

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

Институт электронного обучения

Специальность Химическая технология природных энергоносителей и углеродных материалов

Кафедра химической технологии топлива и кибернетики

ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ/РАБОТА

Тема работы
Увеличение производительности трубчатой печи конверсии природного газа

УДК_66.041.45:665.632

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5201	Винниченко Святослав Георгиевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ассистент	Назарова Г.Ю.			

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

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

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Антоневич О.А.	к.б.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ХТТ и ХК	Юрьев Е. М.	к.т.н.		

Томск – 2016 г.

Министерство образования и науки Российской Федерации

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования

«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»



Институт электронного обучения

Направление подготовки (специальность) 240403 Химическая технология природных
энергоносителей и углеродных материалов

Кафедра Химической технологии топлива и химической кибернетики

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой

_____ Юрьев Е.М.

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

<i>Дипломного проекта</i>
(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
3-5201	Винниченко Святославу Георгиевичу

Тема работы:

<i>Увеличение производительности трубчатой печи конверсии природного газа</i>	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	от <u>03.03.2016 г. №1778/с</u>

Срок сдачи студентом выполненной работы:	20.05.2016 г.
--	---------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе (наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).	Объектом исследования является установка паровой конверсии природного газа М-750. Производительность установки – 750 тыс.т/год (2500 т/сут) метанола-ректификата. Режим работы – непрерывный; вид сырья – природный газ. Исходные данные – технологический режим работы установки паровой конверсии природного газа, состав сырья и продукта, аппаратное оформление процесса (чертеж трубчатой печи паровой конверсии метана).
---	---

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов (аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).	Введение 1. Обзор литературы 1.1 Современные технологии производства метанола 1.2 Катализаторы паровой конверсии природного газа 1.3 Способы увеличения производительности установок паровой конверсии природного газа 2. Объект исследования 2.1 Описание технологической схемы конверсии метана 2.2 Физико-химические основы процесса паровой конверсии природного газа 2.3 Влияние температуры и давления на состав конвертированного газа 2.4 Образование углерода в процессе паровой конверсии природного газа 2.5 Физико-химические основы синтеза метанола 3. Увеличение производительности трубчатой печи конверсии природного газа 3.1 Расчет внутреннего диаметра труб и объема катализатора 3.2 Тепловой расчет печи 4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение 5. Социальная ответственность Заключение Список использованных источников
Перечень графического материала	Чертеж трубчатой печи паровой конверсии метана
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы (с указанием разделов)	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Рыжакина Татьяна Гавриловна, Кафедра менеджмента, Доцент
Социальная ответственность	Антоневич Ольга Алексеевна, Кафедра экологии и безопасности жизнедеятельности, Доцент

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	
--	--

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Асс. каф. ХТТ и ХК	Назарова Г.Ю..			14.03.16 г.

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5201	Винниченко С.Г.		14.03.16 г.

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

Студенту:

Группа		ФИО	
3-5201		Винниченко Святослав Георгиевич	
Институт	Институт электронного обучения	Кафедра	Химической технологии топлива и химической кибернетики
Уровень образования	Специалитет	Направление/специальность	240403 Химическая технология природных энергоносителей и углеродных материалов

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

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

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала проекта	Проведение предпроектного анализа. Определение целевого рынка и проведение его сегментирования. Выполнение SWOT-анализа проекта
2. Разработка устава научно-технического проекта	Определение целей и ожиданий, требований проекта. Определение заинтересованных сторон и их ожиданий.
3. Планирование процесса управления проектом: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	Определение производственной мощности. Расчет сырья, материалов, оборудования, фонда оплаты труда. Расчет себестоимости готового продукта. Расчет точки безубыточности.
4. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	Проведение оценки экономической эффективности установки М-750 по производству метанола.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Расчет точки безубыточности графическим и математическим методами.
2. Расчет технико-экономических показателей
3. Расчёт чистого денежного потока
4. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности проекта

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Рыжакина Татьяна Гавриловна	Кандидат экономических наук		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5201	Винниченко Святослав Георгиевич		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:-

Группа	ФИО
3-5201	Винниченко Святослав Георгиевич

Институт	Институт электронного обучения	Кафедра	Химической технологии топлива и химической кибернетики
Уровень образования	Специалитет	Направление/специальность	240403 Химическая технология природных энергоносителей и углеродных материалов

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	<i>Установка М-750 по производству метанола. СН₃ОН, простейший одноатомный спирт, бесцветная ядовитая жидкость.</i> <i>Количество технологических стадий:</i> - компримирование природного газа; - двухступенчатая очистка природного газа от сернистых соединений; - каталитическая конверсия углеводородов очищенного природного газа с водяным паром; - компримирование полученного синтез-газа; - синтез метанола; - двух стадийная ректификация метанола-сырца. <i>Область применения метанола, как важнейшего химического сырья и компонента для производства моторного топлива, так же применяют для выпуска формальдегида, МТБЭ (метил-трет-бутиловый эфир) и других компонентов.</i>
--	--

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Производственная безопасность 1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности: – физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой; – действие фактора на организм человека; – приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); – предлагаемые средства защиты; – (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства).	1.1 повышенный уровень шума на рабочем месте (ГОСТ 12.1.003–83 ССБТ); 1.2 недостаточная освещенность рабочей зоны (СП 52.13330.2011); 1.3 повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны (ГОСТ 12.1.005-88. ССБТ); 1.4 пожаровзрывобезопасность (причины: отступление от норм установленного технологического режима эксплуатации; разгерметизация фланцев трубопроводов или аппаратов; неисправность средств сигнализации и блокировки технологического
--	---

1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности: – механические опасности (источники, средства защиты); – термические опасности (источники, средства защиты); – электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты); – пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения).	<i>процесса; несоблюдение инструкций по промышленной безопасности и противопожарных правил. Средства пожаротушения: ручные порошковые огнетушители ОП-5; углекислотные огнетушители ОУ-5; пар, азот).</i>
2. Экологическая безопасность: – защита селитебной зоны – анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); – анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); – анализ воздействия объекта на литосферу (отходы); – разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.	– <i>Анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы): Среди загрязнений воздушной среды основными выбросами являются окись углерода, двуокись азота, двуокись серы, метанол, аммиака.</i> – <i>Анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы): В зависимости от состава вредных веществ, все стоки направляются на биологическую очистку.</i> – <i>Анализ воздействия объекта на литосферу (отходы): Все твёрдые отходы производства могут быть направлены на переработку в качестве вторичного сырья или вывезены на специально организованный полигон.</i>
3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях: – перечень 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.	- <i>токсические поражения, пожары, взрывы, угроза взрывов;</i> - <i>Меры:</i> 1. <i>Не допускать нарушения нормального технологического режима.</i> 2. <i>Обеспечивать необходимую плотность всех соединений аппаратов и трубопроводов.</i> 3. <i>Обеспечивать бесперебойную работу вентиляционных устройств помещений.</i> 4. <i>Обеспечивать бесперебойную работу сигнализации, контрольно-измерительных и автоматических приборов и блокировок, а также бесперебойное снабжение производства электроэнергией и осушенным воздухом КИП.</i> 5. <i>Действия персонала при нормальной работе, пусках, остановках и аварийных ситуациях должны быть регламентированы соответствующими инструкциями.</i> 6. <i>Поддерживать в работоспособном состоянии приборы, сигнализирующие наличие горючих и вредных газов в воздухе помещений, нарушение работы приточно-вытяжных систем и систем автоматического пожаротушения.</i> 7. <i>Коммуникации, работающие под</i>

