что все перечисленные катализаторы имеют свои плюсы и минусы. Однако, наиболее рациональным в использовании, а также распространенным катализатором является катализатор – СММ–У [7]. Но, к сожалению, с развитием технологий, даже такой универсальный катализатор скоро найдет свою замену в синтезе метанола.

1.4 Дезактивация катализаторов синтеза метанола

Дезактивация катализатора бывает обратимая и необратимая. При обратимой дезактивации происходит блокирование активных центров катализатора полимерными образованиями или углеводородными отложениями. Доступ к активным центрам катализатора можно восстановить с помощью регенерации, как правило, путем окисления кислородом. При необратимой дезактивации катализатор не подлежит регенерации, т.к. изменяется уже химическая (отравление) или физическая (спекание) структура катализатора [6].

Уменьшение активности катализатора (дезактивация), как правило, приводит к ужесточению условий протекания процесса. В реальных процессах синтеза метанола уменьшение активности катализатора компенсируют повышением температуры сырья, поступающего в катализаторный слой.

Перед подачей в реактор синтез-газ не должен содержать вредные вещества, которые могут навредить катализатору. Катализаторы синтеза метанола подвергаются отравлению тяжелыми и щелочными металлами, мышьяком или хлором в свободной форме или в виде сложных соединений. Именно поэтому синтез-газ еще на стадии получения его из природного газа очищается от вредных веществ.

Основная причина дезактивации низкотемпературных катализаторов синтеза метанола может быть связана с разрушением активных центров (Zn-Si-центров) катализатора, под воздействием температуры. Активность

низкотемпературных катализаторов синтеза метанола уменьшается тем быстрее, чем выше температура среды, в которой они работают. Поэтому на начальных этапах работы катализатора, синтез метанола стараются проводить при наименьшей температуре.

Дезактивация катализатора нередко характеризуется производительностью реактора. Когда производительность реактора становится не рациональной для предприятия, то катализатор регенерируют либо меняют на новый. Средний срок службы низкотемпературных катализаторов синтеза метанола варьируется от 4 до 6 лет.

1.5 Технологические схемы синтеза метанола

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

Основная особенность заключается в том, что исходный газ для синтеза метанола на низкотемпературном медьсодержащем катализаторе должен быть тщательно очищен от каталитических ядов (серы, хлора). Природный газ содержит соединения серы $10 - 300 \text{ мг/м}^3$, содержание которых в природном газе не должно превышать $0,5 \text{ мг / м}^3$. Содержание серы в свежем газе (исходный+циркуляционный) не должно превышать $0,15 \text{ мг/м}^3$ [8]. В связи с этим схема представляет большой интерес, поскольку соединения серы в природном газе поглощаются ацетиленовыми растворителями. Схема получения метанола из синтез-газа (рисунок 4) компактна и эффективна [10].

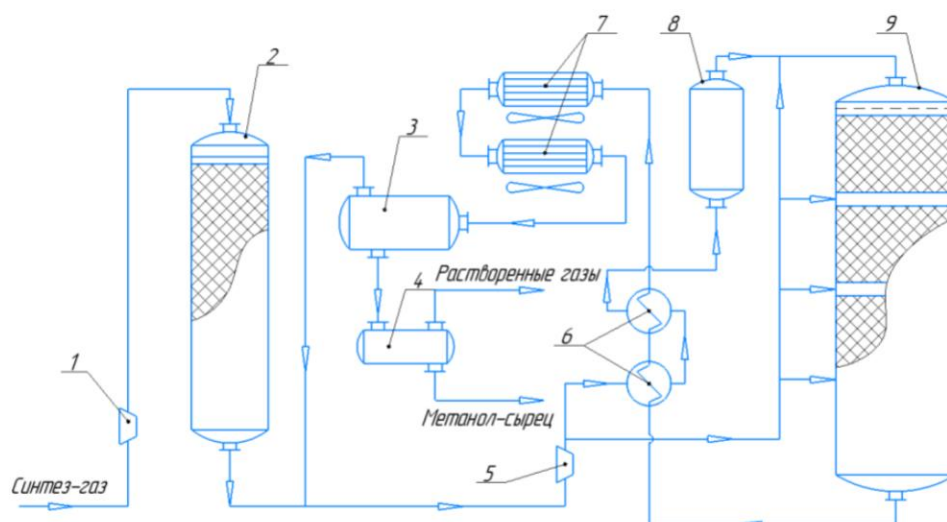


Рисунок 4 – Схема синтеза метанола под давлением 5 МПа:

1, 5 – компрессоры; 2 – фильтр; 3 – сепаратор; 4 – сборник;

6 – теплообменники; 7 – воздушные холодильники;

8 – электроподогреватель; 9 – реактор [4].

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

Температура газа на входе в реактор 205 – 225°C, максимальная температура в слое катализатора 290°C. Выходящий из реактора циркуляционный газ отдает тепло газу, поступающему в реактор в рекуперационных теплообменниках 6 и направляется в воздушные холодильники-конденсаторы 7. Сконденсировавшийся метанол, вода и другие

побочные продукты отделяются в сепараторе 3. Метанол-сырец из сборника 4 направляется на ректификацию. Циркуляционный газ из сепаратора возвращается на всасывающую линию циркуляционного компрессора 5. Недостатком схемы является применение турбокомпрессоров с электроприводами, что приводит к расходованию электроэнергии до 800 – 900 кВт-ч/т [4].

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

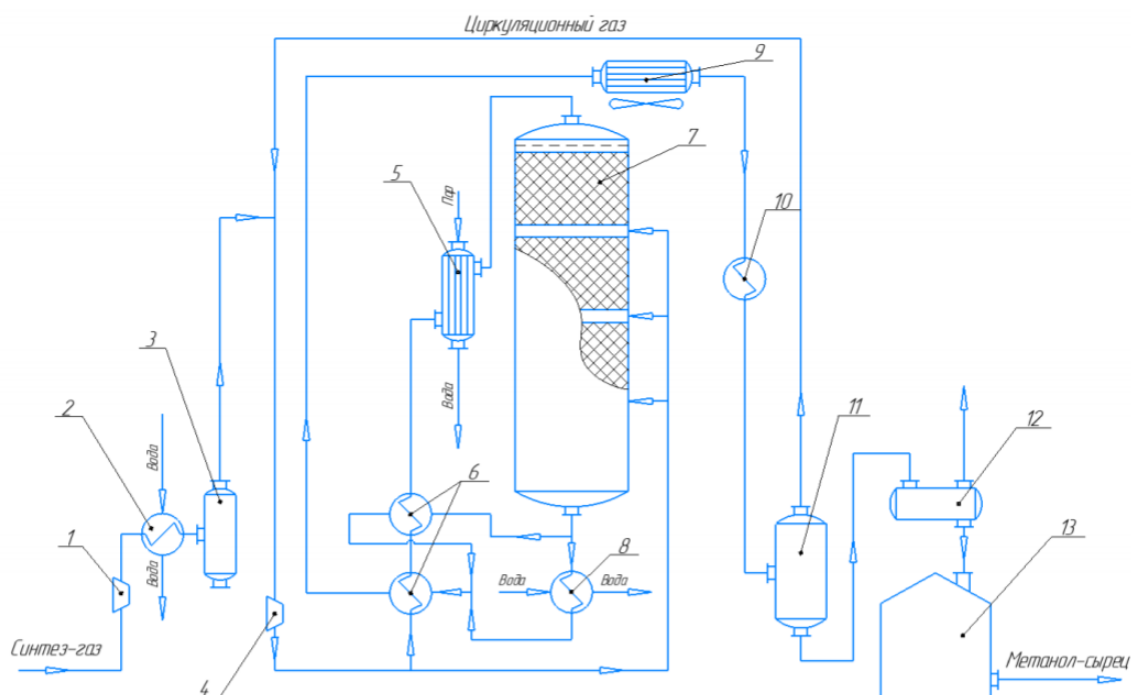


Рисунок 5 – Схема синтеза метанола под давлением 9 МПа:

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

Для привода дожимающего и циркуляционного компрессоров используется перегретый пар, полученный непосредственно в агрегате. Исходный газ давлением 1,2 – 2,2 МПа компрессором сжимается до давления 5,0 – 9,0 МПа. Давление до и после компрессора обусловлено схемой

подготовки газа и давлением в цикле синтеза метанола. Различие схем синтеза метанола под давлением 5 и 9 МПа состоит в использовании катализатора: при более высоком давлении применяется несколько менее активный, но более термостойкий катализатор [8].

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

Используемые в настоящее время технологические схемы принципиально не отличаются от схемы, изображенной на рисунке 5.

Промышленным объектом, с которого были взяты исходные данные для моделирования процесса, является установка реакторного блока синтеза метанола агрегата «М – 750» На рисунке 7 приведена принципиальная схема реакторного блока синтеза метанола агрегата М – 750.

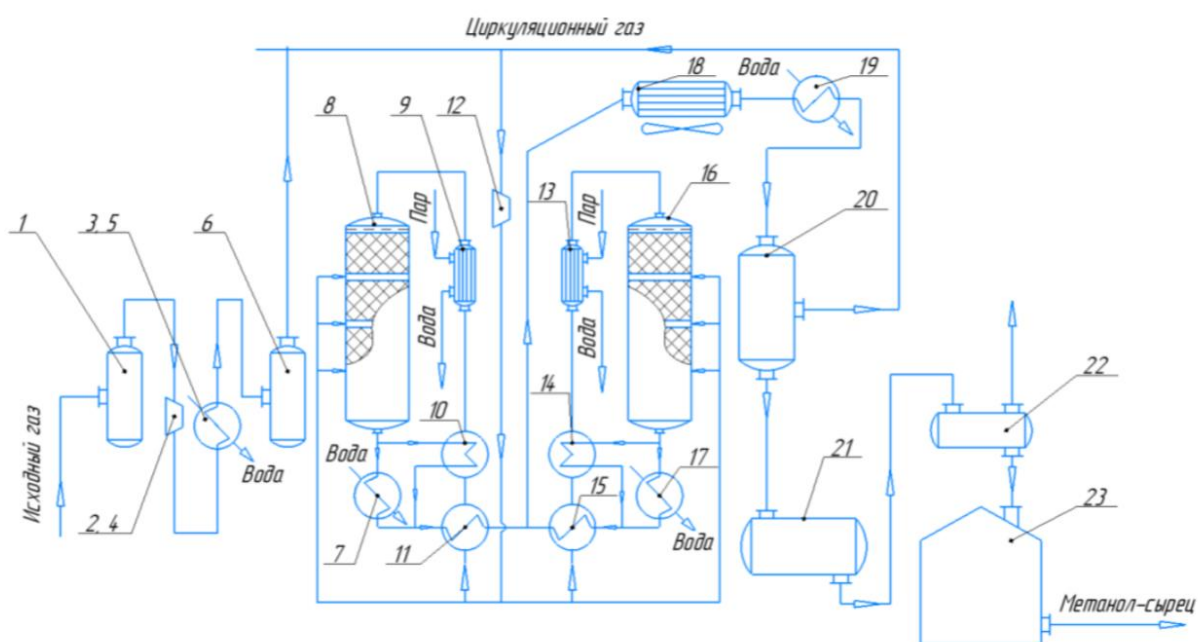


Рисунок 6 – Схема синтеза метанола на агрегате мощностью 750 тыс. т/г: 1, 6, 20 – сепараторы; 2, 4, 12 – компрессоры; 3, 5 – холодильники; 7, 17 – подогреватели конденсата; 8, 16 – реакторы; 9, 13 – паровой подогреватель; 10, 11, 14, 15 – рекуперационные теплообменники; 18, 19 – холодильники конденсатор;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

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 (рисунок 6). 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 41 давлением 10,4 МПа и температурой 490°C.

Тепло прореагировавшего газа, выходящего из колонны синтеза, используется для подогрева питательной воды котлов-утилизаторов в подогревателях 7 и 17 и подогрева газа, поступающего в колонну, в теплообменниках 10 и 14.

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

Тепло прореагировавшего газа, выходящего из колонны синтеза, используется для подогрева питательной воды котлов-утилизаторов в подогревателях 7 и 17 и подогрева газа, поступающего в колонну, в теплообменниках 10 и 14.

Газопродуктовая смесь, пройдя каскад теплообменников, направляется для охлаждения в аппарат воздушного охлаждения 18 и водяной холодильник 19, а затем на разделение в сепаратор 20. Отделенный газ направляется обратно на смешение со свежим синтез-газом, а смесь метанола и воды

(метанол-сырец), проходя через сборник 21 направляется в дегазатор 22. Полученный метанол – сырец собирается в хранилище 23, после которого он направляется на ректификацию [12].

Реактор синтеза метанола представляет собой цилиндрический аппарат диаметром 4,38 м и высотой 17,5 м. Низкотемпературный Zn-Cu-Al катализатор синтеза распределён на 4 полки, между которыми предусмотрен ввод холодного потока газа для снижения общей температуры сырья и разбавления газо-продуктовой смеси. 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. Применение устройств подобной конструкции позволяет добиться равномерного смешения газовых потоков и избежать локальных зон перегрева газа [4].

Используемые в схеме технологические решения хорошо учитывают физико-химические особенности процесса синтеза метанола. Интенсивная циркуляция обеспечивает большие линейные скорости в реакторах и, следовательно, снятие диффузионных ограничений локальных тепловых напряжений, снижает до минимума протекание побочных реакций образования углеводородов. Холодные байпасные потоки поддерживают общий тепловой баланс реакторов и заданный профиль температур в пределах 210 – 290°C [4].

Существенное различие в температуре конденсации продукта реакции (смесь метанола и воды) и остальных компонентов реакционной смеси (CO, CO₂, H₂) позволяет при температуре порядка 40°C достаточно легко выделить метанол-сырец и вновь использовать циркуляционный газ в синтезе. Для этих целей в реакторной схеме применяются газосепараторы.

1.6 Ректификация метанола-сырца.

Метанол-сырец, получаемый в процессе синтеза, содержит, кроме основного вещества — метанола, значительное количество примесей. Главная

примесь в метаноле-сырце — вода. Помимо воды, основной примесью в сырце, полученном при средних и высоких давлениях, являлся диметиловый эфир. Но для современных синтезов на низкотемпературных медьсодержащих катализаторах содержание ДМЭ в сырце невелико [37].

Хроматографическими и хромато-масс-спектрографическими исследованиями в метаноле-сырце обнаружено свыше 50 органических кислородсодержащих соединений разных классов. Общее содержание микропримесей обычно не превышает 0,02–0,10 % мас. и в основном это — спирты C_2 – C_6 . Кроме того, появляются насыщенные углеводороды преимущественно нормального строения. Другие микропримеси, присутствующие в метаноле-сырце: метиловые эфиры простых жирных кислот, различные кетоны, бензол, этанол, и другие сложные соединения (см. табл. 2).

Таблица 2 — Состав метанола-сырца — продукта низкотемпературного синтеза метанола из синтез-газа, полученного паровой конверсией природного газа [38]

Наименование вещества	Массовая концентрация, %
Метанол	83,3-85,8
H ₂ O	14,0-16,5
Пентан	0,025-0,0488
Диметиловыйэфир	0,0001-0,0008
Диэтиловый эфир	0,0014-0,0032
Метилформиат + C ₆	0,005-0,0198
Гептан	0,001-0,0037
Метилацетат	0,0001-0,0024
Метил-этил-кетон	0,0006-0,0081
Метилпропионат +C ₉	0,0004-0,0078
Декан	0,0009-0,0022
Этанол	0,038-0,081
Изо-пропанол	0,0278-0,042
Пропанол	0,0082-0,028

Бутанолы	0,002-0,0034
----------	--------------

Смесь тяжелых спиртов и других кислородсодержащих соединений с температурами кипения, находящимися между температурами кипения метанола и воды, принято называть «сивушным маслом» или просто «маслом».

Углеводороды от пентана до декана включительно образуют с метанолом гомогенные азеотропные смеси, а до тридекана включительно — гетерогенные с водой. Также в метаноле-сырце содержатся также небольшие количества растворенных газов.

Общее количество примесей органических соединений в метаноле-сырце невелико, но отделить их от метанола весьма трудно, так как большинство веществ имеет температуру кипения, близкую к температуре кипения метанола, или они присутствуют в таком малом количестве, что не могут быть идентифицированы. Данные примеси отделяются от метанола на стадии ректификации, следующей за блоком синтеза метанола.

Схема выделения метанола-ректификата высокого качества из метанола-сырца, синтезируемого под давлением 5–9 МПа, представлена на рисунке 7. Специфика этой схемы обусловлена наличием в метаноле-сырце углеводородов.

Исходный метанол-сырец, подогретый до температуры кипения, подается в колонну 2 предварительной ректификации. С верха колонны выходят пары, содержащие летучие углеводороды. После конденсации в конденсаторе 3 и смешения с водой они расслаиваются в разделительном сосуде 4 на два слоя. Водный слой возвращается в колонну в качестве флегмы. Легкий углеводородный слой, состоящий преимущественно из углеводородов C₃–C₁₃, выводится из цикла. Легколетучие окисленные углеводороды выводятся из схемы с предгоном колонны предварительной ректификации, растворенные газы с примесями диметилового эфира и других легколетучих углеводородов отводятся после конденсатора 3.

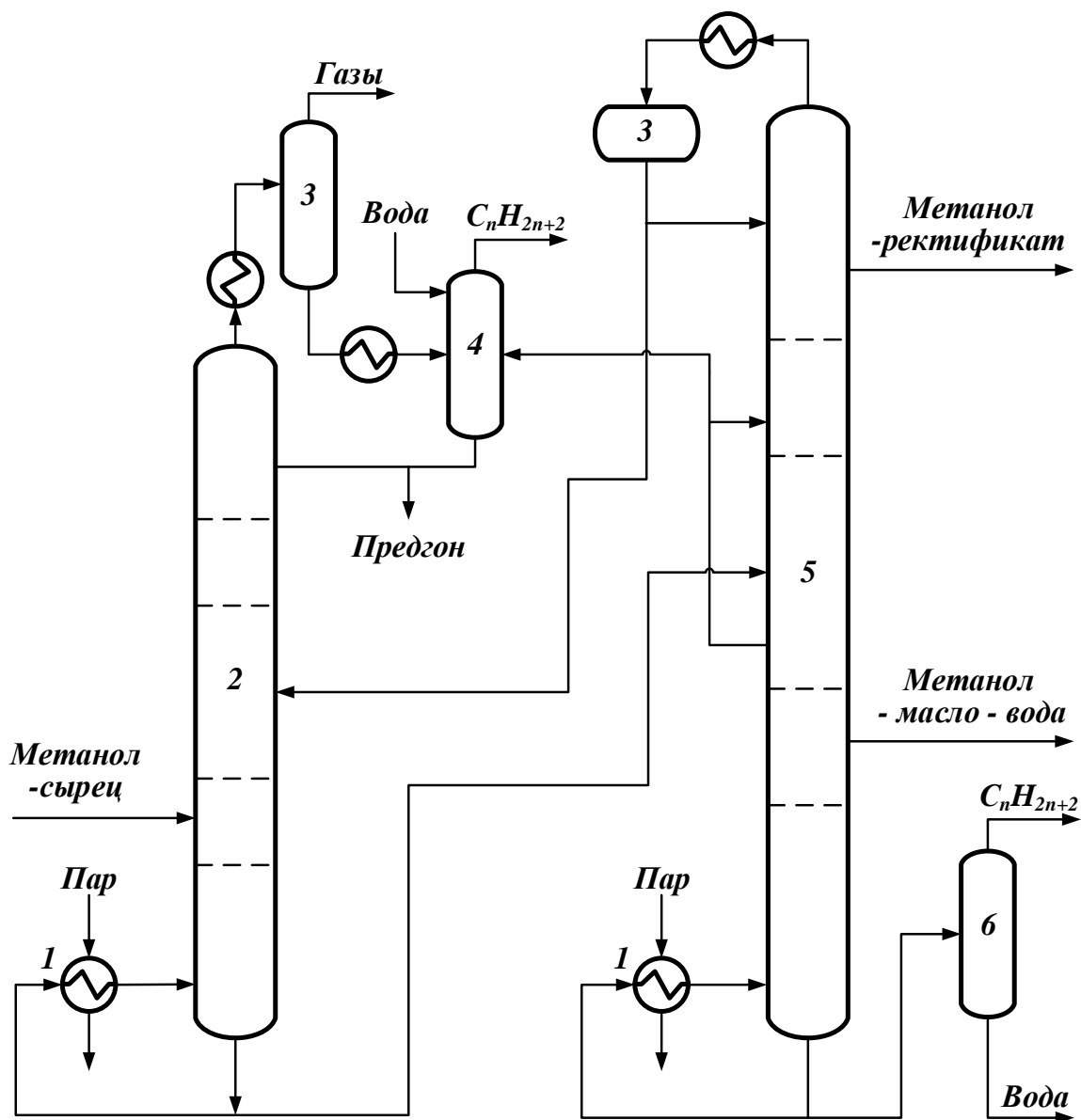


Рисунок 7 — Схема двухстадийной ректификации метанола-сырца: 1 – испарители; 2 – колонна предварительной ректификации; 3 – конденсаторы; 4, 6 – разделительные сосуды; 5 – колонна основной ректификации [37]

Метанол-сырец, очищенный таким образом от легколетучих примесей, а также от декана, ундекана и частично додекана, выводится из куба колонны 2 и направляется в колонну основной ректификации 5. Здесь от дистиллята отбирается предгон и после конденсатора 3 возвращается частично в колонну в виде флегмы, частично — в колонну 2. На 4-8 тарелок ниже точки ввода флегмы отбирается метанол-ректификат и подается через узел катионитной очистки на склад готовой продукции.

Фракция «метанол — масло — вода» отбирается ниже точки ввода питания и вместе с предгоном колонны предварительной ректификации направляется для утилизации метанола. Из зоны ввода питания отбирается углеводородсодержащая фракция и поступает в разделительный сосуд 4 для отделения углеводородов $C_{12}-C_{13}$. Вода с примесями углеводородов C_{14+} отбирается из куба колонны 5 в разделительный сосуд 6 и оттуда в виде нижнего слоя выводится с установки.

Выделяемый по такой схеме метанол-ректификат имеет качественные показатели, превосходящие требования к метанолу высшей категории А.

Показатели работы колонн двухстадийной схемы приведены в таблице 3.

Таблица 3 — Характеристики ректификационных колонн разделения метанола-сырца

Показатели	Колонна предварительной ректификации	Колонна основной ректификации
Температура, °С		
Верх колонны	71-79	71-79
Низ колонны	80-89	120-125
Давление, изб., кПа		
Верх колонны	25-95	25-85
Низ колонны	80-105	не более 125,0
Количество тарелок	46-50	80-85

2 МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

2.1 Характеристика компьютерной программы моделирования синтеза метанола

Для исследования процесса синтеза метанола была использована модель, описанная в работе [9].

Рассмотрим основные характеристики данной модели.

Была задана следующая схема превращения веществ в процессе синтеза:

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

где Me – активный центр катализатора.

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

$$r_1 = \frac{k_1 K_{\text{CO}} K_{\text{H}_2}^2 K_{\text{CH}_3\text{CO}} (P_{\text{CO}} P_{\text{H}_2}^2 - P_{\text{CH}_3\text{OH}} / K_{p_1})}{(1 - K_{\text{CO}} P_{\text{CO}}) (1 + K_{\text{H}_2}^{0,5} P_{\text{H}_2}^{0,5} + K_{\text{H}_2\text{O}} P_{\text{H}_2\text{O}})} \quad (4)$$

$$r_2 = \frac{k_1 K_{\text{CO}_2} K_{\text{H}_2}^{0,5} (P_{\text{CO}_2} P_{\text{H}_2} - P_{\text{CO}} P_{\text{H}_2\text{O}} / K_{p_2}) / P_{\text{H}_2}^{0,5}}{(1 + K_{\text{H}_2}^{0,5} P_{\text{H}_2}^{0,5} + K_{\text{H}_2\text{O}} P_{\text{H}_2\text{O}}) (1 + K_{\text{CO}_2} P_{\text{CO}_2})} \quad (5)$$

$$r_3 = \frac{k_{\text{ДМЭ}} K_{\text{CH}_3\text{OH}}^2 (C_{\text{CH}_3\text{OH}}^2 - ((C_{\text{H}_2\text{O}} C_{\text{ДМЭ}}) / K_{p_{\text{ДМЭ}}}))}{(1 + 2\sqrt{K_{\text{CH}_3\text{OH}} C_{\text{CH}_3\text{OH}}} + K_{\text{H}_2\text{O}, \text{ДМЭ}} C_{\text{H}_2\text{O}})^4} \quad (6)$$

$$r_4 = \frac{k_{\text{CH}_4} K_{\text{CH}_3\text{OH}}^2 (C_{\text{CH}_3\text{OH}}^2 - ((C_{\text{H}_2\text{O}} C_{\text{CH}_4}) / K_{p_{\text{CH}_4}}))}{(1 + 2\sqrt{K_{\text{CH}_3\text{OH}} C_{\text{CH}_3\text{OH}}} + K_{\text{H}_2\text{O}, \text{CH}_4} C_{\text{H}_2\text{O}})^4} \quad (7)$$

где r_1 – скорость целевой реакции образования метанола из CO, моль/с; r_2 – скорость реакции конверсии CO, моль/с; r_3 – скорость реакции образования метанола, 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.

Несмотря на то, что схожие кинетические уравнения приведены в работе [9], в этой работе не учитывается реакция образования метана в процессе синтеза. На основании представленной схемы превращения веществ было получено уравнение скорости образования метана (7) и включено в итоговую кинетическую модель, положенную в основу математической модели реактора.

На основании данной математической модели была составлена моделирующая программа расчета реактора синтеза метанола «М – 750» (рисунок 8)

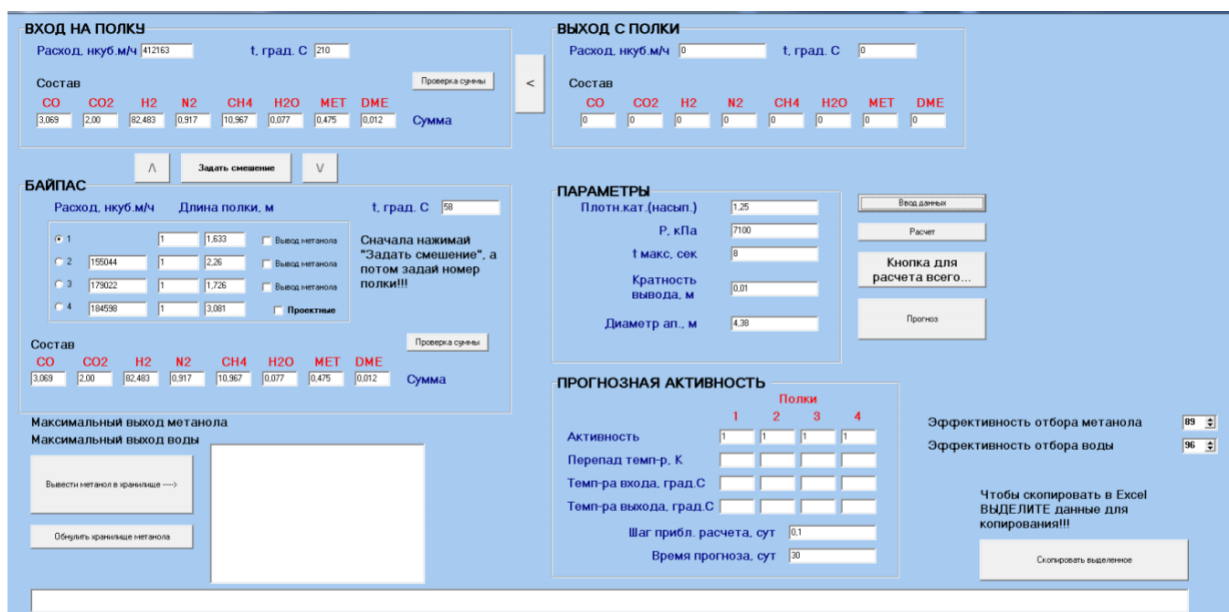


Рисунок 8 – Основное рабочее окно моделирующей программы

Фактически, программа все время считает одну и ту же полку, для нее меняют состав на входе, расход сырья и его температуру. Прочие данные о катализаторе и реакторе DME, которые, по сути, от полки к полке не меняются, задают в панели «Параметры».

Чтобы провести расчет одной полки нужно последовательно нажать кнопки «Ввод данных» и «Расчет». При этом в нижней части основного окна программы будет показано, как изменяются мольные доли, мольные концентрации, парциальные давления компонентов, а также давление и температура сырья (плюс еще несколько вспомогательных параметров)

Расход моль/м.с	Мольные доли, %										Мольные концентрации, моль/л										Парциальные давления, Па										P. Па	T, К
	CO	CO2	H2	N2	CH4	H2O	CH3OH	DME	CO	CO2	H2	N2	CH4	H2O	CH3OH	DME	CO	CO2	N2	CH4	H2O	CH3OH	DME	CO	CO2	N2	CH4	H2O	CH3OH	DME		
0.00	3.07	2.00	82.48	0.32	10.97	0.00	0.48	0.01	0.06205	0.04096	1.68918	0.01670	0.22460	0.00150	0.00973	0.00025	21.7899	14.2000	5896263	865107	779057	005467	032075	000652	7100000	144	0.00	0.00000				

Рисунок 9 – Расчет полки в программе

Как видно из рисунка 9 результаты расчета (состав продуктового потока на выходе с полки, его расход и температура) выводятся на панель «Выход с полки». Далее необходимо передать «выход с полки» на вход следующей полки, подлежащей расчету. Для этого нужно нажать кнопку копирования данных.

Эта операция соответствует тому, что происходит в реакторе: продукт с полки попадает в область над нижележащей полкой, в которой смешивается с байпасным потоком. Таким образом, далее необходимо задать смещение с байпасным потоком. Все характеристики байпасных потоков приведены в панели «Байпас» (рисунок 10):

Λ **Задать смещение** V

БАЙПАС

t, град. C

Расход, нкуб. м/ч

Длина полки, м

1	1	1,633	<input type="checkbox"/>	Вывод метанола
2	155044	1	<input type="checkbox"/>	Вывод метанола
3	179022	1	<input type="checkbox"/>	Вывод метанола
4	184598	1	<input type="checkbox"/>	Проектные

Сначала нажимай "Задать смещение", а потом задай номер полки!!!

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 10 – Окно параметров байпасных потоков

Чтобы смешать потоки нажимаю кнопку «Задать смещение». При этом происходит расчет новых параметров: температуры потока, его состава и расхода. Результаты расчетов передаются на панель «Вход на полку». Последний шаг перед расчетом новой полки – задание ее длины, это делается переключением номера полки. Все, после этого программа готова к расчету следующей полки.

Таким образом, после того как посчитана одна полка, расчет каждой последующей полки представляет собой последовательность действий:

- Нажатие кнопки копирования данных из панели «Выход с полки» в панель «Вход на полку»;
- Нажатие кнопки «Задать смещение»;
- Выбор порядкового номера рассчитываемой полки;
- Нажатие кнопки «Ввод данных»;
- Нажатие кнопки «Расчет».

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

Наиболее эффективным способом повышения производительности установки синтеза метанола является усовершенствование технологической схемы реакторного блока. Математическое моделирование синтеза метанола позволяет повысить производительность установки с минимальными дополнительными затратами: модернизировать существующие реакторные установки или выбрать оптимальный технологический режим процесса в зависимости от конструкции реактора, состава используемого катализатора и сырья.

2.2 Характеристика компьютерной программы для расчета жидкофазного равновесия – UniSim Design

Компьютерная программа UniSim Design – это система моделирования промышленных химико-технологических процессов, которая позволяет создавать статические и динамические модели установок или отдельных аппаратов и осуществлять поиск направлений совершенствования протекающих там процессов.

В данной программе есть большой выбор аппаратов химической промышленности (сепараторы, фракционные колонны, делители, смесители, теплообменники, контактные аппараты, печи и т.д.) настройку которых, можно осуществить под современные технологические процессы. Поэтому данная программа хорошо подходит для расчета газожидкостного равновесия, например, для процесса отделения метанола-сырца от продуктовой смеси.

Для работы с сырьем и продуктами метанольной промышленности в среде UniSim Design, как правило, используем термодинамический пакет Peng Robinson.