	<i>давлением, должны соответствовать действующим нормам на их проектирование, изготовление и эксплуатацию -</i>
4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.	<i>1) Согласно статье 265 ТК РФ молодые люди, не достигшие 18 лет, на вредные или опасные работы не допускаются.</i> <i>2) Компоновка оборудования, зданий и сооружений выполнена в соответствии с СН 433-79 «Инструкция по строительному проектированию предприятий, зданий и сооружений нефтяной и газовой промышленности».</i>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	09 марта 2016 г.
---	-------------------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Антоневич О.А.	к.б.н		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5201	Винниченко Святослав Георгиевич		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 101 страницу, 10 рисунков, 27 таблиц, 49 источников, 3 приложения.

Ключевые слова: каталитический риформинг, метанол, паровая конверсия метана, катализатор, печи риформинга.

Объектом исследования является установка паровой конверсии природного газа М-750 ООО «Сибметакхим».

Цель работы – увеличение производительности установки синтеза метанола М-750 на ООО «Сибметакхим» до 1 млн. тонн в год за счет модернизации печей риформинга.

Результаты исследования позволили увеличить производительность печи риформинга на 33% с минимальными конструктивными изменениями.

Степень внедрения: полученные результаты будут апробированы на действующей установке по производству метанола М-750 ООО «СибМетаХим».

Область применения: на предприятиях газопереработки, где реализован процесс паровой конверсии метана.

Экономическая значимость работы заключается в увеличении производительности установки синтеза метанола на 33 % за счет модернизации трубчатой печи паровой конверсии природного газа при минимальных конструктивных изменениях, а также в возможности прогнозирования результатов инвестиционных капиталовложений в модернизацию печей риформинга.

Оглавление

1	Обзор литературы	13
1.1	Современные технологии производства метанола	13
1.2	Катализаторы паровой конверсии природного газа	18
1.3	Способы увеличения производительности установок паровой конверсии природного газа	19
2	Объект исследования.....	22
2.1	Описание технологической схемы конверсии метана	22
2.2	Физико-химические основы процесса паровой конверсии природного газа	23
2.3	Влияние температуры и давления на состав конвертированного газа	25
2.4	Образование углерода в процессе паровой конверсии природного газа	25
2.5	Физико-химические основы синтеза метанола	27
2.5.1	Влияние давления на синтез метанола	28
2.5.2	Влияние температуры катализатора	28
2.5.3	Примеси в свежем газе	29
3	Увеличение производительности трубчатой печи конверсии природного газа	30
3.1	Расчет внутреннего диаметра труб и объёма катализатора	31
3.2	Тепловой расчет печи	32
3.2.1	Расчет горения топлива	32
3.2.1.1	Определение элементарного состава топлива	32
3.2.1.2	Определение теплоты сгорания топлива.....	34
3.2.1.3	Расчет теоретических объемов воздуха и продуктов сгорания для основного топлива.....	35
3.2.1.4	Расчёт теоретических объёмов воздуха и продуктов сгорания для вспомогательного топлива	36
3.2.1.5	Энтальпия дымовых газов по газоходам	37
3.2.2	Тепловой баланс печи.....	37
3.2.3	Поверочный расчет радиационной камеры (топки).....	43
3.2.4	Расчет зоны горения вспомогательного топлива	47
3.2.5	Расчет защитного котла радиационной зоны.....	48

3.2.6	Расчёт пароперегревателя II ступени (по пару).....	52
3.2.7	Расчёт пароперегревателя I ступени (по пару)	56
3.2.8	Расчет подогревателя парогазовой смеси.....	61
3.2.9	Расчет котла-утилизатора.....	65
3.2.10	Тепловой баланс конвективной и радиационной камер	68
4	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	70
5	Социальная ответственность	87
	Заключение	96
	Список использованных источников	97
	Приложение А	102
	Приложение Б	105
	Приложение В.....	111

Введение

В настоящее время наблюдается устойчивый рост мирового производства и потребления метанола – важнейшего химического сырья для производства формальдегида, метил-трет-бутилового эфира, формалина, а также компонента для производства моторного топлива и др. [1].

В ближайшие пять лет мировое производство метанола составит 100-110 млн. тонн против 78 млн. тонн по состоянию на конец 2015 года. Увеличение производства метанола обусловлено изменением структуры потребления метанола, особенно в Китае, рынок метанола к 2019 году составит около 70 млн. тонн. Это обусловлено ростом доли процесса МТО (метанол в олефины), производства формальдегида и метанола как топлива в Китае и других странах [2].

Спрос на метанол стран Атлантического бассейна и Северной Америки составил к концу 2015 года 25,3 млн. тонн, а в 2016 прогнозируется небольшой прирост до 26,6 млн. тонн.

Согласно обзору мирового рынка метанола, представленному управляющим директором по Европе MMSA, Европейский рынок потребления метанола составит 10 млн. тонн к 2019 году. Также в 2015 году в Европе введены строгие ограничения на содержание серы в топливе для морских судов, а к 2020 это станет общемировой практикой. Данные решения открывают возможности для использования метанола как топлива для судов. [3].

Спрос на метанол на внутреннем рынке России составил 2,1 млн. тонн в 2014 году, при общем производстве в 3,62 млн. тонн. Аналитики прогнозируют постепенное увеличение производства метанола, которое до 2030 года может составить 7,5 млн. тонн. Мощности выпуска метанола сегодня составляют 3,98 млн. тонн. Основными драйверами для роста производства метанола в России являются экспортные поставки, производство формальдегида, карбамидоформальдегидного концентрата, формальдегидных смол. При этом российский рынок стремиться снизить долю импорта за счет реконструкции

действующих мощностей и строительства новых промышленных установок. В настоящее время в России усилия промышленного и научного сообщества сосредоточены на исследовании применению метанола в качестве добавки к моторному топливу, как это уже делают европейские и азиатские страны [4].

Целью данной работы является увеличение производительности установки синтеза метанола М-750 на ООО «Сибметакхим» до 1 млн. тонн в год, что соответствует увеличению производительности на 30 % от проектной.