3 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

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. имеются соответствующие инструменты моделирования — это и программа для расчета продуктов реактора синтеза метанола, и Unisim Design, используемый для расчета газожидкостных равновесий и показателей работы насосно-компрессорного оборудования и т.д. Эти программы описаны в предыдущем разделе работы.

В качестве требуемой производительности по метанолу было выбрано значение 1,4 млн. т/год — это в 1,5 раза больше текущей производительности действующей установки типа М-750. Наибольший интерес представляет моделирование подсистемы разделения метанола-сырца и определение характеристик работы ректификационных колонн этой подустановки. Таким образом целью данной работы стало исследование режимов работы схемы разделения метанола-сырца на агрегате синтеза метанола М-750, в ходе повышения производительности установки до 1,4 млн. т/год с применением инженерной модели действующих реакторного блока и установки ректификационного разделения сырца, разработанной в специализированной программе для расчета химико-технологических систем Honeywell UniSim Design 460.

Для достижения поставленной цели требовалось выполнить ряд задач:

1. Определение материального баланса низкотемпературного реактора синтеза метанола при повышенной производительности.

2. Составление UniSim-модели реакторного блока синтеза метанола для составления его матбаланса, определения энергозатрат и затрат сырья (свежего синтез-газа) при повышении производительности по метанолу.

3. Подбор данных о составах побочных кислородсодержащих продуктов реактора низкотемпературного синтеза метанола для повышения точности моделей разделения сырца.

4. Составление UniSim-модели установки ректификационного разделения метанола-сырца, подбор спецификаций для расчета колонн.

5. Гидравлический расчет ректификационных колонн с помощью утилиты Tray Sizing по известным данным о конструкциях для приближения инженерной модели к реально действующей установке.

6. Поверочный расчет колонн для определения изменения требуемого их количества для разделения потока метанола-сырца повышенного расхода.

7. Определение матбаланса установки разделения метанола-сырца в условиях повышенной производительности, определение энергозатрат на функционирование модернизированной схемы.

3.1 Определение материального баланса низкотемпературного реактора синтеза метанола при повышенной производительности.

В качестве исходных данных для расчета материального баланса четырехполочного реактора низкотемпературного синтеза метанола при повышенной производительности по метанолу использовались следующие данные: таблицы 4 и 5.

Таблица 4. Технологические параметры для расчета на программе

№	Параметр	Значение
1	Расход метанола с 2 реакторов, млн. т/год	не менее 1,4
2	Расход газа на 1 реактор, тыс. нм ³ /час	<i>подобрать</i>
3	Температура сырья на 1-ую полку, °С	210-250
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 пополочном расчете), °С, не более	280-290
8	Фонд рабочего времени, сут.	344

Таблица 5. Состав циркуляционного газа для расчета на программе

Вещество	СО	СО ₂	Н ₂	№ ₂	СН ₄	Диметиловый эфир	Н ₂ О	Метанол
Содержание вещества, мольн. %	3	2	82,4	0,9	10,9	0,012	0,07	0,5

Для проведения данного исследования подобрали расход газа на реактор при различных давлениях для обеспечения повышения производительности установки до 1,4 млн.т/год. Результаты представлены в таблице 6.

Таблица 6 — Затраты сырья при повышении производительности установки по метанолу

	Расход сырья на полки реактора, нм ³ /ч			
	Номинальный режим	Режим повышенной производительности (1,4 млн. т./год)		
		4 МПа	7.1 МПа	8 МПа
1 полка	412163	816750	753500	742500
2 полка	155044	222750	205500	202500
3 полка	179022	222750	205500	202500
4 полка	184598	222750	205500	202500

Как видно из таблицы 6 наименьший расход сырья на полки реактора для обеспечения режима повышенной производительности наблюдается при давлении в реакторе 8 МПа, это обусловлено тем, что повышение давления приводит к увеличению равновесного выхода метанола.

Также в качестве результатов с моделирующей программы были получены составы выходных потоков с реактора синтеза метанола, которые представлены в таблице 7.

Таблица 7 — Составы выходных потоков с реактора

Давление на циркуляционном компрессоре, МПа	Содержание вещества, мольн. %							
	CO	CO ₂	H ₂	N ₂	CH ₄	Диметиловый эфир	H ₂ O	Метанол
4	0,605	1,047	80,041	0,988	11,802	0,013	1,188	4,314
7,1	0,443	0,857	79,699	0,994	11,887	0,016	1,399	4,705
8	0,401	0,814	79,623	0,996	11,908	0,026	1,454	4,779

Результаты полученные в ходе моделирования реактора были перенесены в среду UniSim Design для сведения материального баланса схемы.

3.2 Составление UniSim-модели реакторного блока синтеза метанола.

Была составлена Unisim-модель реакторного блока синтеза метанола. Ее схема представлена на рисунке 11. Помимо этого был посчитан материальный баланс модели для определения энергозатрат и затрат сырья при повышении производительности установки. Материальный баланс приведен в таблице 8.

Таблица 8 — Материальный баланс реакторного блока синтеза метанола

Входящие потоки	Расход, т/ч	Выходящие потоки	Расход, т/ч
Номинальный режим			
Метанол из реакторов	464,4	Метанол на вход в реактора	464,4
Свежий синтез-газ	175,4	Продувочный газ на факел	55,8
		Метанол-сырец на ректификацию	119,7
Итого:	639,8	Итого:	639,8
Повышенная производительность			
Метанол из реакторов	681,6	Метанол на вход в реактора	681,6
Свежий синтез-газ	256,5	Продувочный газ на факел	81,0
		Метанол-сырец на ректификацию	175,7
Итого:	938,1	Итого:	938,1

Как следует из таблицы при повышении производительности установки требуется увеличить расход свежего синтез-газа на 81 т/ч. Также необходимо повысить мощность циркуляционного компрессора с 11,3 МВт до 16,6 МВт.

Также для приближения модели к реально действующей установке синтеза метанола был добавлен поток побочных кислородсодержащих продуктов реактора, состав которого представлен в таблице 8.

Таблица 8 — Состав побочных кислородсодержащих продуктов реактора синтеза метанола [13]

Наименование компонента	Концентрация на дату, %
H ₂ O	
Пентан	
Метилформиат+ C ₆	
Гептан	
Метилпропионат +C ₉	
Этанол	
Изо-пропанол	
Пропанол	

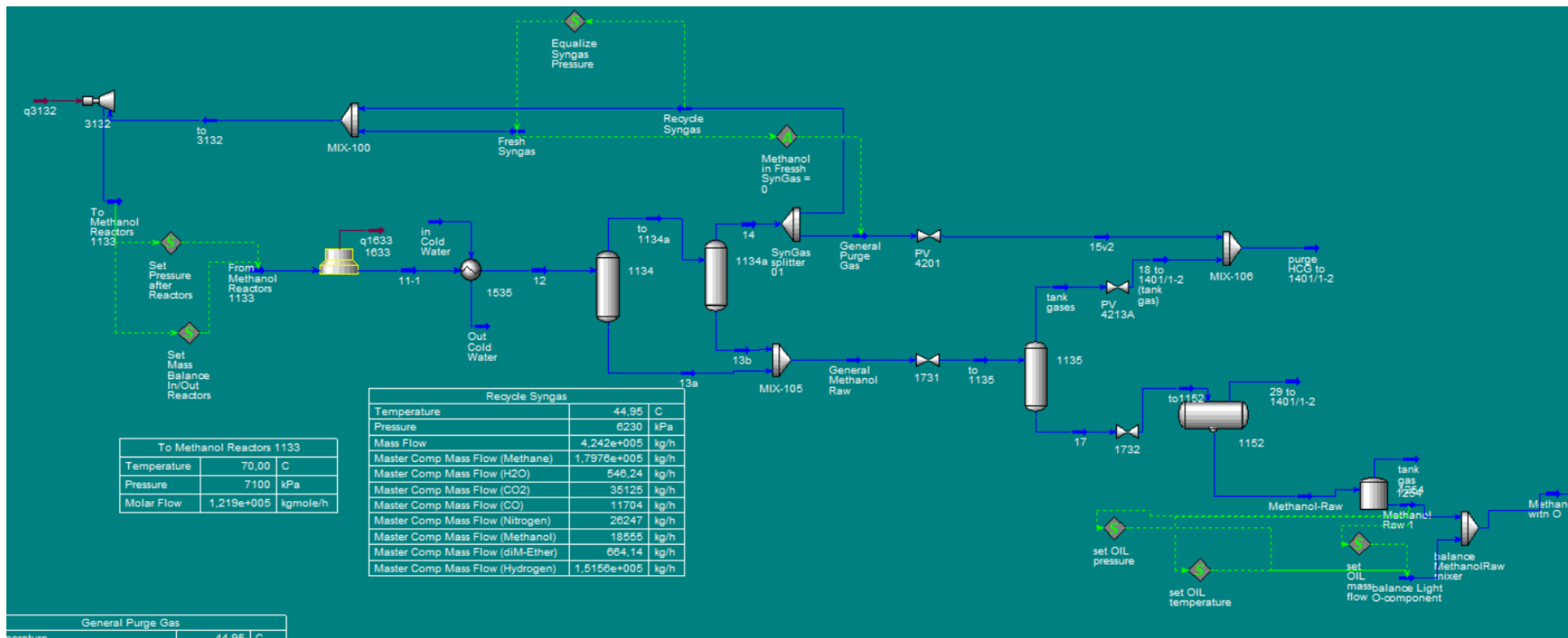


Рисунок 11 — Unisim-модель реакторного блока синтеза метанола

3.3 Составление UniSim-модели установки ректификационного разделения метанола-сырца.

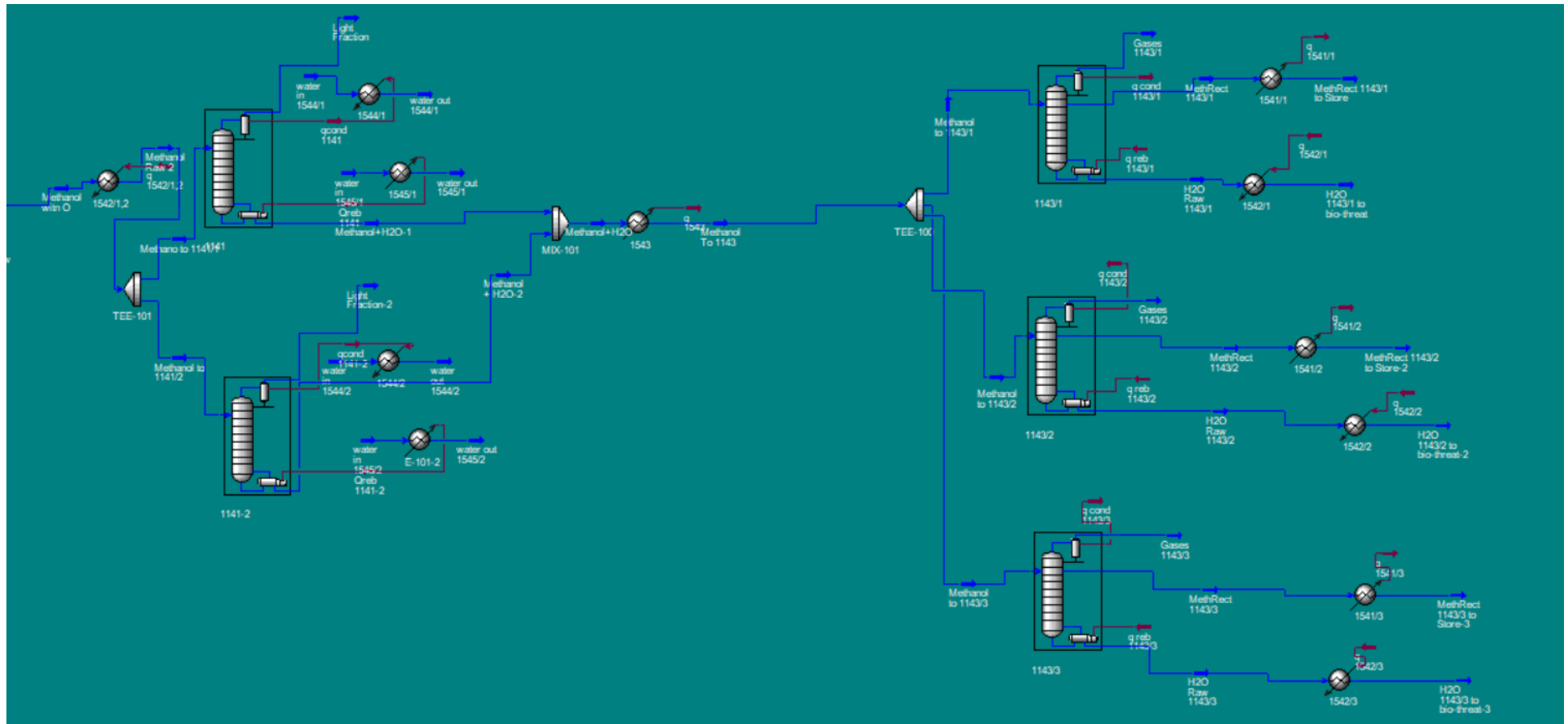


Рисунок 12 — UniSim-модель установки ректификационного разделения метанола-сырца

На текущем производстве метанола в схеме разделения метанола присутствует 1 колонна предварительной ректификации и 2 колонны основной ректификации. В модернизированной схеме для обеспечения повышения производительности предлагается добавить 1 колонну отгона легких фракции и 1 колонну основной ректификации. Таким образом, за счет дополнительных колонн предлагается лучшее распределение потока метанола повышенного расхода.

3.4 Гидравлический и поверочный расчет ректификационных колонн

Далее провели гидравлический и поверочный расчет ректификационных колонн с помощью утилиты Tray Sizing по известным данным о конструкциях для приближения инженерной модели к реально действующей установке. Параметры тарелок, рассчитанных с помощью утилиты, представлены в таблицах 9 и 10.

Таблица 9 — Спецификации тарелок колонны предварительной ректификации

Тип тарелок	Ситчатые [14]	Клапанные [15]	Колпачковые [16]
Поточность	2	2	2
Диаметр секции, м	5	5	5
Расстояние между тарелками, мм	600	600	600
Толщина тарелки, мм	4	4	4
Коэффициент вспенивания	1	1	1
Макс. перепад давления на тарелках, кПа	1,5	1,5	1,5
Макс. процент захлебывания	82	82	82

Таблица 10 — Спецификации тарелок колонны основной ректификации

Тип тарелок	Ситчатые	Клапанные	Колпачковые
Поточность	1	1	1
Диаметр секции, м	5	5	5

Расстояние между тарелками, мм	500	500	500
Толщина тарелки, мм	8	8	8
Коэффициент вспенивания	0,95	0,95	0,95
Макс. перепад давления на тарелках, кПа	0,7	0,7	0,7
Макс. процент захлебывания	82	82	82

Для каждого тип тарелок задали идентичные параметры, чтобы узнать какие из них будут более эффективны и проявят себя лучше при повышении производительности установки.

Результаты гидравлического и поверочного расчетов при номинальном режиме работы и при повышении производительности установки представлены в таблице 11.

Таблица 11 — Результаты гидравлического и поверочного расчета

Режим	Кол-во колонн	Расход на одну колонну, т/ч	Расход метанола с 2 реакторов, млн.т/год	Скорость пара в колонне, м/с	Максимальный перепад давления, кПа	Степень захлебывания, %
Колонна отгона легких фракций 1141						
Максимально допустимые значения						
Номинальный						
Повышенная производительность						
Колонна основной ректификации 1143						
Максимально допустимые значения						
Номинальный режим						

Повышенная производительность						
----------------------------------	--	--	--	--	--	--

При повышении производительности установки степень захлебывания колонн предварительной и основной ректификации превышает норму, что приводит к повышению нестабильности работы колонны, т.к. происходит как бы вскипание жидкости в сливных патрубках и переброс на вышележащую тарелку. Чтобы этого избежать необходимо добавить в модель колонны предварительной и основной ректификации.

3.5 Определение материального баланса установки разделения метанола-сырца в условиях повышенной производительности

Затем определили материальный баланс установки при номинальном режиме и при увеличении мощности установки.

Таблица 12 — Материальный баланс модели ректификационного разделения метанола-сырца

Сырье	Расход, кг/ч	Продукты	Расход, кг/ч
Номинальный режим			
Свежий синтез-газ	119737	Легкие фракции после 1141/1	475
		Инертные газы после 1143	342
		Товарный метанол из 1143	98894
		Вода на биоочистку из 1143	20022
Итого:	119737	Итого:	119737
Повышенная производительность			
Метанол из реакторов	175726	Легкие фракции после 1141	698
		Инертные газы после 1143	501
		Товарный метанол из 1143	145140
		Вода на биоочистку из 1143	29382
Итого:	175726	Итого:	175726

Далее рассчитали какое количество оборотной воды и пара понадобится для обеспечения работы модернизированной схемы разделения метанола. Результаты в таблице 14.

Таблица 14 — Энергозатраты для обеспечения работы ректификационных колонн

Поток	Количество потоков	Расход, т/ч
Номинальный режим работы		
Оборотная вода на охлаждение конденсатора колонны 1141	1	1403,3
Пар на нагрев ребойлера колонны 1141	1	122,8
Оборотная вода на охлаждение колонны 1143	2	2512,8
Пар на нагрев ребойлера колонны 1143	2	201,5
Режим повышенной производительности		
Оборотная вода на охлаждение конденсатора колонны 1141	2	1029,8
Пар на нагрев ребойлера колонны 1141	2	90,1
Оборотная вода на охлаждение колонны 1143	3	1675,2
Пар на нагрев ребойлера колонны 1143	3	134,4

Также рассчитали мощность теплообменников, охлаждающих выходящие потоки товарного метанола и воды из колонн основной ректификации. Результаты в таблице 15.

Таблица 15 — Энергозатраты на охлаждение продуктов схемы

Поток	Количество теплообменников	Мощность, МВт
Номинальный режим		
Охлаждение товарного метанола	2	4,324
Охлаждение воды на биоочистку	2	2,016
Повышенная производительность		
Охлаждение товарного метанола	3	6,345
Охлаждение воды на биоочистку	3	2,958

В результате исследования было выявлено, что для повышения производительности установки до 1,4 млн. т/год, требуется 2 колонны предварительной ректификации и 3 колонны основной ректификации. А также энергозатраты на функционирование модернизированной схемы увеличатся в 1,5 раза.

4 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

В данном разделе рассматривается конкурентоспособность предложенных разработок, их ресурсоэффективность и учитывается ресурсосбережение.

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

4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Для анализа потребителей результатов исследования необходимо рассмотреть целевой рынок и провести его сегментирование [11].

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.

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

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.

Сегментирование приведено в таблице 16.

Таблица 16 – Карта сегментирования рынка услуг

Потребитель:		Заводы синтеза метанола		
		Мелкие	Средние	Крупные
Вид услуги	Разработка компании ОАО «ВНИПИнефть»			
	Разработка компании Johnson Matthey			
	Разработка компании Toyo Engineering			

Разработанная технологическая схема синтеза метанола, была создана на основе действующего реакторного блока «М – 750», что ограничивает использование разработки на реакторах другого типа.

Как видно из таблицы 1 целевой рынок разработки достаточно широк, и наиболее перспективным сегментом являются средние заводы синтеза метанола.

4.1.2 Анализ конкурентных технических решений

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

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

Сравним эффективность разработки с существующими на рынке для оценки сильных и слабых сторон с помощью оценочной карты (таблица 17). Сравниваем разрабатываемую технологическую схему (индекс «в») с разработкой компании ОАО «ВНИПИнефть» (индекс «к1») и разработкой компании Toyo Engineering (индекс «к2»).

Таблица 17 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических разработок

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии ресурсоэффективности							
Повышение производительности	0,20	4	3	3	0,80	0,60	0,60
Энергоэкономичность	0,10	4	3	3	0,40	0,30	0,30
Надежность	0,10	4	4	4	0,40	0,40	0,40
Безопасность	0,10	5	5	5	0,50	0,50	0,50
Функциональная мощность	0,09	3	4	4	0,27	0,36	0,36
Простота эксплуатации	0,06	5	4	3	0,30	0,24	0,18
Экономические критерии оценки эффективности							
Конкурентоспособность продукта	0,10	3	4	4	0,30	0,40	0,40
Уровень проникновения на рынок	0,05	3	5	4	0,15	0,25	0,20
Цена	0,10	3	2	2	0,30	0,20	0,20
Предполагаемый срок эксплуатации	0,10	5	4	4	0,50	0,40	0,40
Итого	1	39	38	36	3,92	3,65	3,54

Из данных вышеприведенной таблицы можно заключить, что разрабатываемая технологическая схема обеспечивает больший прирост производительности и обладает лучшей простотой эксплуатации чем у конкурентов. Однако продукт конкурента обладает большей функциональной мощностью. Также у конкурента более высокий уровень проникновения на рынок. Однако преимуществом собственной разработки можно считать низкую цену и более высокий предполагаемый срок эксплуатации.

К основным недостаткам разработанной технологической схемы можно отнести ее ограниченную применимость только для реакторов полочного типа.

4.1.3 SWOT-анализ

В таблице 18 представлена матрица SWOT – анализа.

Таблица 18 – Матрица SWOT – анализа

	<p>Сильные стороны (С): С1. Высокий выход целевого продукта (метанола). С2. Простота конструкции вспомогательного оборудования. С3. Уменьшение затрат путем использования рекуперации тепла в теплообменном оборудовании.</p>	<p>Сильные стороны (С): С1. Высокий выход целевого продукта (метанола). С2. Простота конструкции вспомогательного оборудования. С3. Уменьшение затрат путем использования рекуперации тепла в теплообменном оборудовании.</p>
<p>Возможности (В): В1. Внедрение разработанной схемы на предприятия для оптимизации процесса производства метанола. В2. Усовершенствование разработанной схемы процесса с учетом индивидуальных особенностей производства</p>	<p>1.Повышение эффективности использования сырья и ресурсов на предприятии. 2.Совершенствование разработанной схемы, исходя из возможностей и целей производства, на котором будет реализован проект.</p>	<p>1.Специальные программы по обучению сотрудников и повышению их квалификации 2. Замена существующего оборудования на современные аналоги. 3.Поддержка местной власти по финансированию проектов.</p>
<p>Угрозы (У): У1. Появление более эффективных типов реакторов. У2. Падение спроса на продукцию.</p>	<p>1.Уменьшить постоянные издержки производства. 2.Торговля напрямую с потребителем, а не через посредников. 3.Перевооружение производственных мощностей.</p>	<p>1.Привлечение молодых специалистов. 2.Привлечение зарубежных инвестиций. 3.Изучение и проработка всех возможных кризисных ситуаций.</p>

Согласно таблице 18 построена интерактивная матрица разработки проекта, приведенная в таблице 19.

Таблица 19 – Интерактивная матрица проекта

с				
Возможности проекта		С1	С2	С3
	В1	+	+	+
	В2	+	+	+
Сильные стороны проекта				
Угрозы проекта		С1	С2	С3
	У1	+	-	-
	У2	+	-	+
Слабые стороны проекта				
Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3
	В1	+	+	+
	В2	+	+	+
Слабые стороны проекта				
Угрозы проекта		Сл1	Сл2	Сл3
	У1	0	+	+
	У2	-	+	+

В рамках третьего этапа SWOT-анализа была составлена итоговая матрица SWOT-анализа, представленная в таблице 20.

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 20 – Итоговая матрица SWOT – анализа

	<p>Сильные стороны (С): С1. Высокий выход целевого продукта (метанола). С2. Простота конструкции вспомогательного оборудования. С3. Уменьшение затрат путем использования рекуперации тепла в теплообменном оборудовании.</p>	<p>Слабые стороны (Сл): Сл1. Увеличение выхода побочного продукта (воды) Сл2. Расходы на приобретение и монтаж нового оборудования Сл3. Усложнение существующей технологической схемы.</p>
<p>Возможности (В): В1. Внедрение разработанной схемы на предприятия для оптимизации процесса производства метанола. В2. Усовершенствование разработанной схемы процесса с учетом индивидуальных особенностей производства</p>	<p>1. Повышение эффективности использования сырья и ресурсов на предприятии. (В1С1С2С3) 2. Совершенствование разработанной схемы, исходя из возможностей и целей производства, на котором будет реализован проект. (В2С1С2С3)</p>	<p>1. Специальные программы по обучению сотрудников и повышению их квалификации. (В1Сл2Сл3) 2. Замена существующего оборудования на современные аналоги. (В1Сл1Сл2Сл3) 3. Поддержка местной власти по финансированию проектов. (В2Сл2Сл3)</p>
<p>Угрозы (У): У1. Появление более эффективных типов реакторов. У2. Падение спроса на продукцию.</p>	<p>1. Уменьшить постоянные издержки производства. (У1С1) 2. Торговля напрямую с потребителем, а не через посредников. (У1С1) 3. Перевооружение производственных мощностей. (У2С1С3)</p>	<p>1. Привлечение иностранных специалистов. (У1Сл2Сл3) 2. Привлечение зарубежных инвестиций. (У2Сл2Сл3) 3. Изучение и проработка всех возможных кризисных ситуаций. (У2Сл2Сл3)</p>

Таким образом, матрица SWOT-анализа с использованием интерактивных матриц корреляции помогла оценить сильные и слабые стороны проекта и выделить направления повышения конкурентоспособности проекта. Основные направления: привлечение иностранных специалистов, перевооружение производственных мощностей, специальные программы по обучению сотрудников и повышению их квалификации.

4.2 Определение возможных альтернатив при проведении исследований

Морфологический подход основан на систематическом исследовании всех теоретически возможных вариантов, вытекающих из закономерностей строения (морфологии) объекта исследования. Синтез охватывает как известные, так и новые, необычные варианты, которые при простом переборе могли быть упущены. Путем комбинирования вариантов получают большое количество различных решений, ряд которых представляет практический интерес. В рамках этого этапа составляется морфологическая матрица. Морфологическая матрица для моделирования установки синтеза метанола представлена в таблице 21.

Таблица 21 – Морфологическая матрица для моделирования синтеза метанола

	Текущий проект	Исполнение 2	Исполнение 3
А. Специальное оборудование	Персональный компьютер	Персональный компьютер	Персональный компьютер
Б. Программа для моделирования	Methanol TPU	Honeywell UniSim Design 460	Aspen HYSYS
В. Удобство использования	Отличное	Хорошее	Удовлетворительное

Согласно данной таблице можно выделить несколько альтернатив проведения научного исследования, в основе которых лежит использование различных программ для моделирования синтеза. Наиболее рациональным и удобным вариантом исследования является текущий.

4.3 Планирование проекта

4.3.1 Структура работ в рамках научного исследования

Планирование комплекса научно-исследовательских работ осуществляется в порядке:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение количества исполнителей для каждой из работ;

- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований.

Для оптимизации работ удобно использовать классический метод линейного планирования и управления.

Результатом такого планирования является составление линейного графика выполнения всех работ. Порядок этапов работ и распределение исполнителей для данной научно-исследовательской работы, приведен в таблице 22.

Таблица 22 – 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	Инженер
	3	Обзор современных методов исследований по выбранному направлению	Инженер
	4	Календарное планирование работ по теме	Руководитель, Инженер
Теоретическое обоснование и проведение экспериментальных исследований	5	Теоретическое обоснование и выбор экспериментальных методов исследований	Инженер
	6	Проведение экспериментальных расчетов	Инженер
	7	Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими исследованиями	Инженер
Обобщение полученных результатов, выводы по проделанной работе	8	Оценка эффективности проведенных исследований	Руководитель
	9	Обсуждение результатов	Инженер, Руководитель
Разработка технической	10	Разработка модели и ее компьютерная реализация	Инженер

документации и проектирование	11	Сбор информации по охране труда	Инженер
	12	Подбор данных для выполнения экономической части работы	Инженер
Оформление отчета по ВКР	13	Составление пояснительной записки	Руководитель, Инженер
	14	Защита ВКР	Руководитель, Инженер

4.3.2 Определение трудоемкости выполнения работ и разработка графика проведения

При проведении научных исследований основную часть стоимости разработки составляют трудовые затраты, поэтому определение трудоемкости проводимых работ является важным этапом составления сметы. Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов.

Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости использована следующая формула:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5} \quad (8)$$

где $t_{ожі}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы, человеко-дни;

$t_{\min i}$ – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы, человеко-дни;

$t_{\max i}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы, человеко-дни.

Зная величину ожидаемой трудоемкости, можно определить продолжительность каждой i -ой работы в рабочих днях T_{pi} :

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{q_i} \quad (9)$$

где T_{pi} – продолжительность одной работы, рабочие дни;

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

Для перевода длительности каждого этапа из рабочих в календарные дни, необходимо воспользоваться формулой (4.3):

$$T_{ki} = T_{Pi} \cdot k_{\text{кал}} \quad (10)$$

где T_{ki} – продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях;
 $k_{\text{кал}}$ – календарный коэффициент.

Календарный коэффициент определяется по формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{365}{365 - 52 - 14} = 1,22 \quad (11)$$

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

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

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

Расчеты временных показателей проведения НИ обобщены в таблице 23.

Таблица 23 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоёмкость работ						Длительность в рабочих днях T_{pi}	Длительность работ в календарных днях T_{ki}
	t_{min} , чел-дни		t_{max} , чел-дни		$t_{\text{ож}}$, чел-дни			
	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1. Составление и утверждение технического задания	2	-	4	-	2,8	-	2,8	4
2. Выбор направления исследований	-	2	-	4	-	2,4	2,8	4
3. Обзор современных методов исследований по выбранному направлению	-	12	-	14	-	12,8	12,8	16

4. Календарное планирование работ по теме	2		4		2,8		1,4			2	
5. Теоретическое обоснование и выбор экспериментальных методов исследований	-	18	-	21	-	19,2	19,2			24	
6. Проведение экспериментальных расчетов	-	15	-	18	-	16,2	16,2			20	
7. Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими исследованиями	-	2	-	4	-	2,8	2,8			4	
8. Оценка эффективности проведенных исследований	2	-	4	-	2,8	-	2,8			4	
9. Обсуждение результатов	5		7		5,8		2,9			4	
10. Разработка модели и ее компьютерная реализация	-	15	-	18	-	16,2	16,2			20	
11. Сбор информации по охране труда	-	9	-	12	-	10,2	10,2			13	
12. Подбор данных для выполнения экономической части работы	-	9	-	12	-	10,2	10,2			13	
13. Составление пояснительной записки	10		13		11,2		5,6			7	
14. Защита ВКР	1		1		1		0,5			1	
Итого:							106,4			136	

На основе таблицы составлен календарный план-график выполнения проекта с использованием диаграммы Ганта (таблица 24).

Таблица 24 – Диаграмма Ганта

Содержание работ	Исп.	Т _{кi} , кал. дн.	Продолжительность выполнения работ														
			Февраль			Март			Апрель			Май			Июнь		
			1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	
1. Составление и утверждение	Исп1	4															

технического задания																			
2. Выбор направления исследований	Исп2	4	█																
3. Обзор современных методов исследований по выбранному направлению	Исп2	16	█	█	█														
4. Календарное планирование работ по теме	Исп1 Исп2	2			█														
5. Теоретическое обоснование и выбор экспериментальных методов исследований	Исп2	24			█	█	█												
6. Проведение экспериментальных расчетов	Исп2	20					█	█	█										
7. Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими исследованиями	Исп2	4							█										
8. Оценка эффективности проведенных исследований	Исп1	4								█									
9. Обсуждение результатов	Исп1 Исп2	4								█	█								
10. Разработка модели и ее компьютерная реализация	Исп2	20									█	█	█						
11. Сбор информации по охране труда	Исп2	13												█	█				
12. Подбор данных для выполнения экономической части работы	Исп2	13														█	█		
13. Составление пояснительной записки	Исп1 Исп2	7																█	█

Чернила для принтера	мл.	1,1	100	130	130	132	172	172
Тетрадь	шт.	75	3	3	3	270	270	270
Ручка	шт.	35	4	4	4	168	168	168
Карандаш	шт.	20	2	2	2	48	48	48
Итого:						1018	1278	1198

4.4.2 Расчет затрат на специальное оборудование

Для выполнения исследовательского проекта требуется приобрести персональный компьютер, ПО Microsoft Office 365 для создания документов, лицензионные версии программ для моделирования (Methanol TPU, Honeywell UniSim Design 460, Aspen HYSYS), также требуется получить экспериментальные данные с предприятия, запросив их на существующем производстве метилового спирта.