Увеличение мощности может быть достигнуто внедрением ряда мероприятий по модернизации агрегата производства метанола. Реализацию наращивания мощности производства метанола планируется проводить во время плановой остановки агрегата на капитальный ремонт.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- 1) Определить техническую возможность и экономическую целесообразность модернизации действующего агрегата синтеза метанола М-750;
- 2) Рассчитать увеличение расхода парогазовой смеси за счет увеличения внутреннего диаметра труб;
- 3) Рассчитать увеличение внутреннего диаметра труб и необходимый объём катализатора для увеличения расхода парогазовой смеси;
- 4) Определить, достаточно ли подводимое количество тепла для новой нагрузки.

1 Обзор литературы

1.1 Современные технологии производства метанола

Мировое производство метанола в настоящее время превышает 20 млн. тонн в год и продолжает расти приблизительно на 5 % в год. За рубежом действуют установки по получению метанола мощностью 1 млн. тонн в год. Крупные масштабы производства метанола объясняются весьма широкими направлениями его использования. Большой интерес к метанолу объясняется еще и тем, что он может быть получен из любого углеродсодержащего источника [5]. На рисунке 1.1 представлены основные источники производства метанола.

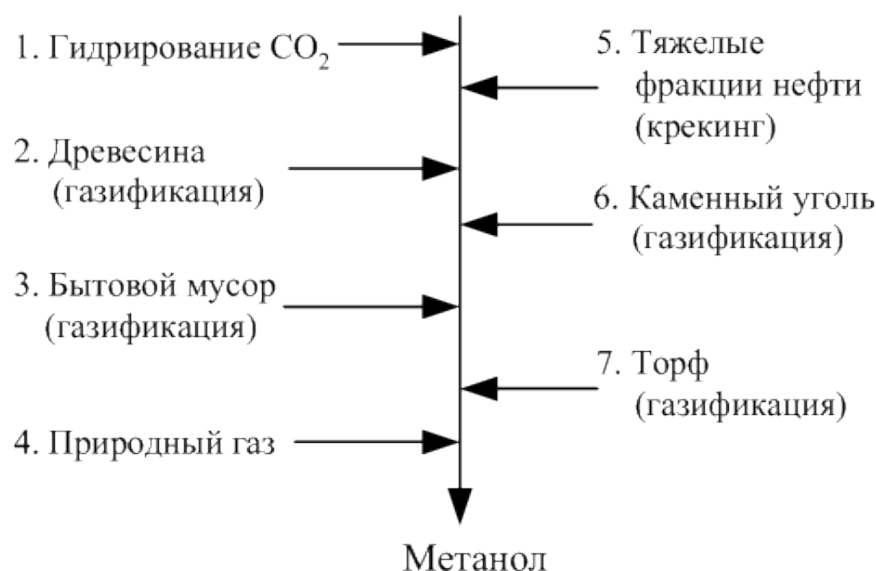


Рисунок 1.1 – Сырьевая база для производства

Направления использования метанола как химического сырья в синтезе органических веществ в настоящий момент находятся на стадиях разработки технологий, либо внедрения в промышленную практику:

- 1) получение уксусного ангидрида карбонилированием метилацетата, произведенного из метанола;
- 2) синтез метилформиата дегидрированием CH_3OH ;
- 3) получение фторзамещенных метанов;
- 4) синтез акрилонитрила из метанола и ацетонитрила в присутствии кислорода;

5) синтез метакрилонитрила из метанола, изобутилена, аммиака и кислорода;

6) получение винил- и этилзамещенных ароматических соединений путем конденсации метилпроизводных ароматических углеводородов с метанолом на цеолитах.

Каталитический синтез метанола из оксида углерода и водорода является единственным промышленно значимым способом получения метанола [6].

В качестве сырья в настоящее время на большинстве установок выступает природный газ, при этом могут быть использованы и другие виды водородосодержащего сырья – это коксующийся уголь, отходы нефтепереработки, газы производства ацетилена пиролизом природного газа и др. На рисунке 1.2 представлена классическая схема производства метанола [7].



Рисунок 1.2 – Классическая схема производства метанола [13]

Производство метанола включает в себя ряд последовательных стадий:

1. Гидродесульфуризация – очистка газа от серы, которая является ядом для никелевых катализаторов конверсии природного газа. Поглощение выделившегося при гидродесульфуризации сероводорода осуществляется цинковыми поглотителями.

2. Конверсия природного газа в синтез-газ (в основном паровая или пароуглекислотная), после охлаждения и конденсации водяных паров газ компримируют.

3. Каталитический синтез метанола с «холодными» байпасами. Газ на выходе из реактора содержит 3-5% CH_3OH , затем газ охлаждают и конденсируют продукты реакции, а оставшийся газ направляется в реактор после смешения с исходным газом. Получаемый метанол-сырец содержит воду (не более 9%), этанол, пропанол, бутиловые и амиловые спирты, диметиловый эфир и др.

4. Ректификация с целью отделения легколетучей фракции, воды и высококипящих компонентов. Обычно содержание воды в товарном метаноле не превышает 0,08%.

Одной из главных мировых тенденций в производстве метанола является переход на мега-установки, которые в большом количестве стали строиться в период 1990-2006 гг. За это время на Ближнем Востоке и в Латинской Америке появились 22 новых завода, суммарной мощностью почти 20 млн. тонн метанола в год. Мощность установок увеличилась с 1500 тонн в сутки до 5000 тонн [8].

Одним из примеров такого рода производств служит завод в Тринидаде, построенный One Synergy Alliance (Johnson Matthey Catalysts and Davy Process Technology). На заводе действует установка M5000 и используется традиционный паровой риформинг метана.

Из-за очень большого размера традиционных установок парового риформинга, на мега-заводах были предприняты попытки найти им альтернативу. Компания One Synergy предложила альтернативную установку, известную как «Compact Reformer» («Компактный Риформер»), в которой теплота сгорания подается к каталитической трубе конвекцией, а не излучением. Она представляет собой вертикальный теплообменник, установленный на верху камеры сгорания.

Некоторые лицензиаторы предлагают автотермический риформинг (АТР), в котором теплота обеспечивается за счет сгорания части технологического газа в адиабатическом реакторе вместо внешнего сжигания. АТР может действовать при более высоком давлении, чем обычная печь, что позволяет экономить на необходимости компрессии на следующих этапах процесса [9].

На рисунке 1.3 показан процесс производства метанола по Haldor Topsøe на основе АТР.