Все расчеты по приобретению спецоборудования в различных исполнениях, включая 15% на затраты по доставке и монтажу, отображены в таблице 26.

Таблица 26 – Расчет бюджета затрат на приобретение спецоборудования

Наименование оборудования	Количество единиц оборудования	Цена единицы оборудования, тыс. руб.			Общая стоимость оборудования, тыс. руб.		
		ТП	Исп.2	Исп.3	ТП	Исп.2	Исп.3
Лицензии программ	1	0	10	20	0	10	20
Персональный компьютер	1	60	60	60	60	60	60
ПО MicrosoftOffice	1	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
Итого:					62,5	72,5	82,5

В таблице 27 приведен расчет амортизационных отчислений.

При расчете амортизации принимаем средневзвешенную норму амортизации равной 25%.

Таблица 27– Расчет амортизационных отчислений

Наименование оборудования	Кол-во	Срок службы*, дней	Цена единицы оборудования, тыс. руб.			Амортизация оборудования, тыс.руб		
			ТП	Исп.2	Исп.3	ТП	Исп.2	Исп.3
Лицензии программ	1	136	0	10	20	0	0,93	1,86
Персональный компьютер	1	136	60			5,59	5,59	5,59
ПО MicrosoftOffice	1	136	2,5			0,23	0,23	0,23
Итого:						5,82	6,75	7,68

Срок службы принимаем равным учебному периоду, выделенному на выполнение работы – 4,5 месяца (136 дней).

4.4.3 Основная заработная плата исполнителей темы

В данном разделе рассчитывается заработная плата инженера и руководителя, расходы по заработной плате, определяемые трудоемкостью проекта и действующей системой оклада.

Основная заработная плата $Z_{\text{осн}}$ одного работника рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_p \quad (13)$$

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

T_p – продолжительность работ, раб.дн.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d} \quad (14)$$

где Z_m – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

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

Таблица 28 – Баланс рабочего времени исполнителей

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней	44	48
- выходные дни	14	14

- праздничные дни		
Потери рабочего времени - отпуск - невыходы по болезни	56/0	28/0
Действительный годовой фонд рабочего времени	251	275

Месячный должностной оклад работника рассчитывается по формуле:

$$Z_M = Z_{TC} \cdot (1 + k_{пр} + k_d) \cdot k_p \quad (4.8)$$

– для руководителя:

$$Z_M = 39300 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 76635 \text{ руб.}$$

– для инженера:

$$Z_M = 26200 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 51090 \text{ руб.}$$

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

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

k_d – коэффициент доплат и надбавок, равный 0,2;

k_p – районный коэффициент, равный 1,3.

Среднедневная заработная плата:

Для шестидневной рабочей недели (рабочая неделя руководителя):

$$Z_{дн} = \frac{Z_M \cdot M}{F_d} = \frac{76635 \cdot 10,3}{251} = 3144,8 \text{ руб.}$$

Для пятидневной рабочей недели (рабочая неделя инженера):

$$Z_{дн} = \frac{Z_M \cdot M}{F_d} = \frac{51090 \cdot 11,2}{275} = 2080,8 \text{ руб.}$$

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;

Таблица 29 – Расчет основной заработной платы исполнителей

Исполнители	Z_{TC} , руб	$k_{пр}$	k_d	k_p	Z_M , руб	$Z_{дн}$, руб	T_p , раб.дн.	$Z_{осн}$, руб
НИ								

Руководитель	39300	0,3	0,2	1,3	76635	3144,8	13,5	42454,8
Инженер	26200	0,3	0,2	1,3	51090	2080,8	68,5	142534,8
Итого:								184989,6

4.4.4 Дополнительная заработная плата исполнителей темы

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

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}} \quad (16)$$

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

Расчет дополнительной заработной платы:

$$Z_{\text{доп.,рук.}} = 0,15 \cdot 42454,8 = 6368,2 \text{ руб.}$$

$$Z_{\text{доп.,инж.}} = 0,15 \cdot 142534,8 = 21380,2 \text{ руб.}$$

4.4.5 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Отчисления во внебюджетные фонды определяется по формуле:

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) \quad (17)$$

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений во внебюджетные фонды. Для учреждений, осуществляющих образовательную и научную деятельность ставка – 30.0%.

В таблице 30 приведены отчисления во внебюджетные фонды.

Таблица 30 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнители	Основная заработная плата, руб	Дополнительная заработная плата, руб.	Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	Размер отчислений, руб.
Научный руководитель	42454,8	6368,2	0,3	14646,9
Инженер	142534,8	21380,2		49174,5
Итого:				63821,4

4.4.6 Накладные расходы

К накладным расходам относятся прочие затраты, неучтенные в других статьях: электроэнергия, ксерокопирование, оплата связи и др.:

$$Z_{\text{накл}} = (\text{сумма статей } 1 \div 5) \cdot k_{\text{пр}} \quad (18)$$

где $k_{\text{пр}}$ – доля накладных расходов, примем 16 %.

$$\begin{aligned} Z_{\text{накл}} &= (798 + 62500 + 5820 + 148391 + 22258,7 + 46246,07) \cdot 0,16 \\ &= 45762,2 \text{ руб.} \end{aligned}$$

Аналогично был произведен расчет накладных расходов для исполнений 2 и 3.

4.4.7 Формирование бюджета исследовательского проекта

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

Используя приведенные выше значения, можно перейти к определению бюджета затрат на научно – исследовательский проект в целом.

Таблица 31 – Расчет бюджета затрат исследовательской работы

Наименование	Сумма, руб.		
	Текущий проект	Исп.2	Исп.3
Материальные затраты	1018	1278	1198
Затраты на спец. оборудование	62500	72500	82500
Амортизационные отчисления	5820	6750	7680
Основная з/п исполнителей	184989,6	184989,6	184989,6
Дополнительная з/п исполнителей	27748,4	27748,4	27748,4
Отчисления во внебюджетные фонды	63821,4	63821,4	63821,4

Накладные расходы	55257,2	57133,9	58869,9
Бюджет затрат	401154,6	414221,3	426807,3

Согласно расчетам, бюджет затрат работы составляет 331775,97 рублей.

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

Для определения эффективности исследования рассчитан интегральный показатель эффективности научного исследования путем определения интегральных показателей финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получен в процессе оценки бюджета затрат трех вариантов исполнения научного исследования. Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принят за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

Интегральный финансовый показатель разработки:

$$I_{\Phi}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}} \quad (19)$$

где Φ_{pi} – стоимость i -го варианта исполнения;

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения проекта.

$$I_{\Phi}^{\text{тек.проект}} = \frac{401154,6}{426807,3} = 0,940;$$

$$I_{\Phi}^{\text{исп.2}} = \frac{414221,3}{426807,3} = 0,971;$$

$$I_{\Phi}^{\text{исп.3}} = \frac{426807,3}{426807,3} = 1.$$

В результате расчета финансовых показателей по трем вариантам разработки, вариант 1 (текущий проект) с меньшим перевесом признан более приемлемым, с точки зрения финансовой эффективности.

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов выполнения НИР (I_{pi}) определен путем сравнительной оценки их характеристик, распределенных с учетом весового коэффициента каждого параметра (таблица 32).

Таблица 32 – Сравнительная оценка характеристик вариантов НИР

Объект исследования Критерии	Вес параметра	Текущий проект	Исп.2	Исп.3
1. Безопасность при использовании установки	0,25	5	5	4
2. Удобство в эксплуатации	0,15	5	4	5
3. Надёжность	0,2	4	4	4
4. Воспроизводимость	0,25	4	4	4
5. Материалоёмкость	0,15	5	4	4
Итого:	1	4,55	4,25	4,15

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки вычисляется на основании показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя.

Вычисление интегрального показателя производят по формуле:

$$I_{\text{исп.}i} = \frac{I_{p-\text{исп.}i}}{I_{\text{ф.}i}} \quad (20)$$

$$I_{\text{исп.}i} = \frac{4,55}{0,940} = 4,84, I_{\text{исп.}i} = \frac{4,25}{0,971} = 4,38, I_{\text{исп.}i} = \frac{4,15}{1} = 4,15.$$

Далее интегральные показатели эффективности каждого варианта НИР сравнивались с интегральными показателями эффективности других вариантов с целью определения сравнительной эффективности проекта (таблица 33).

Таблица 33 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Текущий проект	Исп.2	Исп.3
-------	------------	----------------	-------	-------

1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,929	0,965	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,55	4,25	4,15
3	Интегральный показатель эффективности	4,84	4,38	4,15
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	0,90	0,85

Сравнение среднего интегрального показателя сопоставляемых вариантов позволяет сделать вывод о том, что наиболее финансово- и ресурсоэффективным является вариант 1 (текущий проект). По сравнению с конкурентами, наш проект является более эффективным.

Вывод:

В данном разделе был выполнен анализ сильных и слабых сторон разработанной технологической схемы процесса синтеза метанола для реакторного блока «М – 750», выявление возможностей и опасностей для реализации на существующем предприятии, оценили конкурентоспособность разработки в сравнении с уже существующими разработками.

На основании приведенной в разделе информации можно сделать вывод о том, что была создана конкурентоспособная разработка, а именно исполнение 1. Данный вариант удовлетворяет необходимым современным критериям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения для успешной реализации проекта.

5 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

Объектом исследования данной работы является действующая установка М – 750 по производству метанола, 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 [26].

Дипломная работа выполнялась в аудитории 133, расположенной на первом этаже учебного корпуса номер 2 Томского политехнического университета. В аудитории находится 12 компьютеров. Экспериментальная часть бакалаврской работы осуществлялась на персональном компьютере. Рабочая зона представляет собой аудиторию, оборудованную системами отопления и кондиционирования воздуха. Освещение рабочего места комбинированное – сочетание естественного света из окон и искусственного.

5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

В Статье 37 Конституции РФ [24] изложены требования безопасности, обеспечивающие охрану здоровья и условий труда на предприятии. На основании Конституции РФ базируется ряд законов и нормативных актов, уточняющих и расширяющих понятие охраны и защиты труда. Трудовой кодекс, охватывает вопросы от правового возникновения трудовых отношения, до детального рассмотрения трудового договора, времени отдыха и профессиональной подготовки работника, охраны труда, разрешения трудовых споров и т.д. Для обеспечения соблюдения требований охраны труда на предприятии существует ряд служб, в качестве которых выступают федеральные органы и органы исполнительной власти субъектов РФ.

При выполнении бакалаврской работы наиболее важными являются разделы, посвященные рабочему месту. 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 [25], 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.

5.1.1 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны

Экспериментальная часть данной работы осуществлялась на персональном компьютере (далее ПК) при работе с различными программными обеспечениями на Отделении химической инженерии. Рабочая зона представляет собой аудиторию, оборудованную системами отопления, кондиционирования воздуха. Рабочее место в аудитории представляет собой стол, с находящимся на нем монитором и системным блоком ЭВМ, и офисный стул, соответствует требованиям СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Согласно которым 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.

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.

5.2 Производственная безопасность

Выполнение экспериментальной части данной работы использование электронной вычислительной машины (ЭВМ). С точки зрения социальной ответственности целесообразно рассмотреть вредные и опасные факторы, которые могут возникать при выполнении данной работы.

5.2.1 Анализ потенциально возможных и опасных факторов, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований

Для выбора факторов использовался ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация». Перечень опасных и вредных факторов, характерных для проектируемой производственной среды представлен в виде таблицы 34.

Таблица 34 – Опасные и вредные факторы при выполнении работ по разработке

Факторы	Этапы работ	Нормативные документы
---------	-------------	-----------------------

(ГОСТ 12.3.003-2015)	Разработка	Изготовлен ие	Эксплуатац ия	
Неудовлетворительный микроклимат	+	+	+	СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
Превышение уровня шума	+	+	+	ГОСТ 12.4.011-89 (ССБТ). Средства защиты работающих. Общие требования и классификация
Недостаток освещенность рабочей зоны	+	+	+	СНиП 23-05-95 Естественное и искусственное освещение
Электрический ток	+	+	+	ГОСТ 12.1.038-82 Электрическая безопасность. Защитное заземление, зануление.
Нервнопсихические перегрузки	+	+	+	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

Выбор данных вредных и опасных производственных факторы производился с использованием ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация» [23].

5.2.2 Разработка мероприятий по снижению воздействия вредных и опасных факторов

При разработке математической модели установки синтеза метанола в аудитории 133, 2 корпуса ТПУ, основным источником потенциально вредных и опасных производственных факторов (ОВПФ) является используемая ЭВМ.

1. Неудовлетворительный микроклимат

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 35.

Таблица 35 – 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	1а (до 139)	22-24	21-25	60-40	0,1
	1б (140-174)	21-23	20-24	60-40	0,1
Теплый	1а (до 139)	23-25	22-26	60-40	0,1
	1б (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.

Условия труда аудитории 133, 2 корпуса ТПУ соответствует допустимым нормам.

2. 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.

3. Повышенный уровень шума

Рабочее место – 133 аудитория 2 корпуса ТПУ. Оборудование – персональный компьютер.

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.

Согласно [24] уровень шума в аудитории 133, 2 корпуса ТПУ не более 80 дБА и соответствует нормам.

4. Недостаточная освещенность рабочей зоны

Рабочее место – 133 аудитория 2 корпуса ТПУ. В данной аудитории используется искусственное освещение. Для искусственного освещения

используются люминесцентные лампы ЛБ – белого цвета или ЛТБ – тепло – белого цвета, мощностью 20,40,60 Вт.

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/м².

- 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.

Согласно [25] освещенность в аудитории 133, 2 корпуса ТПУ соответствует допустимым нормам

5. Электрический ток

Основными непосредственными причинами электротравматизма, являются [23]:

- 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 76 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.

Основными техническими средствами защиты, согласно ПУЭ, являются:

1. Соблюдение соответствующих расстояний до токоведущих частей;
2. Изоляция токоведущих частей;
3. Применение блокировки аппаратов и ограждающих устройств для предотвращения ошибочных операций и доступа к токоведущим частям;
4. Использование предупреждающей сигнализации, надписей и плакатов;

Для предотвращения поражения электрическим током, где размещаются рабочее место с ЭВМ в аудитории 133, 2 корпуса ТПУ, оборудование оснащено защитным заземлением, занулением, изоляцией токоведущих проводов.

По опасности поражения электрическим током помещение 133, 2 корпуса ТПУ относится к первому классу – помещения без повышенной опасности (сухое, хорошо отапливаемое, помещение с токонепроводящими полами, с температурой $18 \div 20$ °С и влажностью $40 \div 50$ %).

Согласно ПУЭ электробезопасность в аудитории 133, 2 корпуса ТПУ соответствует допустимым нормам

5.2.3 Расчет системы воздухообмена

В аудитории 133, 2 корпуса ТПУ работают 2 человека. По табл. 36 определяем количество CO_2 , выделяемой одним человеком $g = 35$ г/ч. Тогда $x_{\text{в}}$

= 9000 мг/м³ и содержание CO₂ в наружном воздухе для больших городов x_н = 1000 мг/м³. Определяем потребный воздухообмен по формуле:

$$L = \frac{1000 * G}{x_B - x_H} = \frac{1000 * N_{\text{людей}} * g_{CO_2}}{x_B - x_H} = \frac{1000 * 2 * 35}{9000 - 1000} = 8,75 \text{ м}^3/\text{ч}$$

Таблица 36 — Количество углекислоты, выделяемой человеком при разных условиях работы

Возраст человека и характер работы	Количество CO ₂ , г/ч
Взрослые: при физической работе	68
При легкой работе (в учреждениях)	35
В состоянии покоя	35
Дети до 12 лет	18

5.3 Экологическая безопасность

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.

5.3.1 Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду

1. Выбросы в атмосферу.

В производстве метанола имеют место газовые выбросы, не поддающиеся утилизации и содержащие загрязняющие вещества, такие как окись углерода, двуокись азота, двуокись серы, метанол, аммиак. Выбросы газов в атмосферу разделяются на:

- а) постоянные и периодические выбросы газов, обусловленные ведением нормального технологического процесса;
- б) периодические выбросы газов, обусловленные нарушением технологического процесса;
- в) периодические выбросы газов в период пуска и остановки производства.

Указанные газы выбрасываются через выхлопные трубы на высоте, обеспечивающей рассеивание вредностей в приземном слое атмосферы до концентраций, не превышающих предельно-допустимых.

Все периодические сбросы газов из агрегата производства метанола М750 при пусках и выводах на нормальный режим, а также при остановках на ремонт направляются на сжигание на факел высотой 65 м, входящий в состав производства метанола, с окончательной продувкой системы азотом.

2. Выбросы в гидросферу.

Из производства метанола имеют место как постоянные, так и периодические стоки, содержащие вредные вещества. Все стоки направляются на биологическую очистку в зависимости от состава вредных веществ.

В случае аварийных остановок и остановок агрегата на ремонт для опорожнения оборудования в каждой зоне предусмотрены аварийные дренажные емкости для предотвращения залповых выбросов в окружающую среду.

В агрегате М – 750 производства метанола неиспользуемые жидкие отходы отсутствуют.

3. Выбросы в литосферу.

Твердыми выбросами производства синтеза метанола являются: отработанный катализатор гидрирования органических сернистых соединений, отработанный катализатор конверсии метана, отработанный катализатор синтеза метанола, а также отработанные адсорбенты подготовки и очистки газов.

Данные твердые отходы производства могут быть направлены на переработку в качестве вторичного сырья или вывезены в специально организованный полигон отходов для исключения загрязнения окружающей среды.

5.3.2 Анализ влияния процесса исследования на окружающую среду

В данном разделе рассматривается характер воздействия процесса исследования 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.

5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

5.4.1 Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований и обоснование мероприятий по предотвращению ЧС

Технологические процессы на установке М – 750 относятся к взрывопожароопасному производству, вследствие ведения технологического процесса при наличии горючих, взрывоопасных продуктов.

Причины возникновения пожара:

- возгорание взрывопожарных веществ от электроэнергии высокого напряжения;

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

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

Мероприятия для обеспечения безаварийной работы установки [24]:

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

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

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

Общие мероприятия для предотвращения пожара:

- оповестить пожарную охрану;
- сообщить руководству предприятия;
- включить сигнализацию, системы дымоудаления, пожаротушения;

- обеспечить эвакуацию работников, не участвующих в ликвидации пожара.

На установке М – 750 предусмотрены средства пожаротушения [25], (огнетушители – пенные ОВЭ-10 в количестве 3 шт., ОВП-10 в количестве 3 шт., углекислотные ОУ-5 в количестве 4 шт., ОУ-8 в количестве 4 шт.; кошмы, ящики с песком, лопаты и т.д.); стационарная система пенотушения открытой насосной; водяная оросительная система колонных аппаратов; пожарные краны в помещении компрессорной.

Согласно [26] пожарная безопасность соответствует допустимым нормам.

5.4.2 Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть при проведении исследований и обоснование мероприятий по предотвращению ЧС

При возникновении ЧС мирного времени (опасные природные явления, техногенные аварии) согласно [28] на территории Томской области наиболее вероятны следующие природные явления, создающие чрезвычайные ситуации и опасность при работе с ПК:

- Шторм со скоростью ветра 24,5–32,6 м/с и ураганы со скоростью ветра свыше 33 м/с могут привести к значительным и катастрофическим разрушениям и поломкам стволов деревьев, что может быть причиной нарушения и повреждения линий электропередач.
- Продолжительные сильные дожди с количеством осадков 100 мм и более за период более 12 ч и менее 48 ч.

Основную опасность для помещений, оборудованных ПЭВМ на территории г. Томска могут также представлять грозовые явления, при прямом попадании молнии может возникнуть пожар, произойти разрушение оборудования, поражение и гибель людей. Поэтому в случае грозовых явлений предусмотрена молниезащита (система, обеспечивающая перехват молнии и отвод ее в землю, тем самым, защищая здание (сооружение) от повреждения и пожара).

Для 2 корпуса ТПУ одна из наиболее вероятных ЧС это опасные гидрологические явления в виде затопления подвальных помещений, подъездных и эвакуационных путей, а также образование оползня в весенний период из-за таяния снегов. Данные вредоносные факторы могут повлиять на целостность сооружения и привести к разрушению здания. Для предотвращения ЧС разработаны инженерно-технические меры, включающие в себя: ливневые коммуникации, плановый вывоз снега, укрепления грунта насаждениями.

Наряду с другими техногенными авариями и катастрофами (пожары, взрывы, радиация, обрушение здания) в случае использования ПЭВМ необходимо рассмотреть опасность, возникающую от электричества.

Возникновение пожара считается производственной аварией, так как он наносит значительный материальный ущерб и может вызвать остановку технологического процесса. Любой пожар легче всего ликвидировать в начальной стадии, приняв меры к локализации очага, чтобы не допустить образования площади горения. Успех быстрой локализации очага пожара в начальной стадии зависит:

- от наличия огнетушительных средств и умения применять их;
- от наличия пожарной связи и сигнализации для оповещения о возникновении пожара и вызова пожарной помощи.

При загорании электрических аппаратов или веществ около проводов, находящихся под током во время тушения пожаров всегда имеется опасность поражения током. Поэтому в здании или его части, где производится тушение пожара, электрическая сеть должна быть отключена.

В случае поступления сигнала об эвакуации необходимо: обесточить все электроприборы, находящиеся на рабочем месте, перекрыть кран подачи воды, выключить освещение. Выходя из лаборатории необходимо выключить общий рубильник.

В случае стихийного бедствия или военного конфликта необходимо эвакуироваться. При стихийном бедствии необходимо оповестить всех работников об угрозе возникновения бедствия. К числу мероприятий по предотвращению и максимальному снижению последствий от стихийных бедствий относятся: строгое соблюдение специфических мер безопасности, 86 оповещение населения, специальная подготовка и оснащение формирований, оказание своевременной медицинской помощи пострадавшим

Вывод:

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

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе был проведен литературный обзор физико-химических свойств синтеза метанола, обзор математических моделей синтеза и разделения метанола и обзор современных катализаторов.

В практической части в ходе моделирования работы агрегата синтеза метанола был определен материальный баланс низкотемпературного реактора синтеза метанола, составлена инженерная модель синтеза и ректификационного разделения метанола-сырца, также были произведены гидравлический и поверочный расчеты колонн для приближения инженерной модели к реально действующей установке. Была исследована работа модели в условиях повышенной производительности.

1) При повышении производительности установки требуется увеличить расход свежего синтез-газа на 81 т/ч. Также необходимо повысить мощность циркуляционного компрессора с 11,3 МВт до 16,6 МВт.

2) В результате гидравлического и поверочного расчета было выяснено, что ситчатые тарелки в колонне основной ректификации обеспечивают более высокую производительность.

3) Для повышения производительности установки до 1,4 млн. т/год, требуется 2 колонны предварительной ректификации и 3 колонны основной ректификации. А также энергозатраты на функционирование модернизированной схемы увеличатся в 1,5 раза.

Результаты работы могут применены для модернизации текущего производства, далее возможно проводить исследования для подбора более оптимальных параметров работы установки разделения. Также возможно рассчитать рентабельность проекта осуществления модернизации производства.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Refinitiv [Электронный ресурс]: Краткий обзор российского рынка метанола по итогам 2019 года – Режим доступа: <https://www.refinitiv.ru/blog/market-insights/kratkij-obzor-rossijskogo-rynka-metanola-po-itogam-2019/>
- 2 Рынок метанола: текущая ситуация и перспективы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.ey.com/ru_ru/industrial-products/ey-methanol-market-overview
- 3 BUSINESSSTAT [Электронный ресурс]: Анализ мирового рынка метанола в 2013 – 2017 гг, прогноз на 2018 – 2022 гг. – Режим доступа: <http://marketing.rbc.ru>
- 4 Караваев М. М. Технология синтетического метанола / М. М. Караваев [и др.]. — Москва: Химия, 1984.
- 5 Чернышев А.К. Метанол: свойства, производство, применение / А. К. Чернышев [и др.] ; Инфохим . — Москва : Инфохим , 2011 т. 1 — 2011. — 411 с.
- 6 Сазонов И.В. Катализаторы синтеза метанола. // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 2010. - №2. – с. 117 – 122.
- 7 Академия Конъюнктуры Промышленных Рынков. Обзор современных катализаторов синтеза метанола [Электронный ресурс]. — Режим доступа. — URL: http://newchemistry.ru/letter.php?n_id=883
- 8 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.
- 9 Попок Е.В., Юрьев Е.М., Кравцов А.В. Исследование синтеза метанола на моделирующей программе // Издательство Томского политехнического университета. – 2011 г
- 10 Кемалов Р.А. Технологии получения и применения метанола: учебное пособие / Р.А. Кемалов, А.Ф. Кемалов Р. - Казань: Изд-во Казан. ун-та, 2017. –167с

- 11 Электронный Интернет-ресурс. Реакторы для синтеза метанола при низком давлении. <http://e-him.ru/?page=dynamic§ion=49&article=531>
- 12 Розовский А.Я., Лин Г.И. Теоретические основы процесса синтеза метанола. – М.:Химия, 1990. – 272 с.
- 13 Новиков, Александр Автономович. Прикладная кинетика процессов на основе синтез-газа / А. А. Новиков; Томский политехнический университет. — Томск: Изд-во Томского ун-та, 2001. — 154 с.
- 14 ОСТ 26-805-73 Тарелки ситчатые колонных аппаратов. Типы и параметры. Конструкция и размеры.
- 15 ОСТ 26-02-1401-76 Тарелки клапанные прямоточные для аппаратов колонного типа. Параметры, конструкция и основные размеры.
- 16 ОСТ 26-01-66-86 Тарелки колпачковые стальных колонных аппаратов. Параметры, конструкция и размеры.
- 17 Гаврикова Н.А., Тухватулина Л.Р., Видяев И.Г. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение, Издательство Томского политехнического университета, 2014 год.
- 18 Приказ от 12апреля 2011г. N 302н – «Об утверждении перечня вредных и(или)опасных производственных факторов и работ, при выполнении которых проводятся предварительные и периодические медицинские осмотры (обследования), и порядка проведения обязательных предварительных и периодических медицинских осмотров(обследований) работников, занятых на тяжелых работах с вредными и (или) опасными условиями труда».
- 19 Конституция Российской Федерации (принята всенародным голосованием 12.12.1993) (с учетом поправок, внесенных Законами РФ о поправках к Конституции РФ от 30.12.2008 № 6-ФКЗ, от 30.12.2008 № 7- 95 ФКЗ, от 05.02.2014 № 2-ФКЗ, от 21.07.2014 № 11-ФКЗ) // Собрание законодательства РФ. - 04.08.2014. - № 31. - ст. 4398; Официальный интернет-портал правовой информации - <http://pravo.gov.ru/> - 2014. - 21 июля.

20 Федеральный закон от 17.07.1999 N 181-ФЗ "Об основах охраны труда в Российской Федерации" (ред. от 09.05.2005, с изм. от 26.12.2005) // СПС Консультант.

21 ГОСТ 12.0.003-2015. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация. - М.: Стандартинформ, 2010. – 20с.

22 ГОСТ 12.1.003-2014. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Шум. Общие требования безопасности. - М.: Стандартинформ, 2015. – 28с.

23 СНиП 23-05-95 «Естественное и искусственное освещение»

24 ГОСТ Р 12.1.019-2009 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.

25 Горячев С.А., Клубань В.С. Пожарная профилактика технологических процессов производств. М.: ВИПТШ МВД СССР, 1983.

26 Приказ Ростехнадзора от 25.03.2014 N 116 [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/542627299> (дата обращения 05.05.2020).

27 СНиП 21-01-97*. Пожарная безопасность зданий и сооружений (с Изменениями N 1, 2). - М.: ГУП ЦПП, 2002. – 38с.

28 Евсеева Н.С., Ромашова Т.В. Опасные метеорологические явления как составная часть природного риска (на примере юга Томской области) // Вестник Томского государственного университета. – 2011. – №353. – с. 199-204.

Приложение А

Part 1

Modeling of the raw methanol separation scheme. (Literary review)

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2ДМ12	Бальжитов Дашанима Баясхаланович		

Руководитель ВКР:

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

Консультант – лингвист отделения иностранных языков ШБИП:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОИЯ ШБИП	Уткина Анна Николаевна	к.филос.н.		

Methanol is one of the basic products of the chemical industry and is used in various fields. The main amount of methanol is spent on obtaining formaldehyde. Methanol is also used as a solvent and extractant, for energy purposes as a component of motor fuels and for the synthesis of methyl tert-butyl ether, a high-octane fuel additive. Recently, new promising directions for the use of methanol have been outlined, such as the production of acetic acid, wastewater treatment, the production of synthetic protein, conversion to hydrocarbons in order to obtain fuel.

Over the past three years, there has been an increase in methanol production in Russia. In 2019, Russia produced 4.46 million tons of methanol, which is approximately 5% of the world production volume [1]. Figure 1 shows the dynamics of the structure of methanol consumption in the main areas.

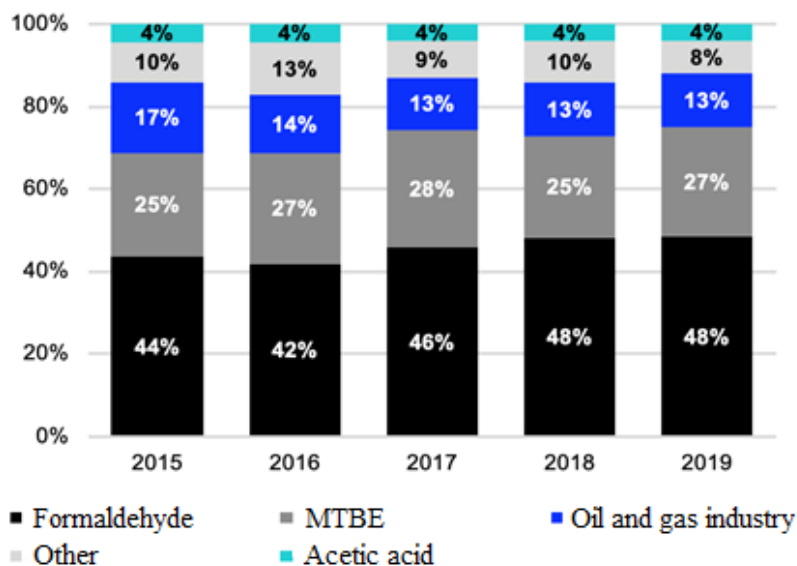


Figure 1 - Dynamics of the structure of methanol consumption in Russia [1].

The raw material for the production of methanol is mainly natural gas (mainly methane). Also known, but less common, are schemes for using oil refining waste, coking coal as a raw material for producing synthesis gas. There are projects to obtain methanol from plant and animal biomass (grain and seed husks, dry leaves, manure, litter), as well as from organic waste.

More than 90 companies are currently represented on the world methanol market. Figure 2 shows the largest Russian methanol producers in 2020: Metafrax,

Sibmetakhim, Tomet, Shchekinoazot and others.

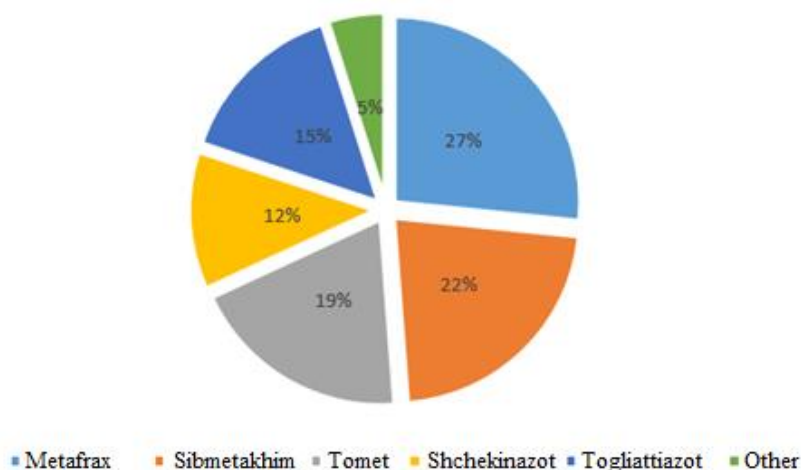


Figure 2 - The structure of methanol production in Russia [1].