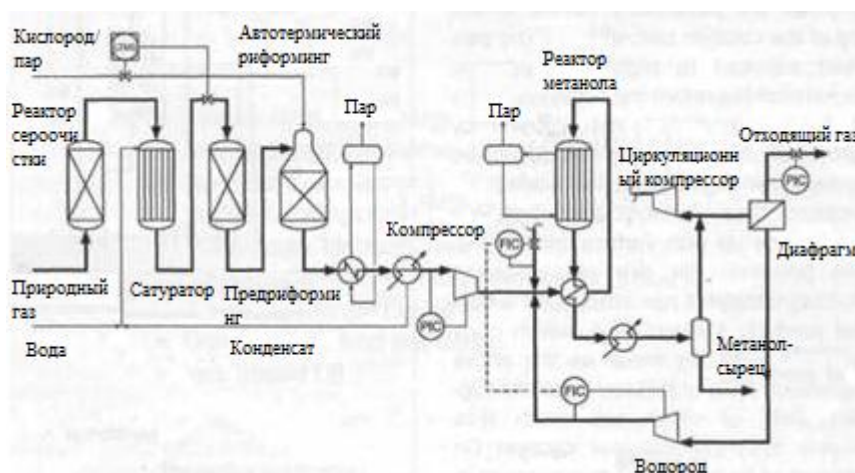


Рисунок 1.3 – Схема синтеза метанола на основе автотермического риформинга, разработанная Topsøe

В этой технологической схеме также используется пред-риформер. Процесс включает в себя следующие основные этапы: поступающий природный газ десульфuriруется и насыщается паром. Затем технологический газ подвергается пред-риформингу и повторному нагреванию до 650°C в печи прямого нагрева. Эта температура имеет большое значение, т.к. если подать технологический газ в установку АТР при более низкой температуре, потребление кислорода (около 0,6 т на 1 т метанола) увеличится. В установке АТР газ вступает в реакцию с паром и кислородом, в результате чего образуется крайне реактивный синтез-газ.

На рисунке 1.4 представлена схема комбинированного риформинга, предложенная компанией Lurgi.

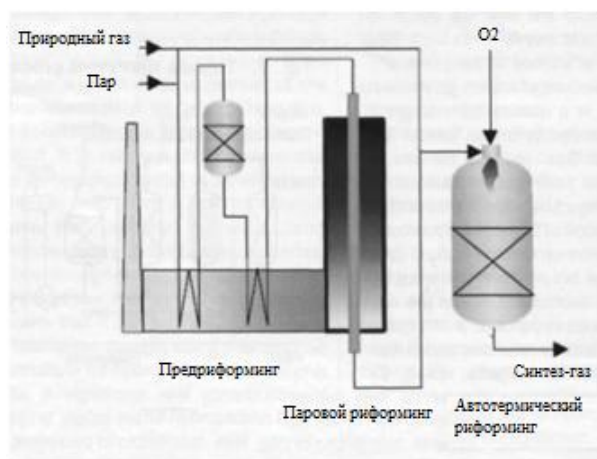


Рисунок 1.4 – Схема комбинированного реформинга (Lurgi)

В реакторе Lurgi с водяным охлаждением катализатор находится внутри труб, а вода – в межтрубном пространстве. Температура процесса контролируется регулировкой давления пара. Для очень крупных заводов компания Lurgi предусмотрела последовательное соединение реактора с водяным охлаждением и газоохлаждаемого реактора (Рисунок 1.5).

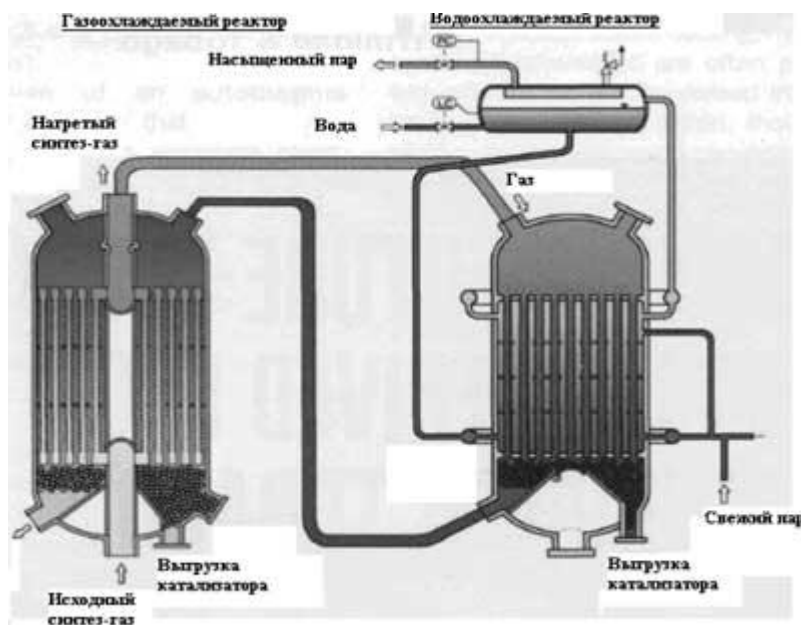


Рисунок 1.5 – Каскадная система реакторов для мега-установок (Lurgi)

Газ подогревается в газоохлаждаемом реакторе, а затем проходит в реактор с водяным охлаждением, где и происходит реакция. Нагретый технологический газ возвращается затем в реактор, охлаждаемый газом, где реакция заканчивается при менее интенсивных условиях [10].

Таким образом, существуют различные технологии синтеза метанола, при этом важно, чтобы мероприятия по увеличению производительности

промышленных установок паровой конверсии природного газа были экономически более эффективными, должны быть предприняты меры для снижения расхода сырья и электроэнергии на единицу продукции.

1.2 Катализаторы паровой конверсии природного газа

В настоящее время в качестве катализаторов паровой конверсии метана используют никелевые катализаторы на оксиде алюминия Al_2O_3 , промотированные MgO , Cr_2O_3 , TiO_2 , CaO , ZrO_2 и др., [11]. Основными требованиями, предъявляемыми к катализаторам конверсии метана, являются большая удельная поверхность слоя (т.е. суммарная поверхность всех составляющих его зерен в единице объема аппарата), обеспечивающая максимальную активность (производительность), и большая порозность слоя (т.е. доля незанятого зернистыми элементами объема слоя), позволяющая снизить газодинамическое сопротивление слоя катализатора.

В настоящее время для производства метанола используют различные каталитические системы [12]. Начиная с 1994 г. фирма «Technip Benelux B. V.» совместно с Университетом г. Лимерик (Ирландия) проводят исследования по созданию нового катализатора на основе платиновых металлов, нанесенных на диоксид циркония.

Разновидности катализаторов и условия осуществления синтеза метанола различными фирмами приведены в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Условия осуществления синтеза метанола на разных катализаторах

Фирмы	Катализаторы	Температура, °C	Давление, МПа
«Nissui-Topsol»	$(\text{CuO} + \text{ZnO})/\text{Cr}_2\text{O}_3$	230–260	10–15
«Vulkan»	$\text{ZnO}/\text{Cr}_2\text{O}_3$	270–330	15–25

«Pritchard»	CuO	200–330	10–25
«BASF»	(CuO + ZnO)/Al ₂ O ₃	200–350	5–25
«ICI»	(CuO + ZnO)/Al ₂ O ₃	240–260	До 5
«Lurgi»	(CuO + ZnO)/Al ₂ O ₃ ; CuO + ZnO	230–250	4–5

1.3 Способы увеличения производительности установок паровой конверсии природного газа

Основными способами увеличения производительности установок паровой конверсии природного газа в мире являются:

- реконструкция установки;
- разработка и применение более эффективных катализаторов;
- оптимизация технологического режима работы установок [13];

Одним из способов повышения производительности установки парового риформинга без увеличения ее размеров заключается в использовании установки пред-риформинга. Это хорошо отработанная технология, впервые примененная компанией British Gas под названием процесса «Каталитического обогащения газа» при производстве бытового газа из лигроина в 1960-х гг. В компании Toyo Engineering создали схему «TAS –R», позволяющую увеличить силу реакции парового риформинга в адиабатических условиях с помощью разделения пред-риформера на два реактора и возврата технологического газа в конвекционную зону установки для промежуточного дополнительного нагрева (Рисунок 1.6).

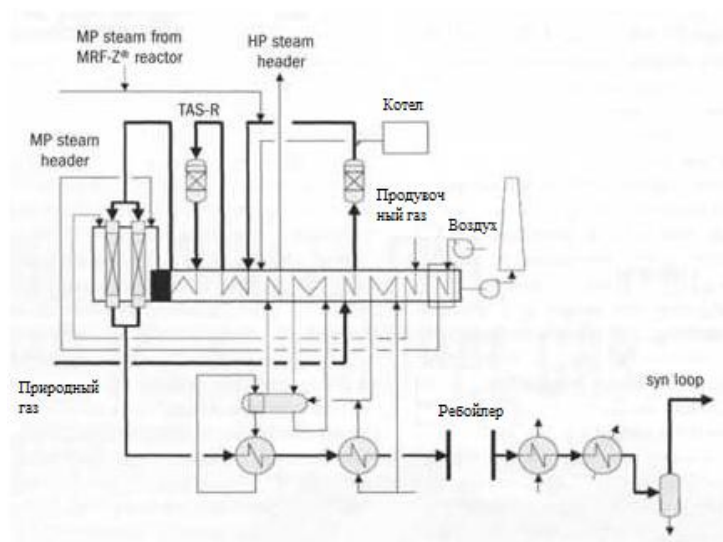


Рисунок 1.6 – Схема синтеза метанола «TAS –R», разработанная Toyo Engineering

Модернизация реакторного блока также позволяет существенно увеличить производительность промышленной установки. В 1970-х гг. были популярны осевые реакторы. Современные реакторы, такие как ARC, разработанный Casale в сотрудничестве с ICI (ныне Johnson Matthey), а также реактор CMD, разработанный Haldor Topsøe, являются оптимизированными многослойными охлаждающими осевыми моделями, созданными для модернизации реакторами первых поколений.

На рисунке 1.7 представлен реактор MRF-Z (Toyo).

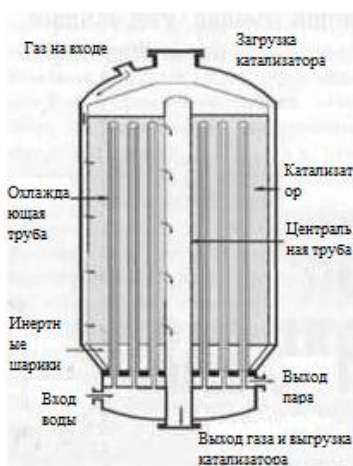


Рисунок 1.7 – Реактор синтеза метанола MRF-Z, разработанный Toyo

Синтез-газ проникает через верхнюю часть реактора и проходит сквозь решетки вертикальных байонетных водных труб к центральной коллекторной трубе, выходя из сосуда через нижнее отверстие. Как и у всех центробежных

реакторов, перепад давления очень низок. Использование байонетных труб позволяет избежать проблем, вызываемых тепловым напряжением, а также делает возможным свободный сток. Осмотр труб в процессе эксплуатации также несложен, поскольку внутренняя труба может выниматься из реактора. Мощность преобразователя MRF-Z можно увеличивать до очень больших величин (до 10 000 т/день) простым увеличением его высоты. При этом естественная циркуляция питающей котел воды невозможна при таких масштабах, для этого используют циркуляционные насосы.

Таким образом, на основании литературного обзора определено, что эффективными способами повышения производительности промышленной установки является реконструкция оборудования и замена катализатора паровой конверсии метана на более производительный [14].

2 Объект исследования

2.1 Описание технологической схемы конверсии метана

Объектом исследования является установка паровой конверсии природного газа М-750 ООО «Сибметакхим». Проектная мощность установки – 750 тыс.т/год (2500 т/сут) метанола-ректификата. Технологическая схема паровой конверсии метана представлена на рисунке 2.1.

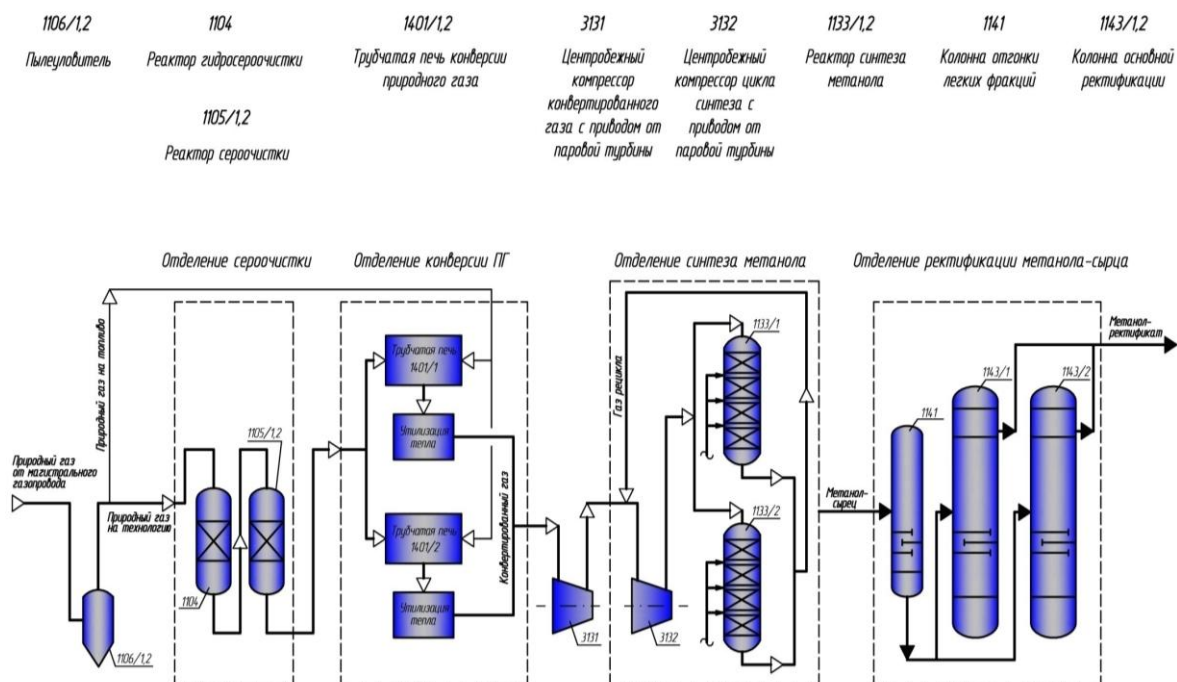


Рисунок 2.1 – Технологическая схема конверсии метана

Технологический процесс производства метанола разработан английской фирмой «Imperial Chemical Industries (ICI)».