The total capacity of methanol production in the world is estimated at the level of 125 million tons per year, the capacities of the 10 world's leading methanol producers account for 40% of the total world effective capacity (thousand tons, 2019) [2]:

Table 1 - Leading global producers of methanol

No	Company	Regions of presence	Power, thousand tons	Fuel
1	Methanex	USA, Chile, Egypt, Canada	9380	Gas
2	Yankuang Group	China	9000	Coal
3	PETRONAS	ATP	7800	Gas
4	Mitsubishi Gas Chemical	Saudi Arabia, Venezuela, Brunei	7300	Gas
5	Methanol Holdings	Trinidad	4100	Gas
6	Zhongtian Synergetic Energy	China	3600	Coal
7	Zagros Petrochemical	Iran	3300	Gas
8	OCINV	USA	1800	Gas
9	CNCEC	China	1800	Coal
10	China Petroleum	China	1800	Coal

For 2016-2020, the average world price of methanol imports decreased by 17.5% [3]: from 386.0 to 318.4 dollars per ton. In 2016-2017, the value of the

indicators decreased due to the fall in oil prices in these years. Methanol prices are closely related to oil prices, since a significant part of the demand for methanol is driven by the demand for fuel, especially in China, the largest consumer and producer of methanol in the world [3].

The growth in global demand for methanol is due to the growth in demand for the main chemical compounds obtained from methanol, and the emergence of new directions for its use. In this regard, the creation of new and increase in the capacity of existing methanol plants is a key direction in the field of mathematical modeling of this process.

The purpose of this work is to study the parameters (modes) of operation of the methanol synthesis unit of LLC Gazprom Methanol M - 750, in the course of increasing the feedstock consumption for the reactor from 2200 to 6600 thousand nm^3 / h using a mathematical model of methanol synthesis and a specialized program for calculating the gas-liquid balance.

To achieve this goal, calculations were carried out on a computer program for the process of methanol synthesis and investigated:

- 1) The dependence of the increase in methanol consumption with increasing pressure and feedstock consumption in the methanol synthesis reactor.
- 2) Study of the activity of the catalyst with an increase in the flow of raw materials into the reactor.
- 3) Calculation of the compressor power required to provide the required methanol flow.

2. PHYSICO-CHEMICAL REGULARITIES OF METHANOL PRODUCTION

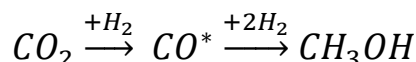
This section will discuss the mechanism of methanol formation, synthesis thermodynamics, reaction kinetics and catalysts that are used in the production of methanol.

1.1 Mechanism of methanol formation

The synthesis of methanol is a complex heterogeneous catalytic process, accompanied by the formation of by-products in sequential and parallel stages of

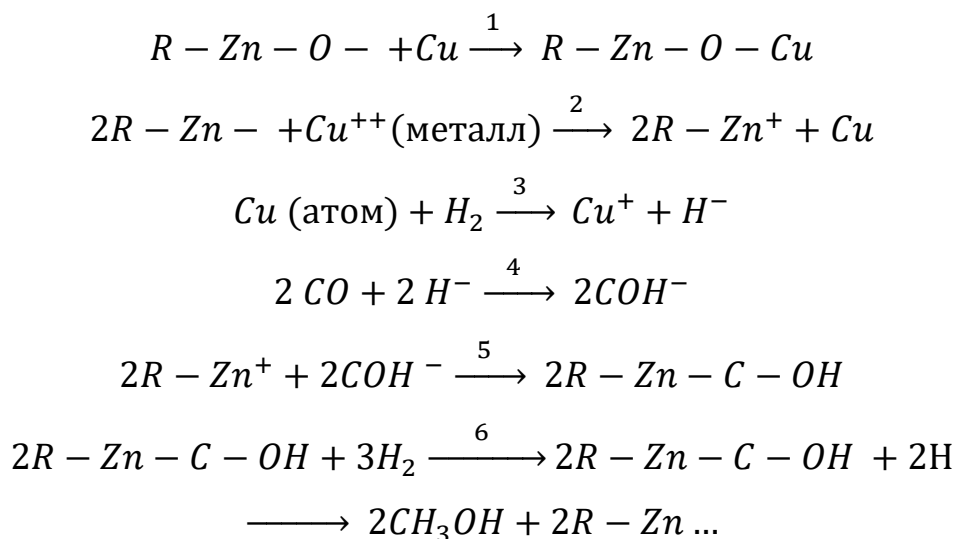
the reaction. Under the influence of impurities in the source gas and the composition of the reaction medium, the catalyst changes its chemical composition over time and stimulates the development of qualitatively new processes.

When studying the formation of methanol from H₂ and CO₂ on a copper-aluminum catalyst, it was experimentally proved that the formation of methanol from carbon dioxide and hydrogen proceeds according to a sequential mechanism [4]:



those characteristic for synthesis on zinc-chromium catalyst.

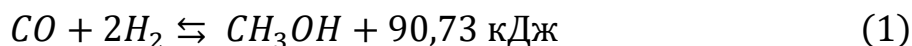
Carbon dioxide is also involved in phase transformations on the catalyst surface. For example, on a zinc-copper catalyst, the synthesis can be described by the following steps:

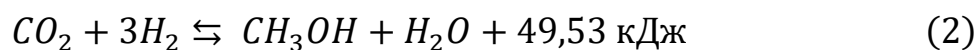


According to stage 3, the atomic copper contained in the catalyst activates hydrogen - upon formation of copper hydride, hydrogen dissociates into atoms and is chemisorbed on the contact surface.

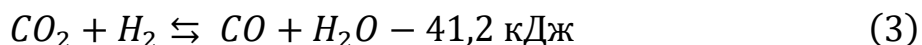
1.2 Thermodynamics of synthesis

The main reactions of methanol formation are the interaction of carbon monoxide and carbon dioxide with hydrogen (reactions 1 and 2) - reversible and exothermic reactions [4]:





The thermal effect of the reaction between carbon monoxide and hydrogen slightly increases with increasing temperature [5]. In addition to these reactions, during the synthesis of methanol, an endothermic reversible reaction of the interaction of carbon dioxide and hydrogen occurs - reaction 3.



Experimental determination of the equilibrium constant of the reaction of interaction between carbon monoxide and hydrogen led to significant errors. Good agreement with the experimental data is given by the equation [5]:

$$\lg K_p = \frac{3748,7}{T} - 9,2833 \cdot \lg T + 3,1475 \cdot 10^{-3} \cdot T - 4,2613 \cdot 10^{-7} \cdot T^2 + 13,8144$$

With an increase in temperature, the equilibrium concentration of methanol decreases; under the conditions of low-temperature synthesis (9.8 and 29.4 MPa), the equilibrium concentration decreases by 54 and 6 times, respectively, while water, on the contrary, increases by 5 and 2 times [4]. Under the same conditions, the content of carbon dioxide in the equilibrium mixture decreases, and carbon monoxide increases. The degree of conversion of oxides of carbon and hydrogen decreases with increasing temperature.

An increase in pressure promotes a deeper processing of carbon oxides, especially CO, which follows from the stoichiometry of reactions 1 and 3, the synthesis of methanol proceeds with a decrease in volume, and the reduction of carbon does not change it [4].

In practical conditions, based on the feedstock used, technological prerequisites, technical and economic considerations and requirements for the quality of methanol, the parameters of the synthesis process are set for each specific case. Moreover, the requirements justified from the point of view of the thermodynamics of the process may not be acceptable for practice.

1.3 Synthesis catalysts

Intensification of methanol production, creation of large single-line plants and improvement of the quality of the commercial product during are largely determined by the activity, selectivity, and thermal stability of the catalysts used.

In connection with the change in the raw material base (transition to natural gas), the improvement of gas purification methods and the development of technology in a number of countries, zinc-copper-aluminum and zinc-copper catalysts are used. Catalysts containing copper are more active than zinc-chromium catalysts, and their maximum activity is observed at 220–260°C. Because of this feature, copper-based catalysts are usually referred to as low-temperature catalysts. Their high activity at low temperatures allows the process to be carried out at a pressure below 20 MPa, which greatly simplifies the instrumentation. The development of purification methods has played an important role in displacing zinc-chromium catalysts with second-generation catalysts based on copper-containing systems. Therefore, back in the 60s of the last century, after the appearance of ICI developments, almost all newly commissioned methanol production plants operated at low pressure on copper-containing catalysts, which made it possible to reduce the concentration of by-products and improve the quality of raw methanol [6].

Currently, industry uses low-temperature methanol synthesis catalysts (zinc-copper-aluminum, zinc-chromium-copper and other copper-containing contacts). Their production includes two main stages: the preparation of the contact mass and its restoration to an active state.

Lowering the temperature of methanol synthesis promotes an increase in the equilibrium yields of methanol, an increase in the selectivity of the process, and allows it to be carried out at reduced pressures. It has been established that a significant decrease in temperature in the methanol synthesis reaction can be achieved in the presence of copper-based catalysts with its composition with zinc, aluminum, chromium, manganese, sodium, and other elements [5].

The world leaders in the production of methanol synthesis catalysts are such large and world-famous companies as Johnson Matthey (Great Britain), Sud-Chemie

AG (Germany), Haldor Topsoe (Denmark). The methanol synthesis catalysts offered by these companies cover almost the entire world market.

Let's consider actual low-temperature catalysts of the manufacturers listed above.

1.3.1 Johnson Matthey Catalysts

Johnson Matthey catalysts of the Katalco-51 series have found wide application in the world practice of methanol synthesis. In addition to the usual ZnO–Al₂O₃ support, such catalysts also contain magnesium oxide (MgO), which promotes the distribution and fixation of copper atoms on the catalyst surface. Thus, catalysts of the Katalco-51 series have increased activity in the last stages of their service life.

For example, at an operating plant with a capacity of 2000 tons per day, after 4 years of using the catalyst, its activity was increased by 25%. In the last stages of operation, in comparison with most other existing catalysts, the performance on this catalyst is about 3.5% higher [6].

Johnson Matthey catalysts are actively used in 3 largest Russian methanol production facilities - Methanol OJSC (Tomsk), Metafrax OJSC (Gubakha), Togliattiazot OJSC. Catalysts were also used at Akron PJSC (Novgorod).

1.3.2 Sud-Chemie AG Catalysts

Sud-Chemie AG catalysts are characterized by better selectivity, long service life, and best performance. Recently, a new catalyst C 79-7 GL has been developed, which combines a long service life with high activity (up to 7 years) and highselectivity. Below are the results of its operation at the plant in Al-Jubrail. (Figure 3).

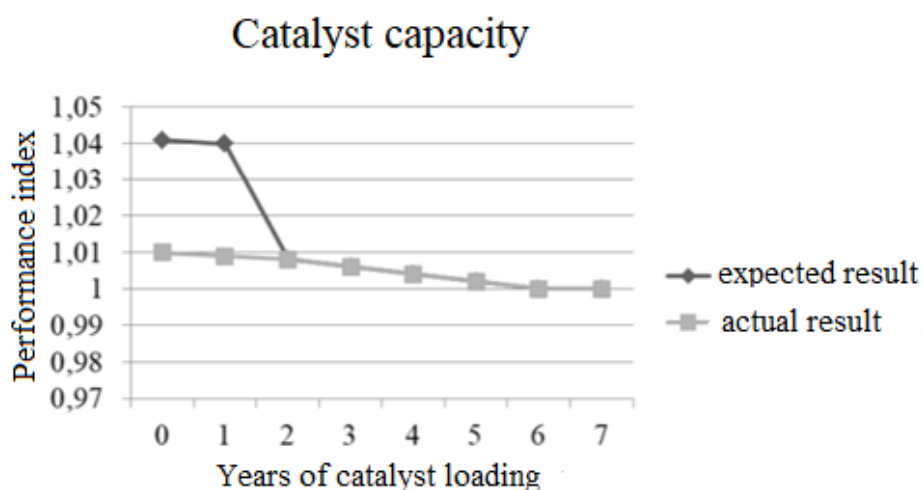


Figure 3—Characteristics of the operation of the catalyst C 79–7 GL [6].

Figure 3 compares the predicted methanol performance index with the actual one. The decrease in the productivity index was mainly due to fluctuations in the composition of the feed gas, which smoothed out with an increase in the content of inert components. The predicted efficiency in this case is very good: 95% for 7 years. Typically, the durability of methanol catalysts varies between 4 and 6 years.

During the synthesis of methanol, a certain amount of by-products is formed, the main of which are ethanol, higher alcohols and acetone. In this respect, the catalyst far outperformed forecasts.

Despite the fact that the guaranteed service life is 5 years, however, the expected service life reaches 7 years. The catalyst showed very high activity at start, and relatively fast deactivation, which is often found in methanol catalysts, was not observed in this case.

In Russia, catalysts C 79–5 GL and C 79–6 GL are actively used at OAO Akron (Veliky Novgorod).

1.3.3 Haldor Topsoe Catalysts

The company developed and produced a methanol synthesis catalyst MK-101 (1984) and a newer and more advanced catalyst MK-121 (1999) [6].

Catalyst MK-101 has a high and stable catalytic activity, which ensures optimal efficiency in the use of hydrocarbon feedstock. It also has high selectivity. The recommended operating temperature range for it is 205 - 310°C. Short-term

exposure to high temperatures up to 350°C is also possible. The catalyst is designed for operating pressures of 4 - 12 MPa, but is not limited to them.

Thermal aging and agglomeration of the catalyst leads to a slow natural decrease in catalytic activity. This process manifests itself to the greatest extent in the first year of operation, after which the catalyst becomes stable.

The expected service life of the MK-101 catalyst is 3-6 years, depending on the design of the unit and the installed volume of the catalyst. In 1999, the company developed the MK-121 methanol synthesis catalyst. This catalyst has 10% higher activity, higher activity stability, and also higher selectivity (approximately 15%) than MK-101.

In Russia, the company's catalysts were used at OAO Akron (Novgorod).

1.3.4 Production of methanol synthesis catalysts in the CIS

There are at least three manufactures of methanol synthesis catalysts in the CIS countries. The largest of them is located in Ukraine at the Severodonetsk State Enterprise "Associations Azot", where zinc-chromium catalysts CMC-4 (Severodonetsk methanol medium-temperature) and copper-zinc-chromium catalysts CMC-5 were produced. CMC-4 zinc-chromium catalyst, $ZnCr_2O_3 \cdot 3ZnO$, nonflammable dark green powder. Chemical composition: 65% ZnO, 31% Cr₂O₃, 1% H₂O, 3% graphite.

The SMS-4 catalyst is available in unreduced or reconstituted form in the form of cylindrical pellets.

The Chirchik Production Association "Elektrokhimprom" (Uzbekistan) produced copper-zinc-aluminum catalysts of the coprecipitated-mixed type SNM-1 (Severodonetsk low-temperature methanol). The chemical composition of the unreduced sample is as follows: 52 - 54% CuO, 26 - 28% ZnO, 5 - 6% Al₂O₃, bulk density 1.3 - 1.5 kg/m³, specific surface 80 - 90 m²/g, porosity ~ 50% [6].

At the Novomoskovsky NIAP plant (Russia, Tula region), copper-zinc-chromium-aluminum catalysts DV-8-1 and DV-8-2 were produced. This type of catalyst is no longer produced.

These types of catalysts were mainly focused on high-temperature production, the number of which was rapidly decreasing, because the methanol produced by high temperature synthesis was of poor quality.

After a while, the production of SNM-U catalysts (Severodonetsk low-temperature methanol universal) began at the Novomoskovsky NIAP plant, which were not inferior to Western catalysts in activity, selectivity and price. It is actively used at factories in Severodonetsk, Shchekino, Novomoskovsk, Grodno and at the installation of the ACHEMA company in Lithuania. This is the only domestic methanol synthesis catalyst that has prospects in the CIS market.

In conclusion, we can say that all of the listed catalysts have their pros and cons. However, the most rational in use, as well as the most common catalyst is the SNM-U catalyst [7]. But, unfortunately, with the development of technology, even such a universal catalyst will soon find its replacement in the synthesis of methanol.