Паровая конверсия природного газа является одной из основных стадий производства метанола. Исходным сырьем для производства метанола является природный газ. Природный газ поступает на производство из магистрального газопровода и с давлением $25 \div 55 \text{ кгс/см}^2$ (изб.) подается на технологический процесс.

Таблица 2.1 – Состав природного газа

Компонент	CH ₄	C ₂ H ₆	CO ₂	C ₃ H ₈	C ₄ H ₁₀	N ₂	S общая мг/нм ³
Содержание, % об.	86,97	1,5 -4,0	0,1	1,6	0,4	1,2	До 80

В качестве катализатора паровой конверсии природного газа на установке М-750 используют никелевый катализатор на подложке Al_2O_3 , кольца с десятью отверстиями и сводчатыми торцами серого цвета, D нар.- 19 мм; высота 16мм , насыпная плотность 0,7-0,9 кг/дм³.

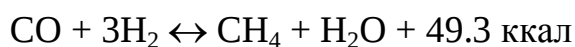
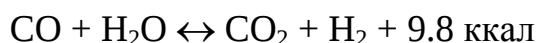
Процесс паровой конверсии природного газа ведется в интервале температур от 750 до 880 °С и давлении до 19 кг/см².

Продуктом установки паровой конверсии метана является метанол-ректификат марки А в соответствии с нормами ГОСТ 2222-95.

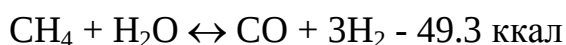
2.2 Физико-химические основы процесса паровой конверсии природного газа

В присутствии никелевого катализатора пар реагирует с газообразными углеводородами в условиях повышенных температур и давления, образуя конвертированный газ, состоящей из двуокиси углерода, окиси углерода, водорода и метана [16].

Концентрация каждого компонента в конвертированном газе зависит от отношения пара к углеводороду, проходящему над катализатором, а также от температуры и давления газов на выходе из слоя катализатора. Реакции при этом процессе очень сложные, но конечный продукт определяется двумя реакциями:



Реакция между паром и углеводородом известна как эндотермическая, так как она происходит с поглощением тепла. Чтобы дать простое графическое изображение всей системы, можно сказать, что пар и углеводород образуют окись углерода и водород, которые реагируют совместно, как показано в шестом уравнении, и в то же время, окись углерода реагирует с избыточным паром, как показано в четвертом уравнении. Если принять природный газ за метан, реакция между паром и метаном выразиться в основном как:



Процесс паровой конверсии осуществляется при следующих условиях:

1. Температура равновесия при конверсии парогазовой смеси (т.е. температура на выходе из труб печи риформинга) 860 °С.
2. Давление конвертированного газа на выходе из слоя катализатора: $P_{изб}=1,8$ МПа.
3. Мольное соотношение пара к углероду: (2.9 : 1).

Равновесное состояние между компонентами в смеси конвертированного газа определяется константами равновесия реакций при принятых условиях работы.

Константы равновесия каждой данной реакции находятся в зависимости от парциальных давлений компонентов исходного сырья и конвертированного газа в состоянии равновесия. Константа равновесия реакций имеет выражение:

$$Kp_w = \frac{p^{co2} * p^{h2}}{p^{co} * p^{h2o}}$$

Константа равновесия реакции пар-метан:

$$Kp_m = \frac{p^{co} * p^{(h2)^3}}{p^{ch4} * p^{h2o}}$$

Процесс конверсии водяного газа достигает равновесия и за ним непосредственно следует реакция пар-метан, хотя эта последняя реакция и не достигает равновесия. Разность температур, соответствующая расчетному значению константы равновесия реакции пар-метан и температуре на выходе из труб риформинга известна как приближенное равновесие реакции пар-метан. Это значение зависит от кинетики процесса, времени пребывания в реакционной зоне над катализатором и от типа катализатора. Следует отметить, что численное значение констант равновесия зависит от температуры системы [17].

2.3 Влияние температуры и давления на состав конвертированного газа

Из уравнения конверсии парогазовой смеси видно, что изменение давления в системе не отражается на равновесии реагентов с продуктами реакции. При этом реакция пар-метан зависит от давления в системе.

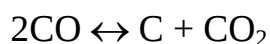
Общий эффект изменения давления в системе должен удовлетворять обоим условиям равновесия. Повышение давления в системе выражается в повышении мольной доли метана и пара и соответствующем понижении мольной доли окиси углерода и водорода. Должно произойти также повышение мольной доли двуокиси углерода, чтобы равновесие при конверсии парогазовой смеси оставалось постоянным. Понижение давления в системе имеет обратное действие [18].

Повышение температуры вызывает понижение константы равновесия реакции окиси углерода и водорода, и повышение константы равновесия реакции пар-метан. Следовательно, содержание метана, двуокиси углерода и пара понижается, а содержание окиси углерода и водорода повышается. Понижение температуры имеет обратное действие.

Система риформинга значительно более чувствительна к влиянию температуры, чем к влиянию давления. Регулирование подвода тепла в систему не представляет затруднений, и рабочий режим в печах риформинга устанавливается при сравнительно устойчивых значениях давления путем регулирования температуры [19].

2.4 Образование углерода в процессе паровой конверсии природного газа

Предотвращение образования углерода на катализаторе является одной из наиболее существенных задач работы печей риформинга. Отложение углерода может происходить в соответствии со следующим уравнением:



Эта обратимая реакция, известная как реакция Будуара, приводит к отложению углерода на поверхности катализатора при завышенном парциальном давлении окиси углерода. Эти отложения способствуют закупорке и вызывают понижение активности катализатора. Условия работы, которые способствуют понижению концентрации окиси углерода и повышению концентрации двуокиси углерода, предотвращают эту реакцию от перехода вправо [20].

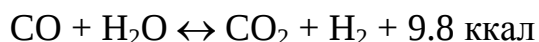
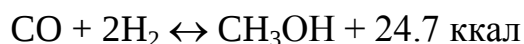
Отложению углерода способствует также повышенное давление и пониженные температуры в системе. Этот вид отложения углерода, называемый иногда термодинамическим образованием углерода, происходит с большой быстротой внутри частиц катализатора по всему слою. Обычно это вызвано тем, что отношение пара к исходному сырью падает ниже критического значения. В таком случае, частицы катализатора обычно распадаются, что ведет к полному разрушению катализатора. Следовательно, очень важно, чтобы на всех стадиях подачи исходного сырья обеспечивался достаточный объем пара. Ввиду этого, на установке предусматривается аварийная сигнализация низкого отношения пара к исходному сырью и автоматическая система останова печей риформинга. Условия для образования углерода создаются, когда молярное отношение (пар:углерод) становится меньше (1.8:1).

Другим фактором, способствующим отложению углерода, является термическое образование углерода, которое выражается в обрастании частиц катализатора рыхлым сажеобразным отложением. Этот вид отложения образуется в результате термического распада углеводородов и ему способствуют повышенные температуры и давления. Тенденция к такому распаду повышается с повышением концентрации углеводородов с большим молекулярным весом. Этого можно избежать при применении катализаторов соответствующей активности при пониженных температурах с правильным отношением пара к исходному сырью. Любой объём углерода, отложившийся

таким образом, можно удалить пропариванием, что не отражается отрицательно ни физических, ни на каталитических свойствах катализатора [21].

2.5 Физико-химические основы синтеза метанола

Процесс синтеза метанола характеризуется следующими основными реакциями:



Синтез метанола проводится при давлении 8 МПа и при температурах порядка (210 – 270) °С над медьсодержащем катализатором [22].

Степень синтеза метанола, осуществляемая за один проход над катализатором, незначительна вследствие равновесия реакции. Следовательно, реакция проводится по принципу замкнутого цикла. Непрерывная циркуляция газов над слоем катализатора осуществляется с помощью циркуляционного компрессора с приводом от паровой турбины. Циркуляционный газ, поступающий в реактор синтеза метанола, подогревается до температуры реакции посредством газа, выходящего из реактора. Полученный метанол конденсируется из циркуляционного газа и выводится из цикла синтеза, обеспечивая непрерывность работы системы. Концентрация метанола в возвратном потоке циркуляционного газа в реактор синтеза метанола должна быть низкой для обеспечения максимальной степени синтеза.

Реакция синтеза метанола в высшей степени экзотермична. Хотя они ограничиваются равновесием и скоростью реакции, необходимо ограничивать также повышение температуры в реакторе. Это достигается путем подачи холодного газа на каждый слой катализатора по байпасам.

По мере расходования окиси углерода и водорода в процессе синтеза метанола, в систему подается свежий газ. Свежий газ (конвертированный) содержит метан в низкой концентрации, который инертен к реакциям синтеза метанола. Следовательно, метан может накапливаться в цикле синтеза, что

привело бы к замедлению процесса синтеза метанола и в конечном результате к полному прекращению синтеза. Концентрация инертных газов и избыточного водорода циркуляционного газа регулируется путем постоянной продувки. При этом теряется также известная доля газов, используемых для синтеза. Объем продувки определяется двумя факторами:

- концентрацией инертных в свежем газе, поступающем в цикл синтеза;
- концентрацией инертных газов в циркуляционном газе.

Приближение к равновесию

Решающими факторами состояния равновесия на выходе из катализатора являются следующие:

Реакция конверсии водяного пара находится всегда в состоянии равновесия при температуре, существующей на выходе из слоя катализатора. Реакции синтеза метанола приближаются к состоянию равновесия на выходе из слоя катализатора [23].

2.5.1 Влияние давления на синтез метанола

Повышение давления синтез-газа ведет к перемещению равновесия в сторону образования метанола.

Особенностью процесса синтеза является способность медного катализатора синтеза метанола обеспечивать хороший выход метанола при низких температурах (210 – 270) °С. Повышенная активность катализатора при столь низких температурах дает возможность проведения реакции под давлением и при 4 Мпа [24].

2.5.2 Влияние температуры катализатора

Повышение температуры в слое катализатора ускоряет реакцию, но понижает концентрацию метанола, которая возможна при равновесии реакции. Следовательно, существует оптимальная температура, при которой известный объем катализатора способствует образованию максимального количества метанола.

Установленная рабочая температура в конце срока службы катализатора составляет 250 °С на входе и 290 °С на выходе из слоя катализатора.

В начальный период срока службы катализатора, когда катализатор более активен, режим цикла синтеза должен быть таким, чтобы температура на входе и на выходе слоя катализатора была более низкой. Максимальная температура на входе в слой катализатора составляет 210 °С, а максимальная температура на выходе из слоя катализатора 260 °С.

Максимальная температура 260 °С на выходе не должна превышать в случаях, когда катализатор синтеза используется под давлением ниже расчетного, или когда скорость циркуляции в цикле синтеза ниже расчетной [25].

2.5.3 Примеси в свежем газе

Сера в любом виде токсична для катализатора, применяемого в процессе синтеза метанола. Максимально-допустимое содержание серы в виде H_2S в свежем газе, подаваемом в цикл синтеза, не должно превышать 0.1 мг/нм³. Подверженность отравлению серой выражается в необратимой потере активности катализатора.

Катализатор подвергается отравлению хлором в любом виде (свободном или соединениях), металлами (тяжелыми и щелочными) и мышьяком. Именно по этой причине допускается применение только деминерализованной воды в цикле синтеза для гидростатических испытаний.

Максимальное содержание аммиака в свежем газе, подаваемом в цикл синтеза, не должно превышать 8 мг/нм³ [26].

4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

4.1 Предпроектный анализ

4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Продукт установки каталитического риформинга: метанол-ректификат марки А.

Целевой рынок: предприятия газоперерабатывающей отрасли промышленности.

4.1.2 SWOT-АНАЛИЗ

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта (таблица 4.1).

Таблица 4.1 – SWOT - анализ промышленного предприятия по выпуску метанола-ректификата марки А.

	Возможности	Угрозы
Внутренняя среда	1. Создание новых технологий получения целевого продукта 2. Развивающиеся конкурентные отношения 3. Выход на новые рынки в новых географических районах 4. Разработка и развитие собственных и контролируемых каналов сбыта продукции	1. Поглощение более крупной компанией 2. Политическая нестабильность 3. Неблагоприятное изменение курсов иностранных валют и политики иностранных правительств в области внешней торговли 4. Выход из строя производственного оборудования
Сильные стороны	СИВ	СИУ
1. Наличие собственного производства 2. Собственная сырьевая база, высокий коэффициент замещения запасов 3. Высокий уровень технической оснащенности нефтеперерабатывающего комплекса 4. Устойчивое финансовое положение 5. Команда высококвалифицированных специалистов 6. Возможность расширения производства	1. Добавление нового ректора синтез-газа. 2. Увеличение мощности установки. 3. Повышение рентабельности активов 4. Создание системы мотивации и стимулирования	1. Нарботка и укрепление конкурентных преимуществ готового продукта 2. Поиск оптимального поставщика 3. Использование технологий партнёров для соответствия экологическим требованиям 4. Увеличения экспорта в страны СНГ
Слабые стороны	СЛнВ	СЛнУ
1. Слабая маркетинговая политика, и как следствие неритмичность и непредсказуемость получения заказов 2. Стандартные методы продвижения на рынке 3. Низкая скорость продвижения новых технологий от этапа коммерческого предложения до промышленного применения	1. Создание эффективной системы мотивации и стимулирования для сотрудников. 2. Нарботка и укрепление конкурентных преимуществ продукта. 3. Модернизация оборудования. 4. Разработка новой технологии для повышения качества 5. Выбор оптимального поставщика и заключение договорных отношений	1. Повышение цен на выпускаемую продукцию. 2. Выбор оптимального поставщика и заключение договорных отношений.