1.4 Deactivation of methanol synthesis catalysts

Catalyst deactivation can be reversible or irreversible. With reversible deactivation, the active centers of the catalyst are blocked by polymer formations or hydrocarbon deposits. Access to the active sites of the catalyst can be restored by regeneration, usually by oxidation with oxygen. In case of irreversible deactivation, the catalyst cannot be regenerated, because already the chemical (poisoning) or physical (sintering) structure of the catalyst changes [6].

A decrease in the activity of a catalyst (deactivation) usually leads to a toughening of the process conditions. In real methanol synthesis processes, a decrease in catalyst activity is compensated by an increase in the temperature of the feedstock entering the catalyst bed.

Before being fed into the reactor, the synthesis gas must not contain harmful substances that could damage the catalyst. Methanol synthesis catalysts are poisoned by heavy and alkali metals, arsenic or chlorine in free form or in the form of complex compounds. That is why synthesis gas is purified from harmful substances even at the stage of its production from natural gas.

The main reason for the deactivation of low-temperature methanol synthesis catalysts can be associated with the destruction of the active centers (ZnCu-centers) of the catalyst, under the influence of temperature. The activity of low-temperature methanol synthesis catalysts decreases the faster, the higher the temperature of the medium in which they operate. Therefore, at the initial stages of the catalyst, the synthesis of methanol is tried to be carried out at the lowest temperature.

Catalyst deactivation is often characterized by the performance of the reactor. When the performance of the reactor becomes unreasonable for the enterprise, the catalyst is regenerated or replaced with a new one. The average service life of low-temperature methanol synthesis catalysts varies from 4 to 6 years.

1.5 Technological schemes for the synthesis of methanol

Reducing the process temperature promotes an increase in the equilibrium yields of methanol, an increase in the selectivity of the process, and allows it to be carried out at reduced pressures. That is why technological schemes for the synthesis of methanol on low-temperature catalysts under reduced pressure have become widespread. The process is carried out mainly at 5–10 MPa on copper-containing catalysts with gas circulation.

The main feature is that the source gas for the synthesis of methanol on a low-temperature copper-containing catalyst must be thoroughly purified from catalytic poisons (sulfur, chlorine). Natural gas contains sulfur compounds 10 - 300 mg/m³, the content of which in natural gas should not exceed 0.5 mg/m³. The sulfur content in fresh gas (source + circulation) should not exceed 0.15 mg/m³ [8]. In this regard, the scheme is of great interest, since sulfur compounds in natural gas are absorbed by acetylene solvents. The scheme for obtaining methanol from synthesis gas (Figure 4) is compact and efficient. Production capacities are determined by the natural gas resource and usually reach 100–110 million tons per year [10].

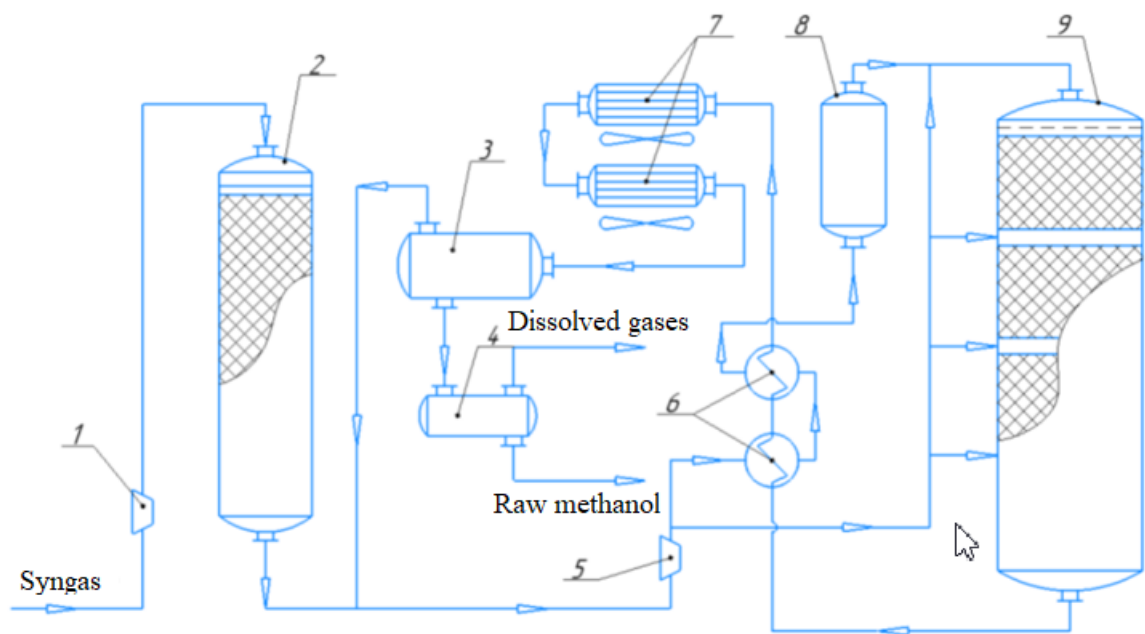


Figure 4 - Scheme for the synthesis of methanol under a pressure of 5 MPa:

- 1, 5 - compressors; 2 - filter; 3 - separator; 4 - collection;
- 6 - heat exchangers; 7 - air coolers;
- 8 – electric heater; 9 – reactor [4].

Synthesis gas is fed to turbocompressor 1, purified from acetylene solvent vapors on carbon filter 2, and mixed with the circulation gas. To control the ratio of reactants, a gas with a high hydrogen content (12-16% rel.) is added to the synthesis gas, such as a purge gas from high-pressure methanol production. Gas circulation is provided by a centrifugal compressor 5. The circulating gas, passing through a heat exchanger 6 and an electric heater 8, enters the shaft synthesis reactor 9. The process temperature is lowered by supplying a bypass gas flow to the catalyst bed, which is distributed using specially designed mixing chambers.

The gas temperature at the inlet to the reactor is 205 - 225°C, the maximum temperature in the catalyst bed is 290°C. The circulation gas leaving the reactor gives off heat to the gas entering the reactor in recuperative heat exchangers 6 and is sent to air coolers-condensers 7. Condensed methanol, water and other by-products are separated in separator 3. Raw methanol from collector 4 is sent for rectification. The circulating gas from the separator returns to the suction line of the circulating compressor 5. The disadvantage of the scheme is the use of turbocompressors with

electric drives, which leads to the consumption of electricity up to 800–900 kWh/t [4].

Figure 5 shows a scheme for the synthesis of methanol with a unit with a capacity of 300 - 400 thousand tons per year at a pressure of 5 - 9 MPa from gas obtained by methane conversion in tube furnaces.

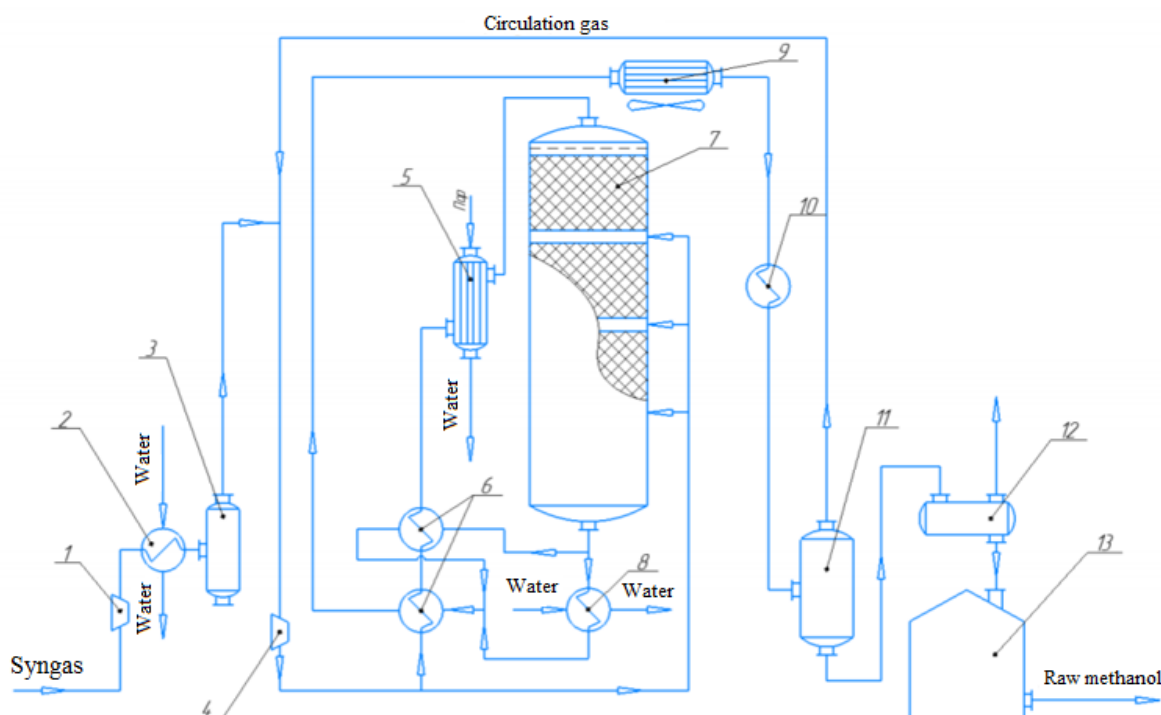


Figure 5 - Scheme for the synthesis of methanol under a pressure of 9 MPa:

1, 4 - compressors; 2, 10 - refrigerators; 3, 11 - separators; 5 - heater; 6 - heat exchangers; 7 - reactor; 8 – condensate heater; 9 - air cooler, 12 - collector, 13 - storage of raw methanol. [4]

Booster and circulating compressors are driven by superheated steam obtained directly in the unit. The source gas with a pressure of 1.2 - 2.2 MPa is compressed by a compressor to a pressure of 5.0 - 9.0 MPa. The pressure before and after the compressor is determined by the gas treatment scheme and the pressure in the methanol synthesis cycle. The difference between the schemes for the synthesis of methanol at a pressure of 5 and 9 MPa is the use of a catalyst: at a higher pressure, a somewhat less active, but more heat-resistant catalyst is used [8].

The mixture of initial and circulating gases is heated to the temperature of the beginning of the reaction in the recuperative heat exchanger 6 and enters the steam heater 5. The latter is used when the reactor is heated and in case of violations of the technological regime. Heated to 205 - 225 °C, the circulation gas is sent to the shaft synthesis reactor 7, in which the formation of methanol 24 takes place on a copper-containing catalyst. The temperature is maintained over the catalyst layers in the reactor by introducing cold gas [11].

The technological schemes currently used do not fundamentally differ from the scheme shown in Figure 5.

The industrial facility from which the initial data for modeling the process was taken is the installation of the methanol synthesis reactor unit of the M-750 unit. Figure 7 shows a schematic diagram of the methanol synthesis reactor unit of the M-750 unit.

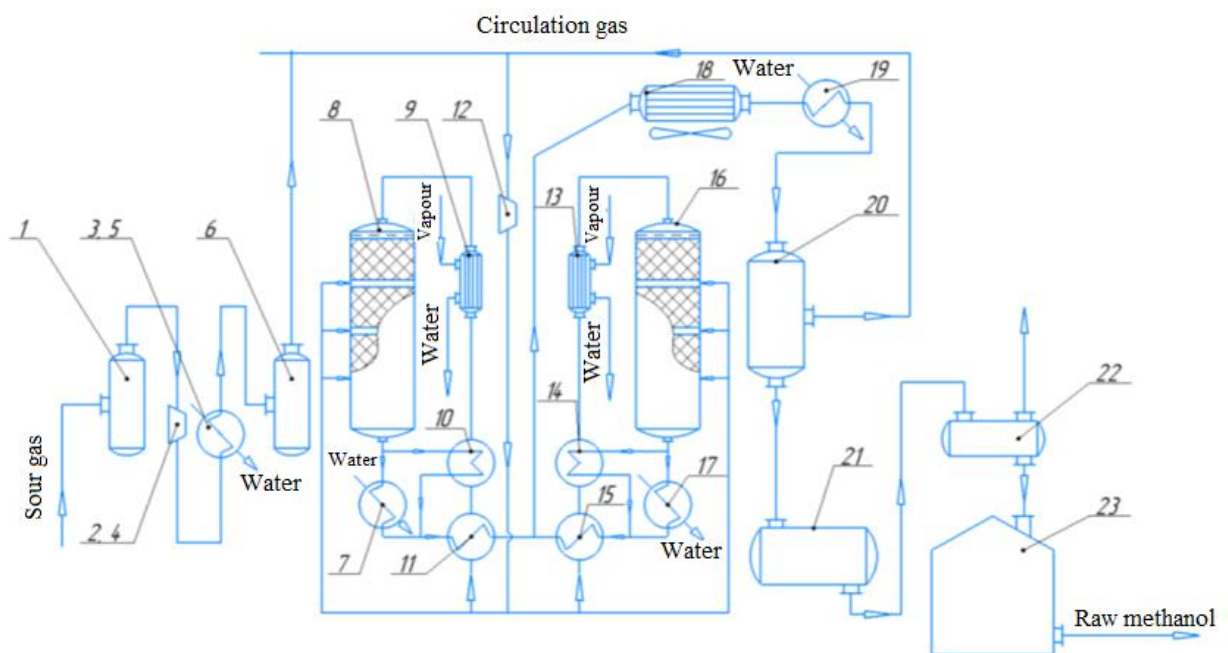


Figure 6 - Scheme of methanol synthesis at the unit with a capacity of 750 thousand tons / year: 1, 6, 20 - separators; 2, 4, 12 - compressors; 3, 5 - refrigerators; 7, 17 – condensate heaters; 8, 16 - reactors; 9, 13 – steam heater; 10, 11, 14, 15 - recovery heat exchangers; 18, 19 - refrigerators condenser; 21 - collection; 22 - degasser; 23 - storage of raw methanol.

The converted gas obtained by steam reforming of methane in tube furnaces is compressed by a two-stage compressor 2, 4 from 1.5 to 7.7 MPa and mixed with the circulation gas (Figure 6). After each compressor stage, the gas is cooled in refrigerators 3, 5, the condensed moisture is separated in separators 1, 6. The compressor stages are driven by steam turbines using steam 41 at a pressure of 10.4 MPa and a temperature of 490°C.

The heat of the reacted gas leaving the synthesis column is used to heat the feed water of waste heat boilers in heaters 7 and 17 and to heat the gas entering the column in heat exchangers 10 and 14.

Fresh synthesis gas, mixed with the circulation gas, is divided into two streams and fed to the main synthesis reactors. The first stream, having passed the cascade of recuperative heat exchangers, enters the main synthesis reactors 8, 16. The second stream is directed to create a bypass stream intended for intermediate cooling of the reaction zone after each catalyst shelf.

The heat of the reacted gas leaving the synthesis column is used to heat the feed water of waste heat boilers in heaters 7 and 17 and to heat the gas entering the column in heat exchangers 10 and 14.

The gas-product mixture, having passed through a cascade of heat exchangers, is sent for cooling to an air cooler 18 and a water cooler 19, and then to separation in a separator 20. The separated gas is sent back to mixing with fresh synthesis gas, and a mixture of methanol and water (raw methanol), passing through the collection 21 is sent to the degasser 22. The obtained methanol - raw is collected in storage 23, after which it is sent for rectification [12].

The methanol synthesis reactor is a cylindrical apparatus with a diameter of 4.38 m and a height of 17.5 m. . The mixing device is a torus with a generatrix diameter of 140 mm. 480 holes with a diameter of 6 mm are evenly distributed around the entire circumference of the device for mixing the cold bypass flow with the gas-product mixture in the reactor. The use of devices of this design makes it possible to achieve uniform mixing of gas flows and avoid local zones of gas overheating [4].

The technological solutions used in the scheme take into account the physicochemical features of the methanol synthesis process. Intensive circulation provides high linear velocities in the reactors and, consequently, the removal of diffusion restrictions of local thermal stresses, reduces to a minimum the occurrence of side reactions of hydrocarbon formation. Cold bypass flows maintain the overall heat balance of the reactors and the specified temperature profile within 210–290°C [4].

A significant difference in the condensation temperature of the reaction product (a mixture of methanol and water) and other components of the reaction mixture (CO, CO₂, H₂) makes it quite easy to isolate raw methanol at a temperature of about 40°C and reuse the circulation gas in the synthesis. For these purposes, gas separators are used in the reactor circuit.