4.2 Расчет производственной мощности

Производственная мощность – это максимально возможный годовой выпуск продукции или объем перерабатываемого сырья при полном использовании оборудования по времени и по производительности.

Для обоснования производственной мощности предварительно установим режим работы производства и фонд времени работы оборудования [28].

Режим работы синтеза метанола – непрерывный. Работа осуществляется в две смены по двенадцать часов.

$$M = P_{\text{час.}} \cdot T_{\text{эф.}} \cdot K_{\text{об.}}, \quad (4.1)$$

где $P_{\text{час.}}$ – часовая производительность оборудования в натуральных единицах;

$T_{\text{эф}}$ – эффективный фонд времени работы оборудования (час.);

$K_{\text{об.}}$ – количество однотипного оборудования, установленного в цехе.

$$M = 825\,000 \text{ т/ч}$$

Таблица 4.2 – Баланс рабочего времени оборудования

Показатели	Количество дней (часов)
Календарный фонд времени	360 (8640)
Непрерывная работа оборудования	
Номинальный фонд рабочего времени	360(8640)
Простой оборудования в ремонтах	30(720)
Эффективное время работы оборудования за год	330(7920)

Для анализа использования оборудования рассчитываем экстенсивный и интенсивный коэффициенты. Коэффициент экстенсивного использования оборудования по формуле (4.2) составит 0,92[29].

$$K_{\text{экс}} = T_{\text{эф}}/T_{\text{н}}, \quad (4.2)$$

Коэффициент интенсивного использования оборудования по формуле (4.3) составит 0,96.

$$K_{\text{инт}} = Q_{\text{пп}}/Q_{\text{max}}, \quad (4.3)$$

Интегральный коэффициент использования мощности рассчитывается по формуле (4.4) и составит 0,88.

$$K_{им.} = K_{экс} \cdot K_{инт}, \quad (4.4)$$

Для определения фактического выпуска продукции рассчитывается производственная программа:

$$(N_{год}): N_{год} = K_{им} \cdot M, \quad (4.5)$$

где $K_{им}$ – коэффициент использования мощности.

Из формулы (4.5) получаем $N_{год} = 726\,000 \text{ т/год}$.

4.3 Расчет себестоимости готовой продукции по действующему производству

Расчет годового фонда заработной платы цехового персонала

1. Расчет численности персонала (таблица 4.3, 4.4): основных рабочих; вспомогательных рабочих; ИТР; служащих; МОП.

Таблица 4.3 – Расчет численности персонала основных рабочих

Категория персонала	Норма обслуживания,	Число смен в сутки,	Эффективное время рабочего,	Списочная численность
	Нобс	S	Тэфф	Нсп
Основные рабочие	22	2	12	88
Вспомогательные рабочие	23	1	9	23
Остальные ведомства	127	1	9	137
Итого				248

Таблица 4.4 – Расчет численности ИТР, служащих и МОП

Наименование должности	Категория	Тарифный разряд	Число штатных единиц	Количество смен в сутках	Штатная численность
Начальник производства	ИТР	14	1	1	1
Заместитель начальника производства	ИТР	12	1	1	1
Гл. Инженер	ИТР	10	1	1	1
Гл. Технолог	ИТР	13	1	1	1
Начальник отд.	ИТР	11	5	1	5
Итого			9		9

2. Расчет баланса эффективного годового времени одного среднесписочного работника (таблица 4.5).

Таблица 4.5 – Баланс эффективного времени одного среднесписочного работника

Показатели	Дни	Часы
Календарный фонд рабочего времени	360	8640
Планируемые невыходы - очередные и дополнительные отпуска - невыходы по болезни - декретные отпуска - отпуск в связи с учебой без отрыва от производства - выполнение госуд. обязанностей	42	1008
Эффективный фонд рабочего времени	184	2208

3. Количество выходных дней в году, ночных смен определяется из графика сменности (пример графика сменности представлен в таблице 4.6).

Таблица 4.6 – График сменности

Смена	1	2	3	4	5	6	7	8
А	Д	Д		Н	Н			
Б			Д	Д		Н	Н	
В	Н				Д	Д		Н
Г		Н	Н				Д	Д

В таблице 4.6 Д – Дневная смена с 8 до 20; Н – Ночная смена с 20 до 8

Расчет годового фонда зарплаты ИТР, служащих и МОП производится на основании их окладов согласно штатному расписанию.

4. Расчет сменооборота и количества выходных дней в году (табл. 4.5, 4.6).

$$N_{\text{смен}} = 184 \text{ из них } 92 \text{ смены ночных}$$

$$N_{\text{вых}} = 360 - 184 = 176$$

5. Общий фонд заработной платы рабочих за год по формуле (4.6) составит 33264 тыс. руб.

$$З_{\text{год}} = З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}, \quad (4.6)$$

где $Z_{осн}$ – основной фонд заработной платы рабочих, тыс. руб;

$Z_{доп}$ – дополнительный фонд заработной платы рабочих, тыс. руб.

Основной фонд заработной платы для рабочих сменников по формуле (4.7) составит 32643,072 тыс. руб.

$$Z_{осн} = Z_{тар} + Пр + Дн.вр + Дпр.дни, \quad (4.7)$$

где $Z_{тар}$ – тарифный фонд заработной платы, тыс. руб;

Пр – оплата премий, тыс. руб;

Дн.вр – доплата за работу в ночное время, тыс. руб;

Дпр.дни – доплата за работу в праздничные дни, тыс. руб;

Тарифный фонд заработной платы:

$$Z_{тар} = \Sigma Чсп \cdot Тсп \cdot Тэф.раб, \quad (4.8)$$

где Чсп – списочная численность рабочих данного разряда, чел.;

Тсп – дневная тарифная ставка данного разряда, тыс. руб.

Из формулы (4.8) следует, что $Z_{тар} = 10200,96$ тыс. руб.

Размер премий принимаем равным 20–70 % от тарифного фонда заработной платы.

По отношению к тарифному фонду заработной платы доплата за праздничные дни составит 40 %.

Дополнительная зарплата ($Z_{доп}$):

$$Z_{доп} = (Дн \cdot Z_{осн}) / Тэфф, \quad (4.9)$$

где Дн – количество дней невыхода на работу по планируемым причинам (отпуск, ученические, гособязанности).

Из формулы (4.9) следует, что $Z_{доп} = 620,928$ тыс. руб.

Районный коэффициент для г. Томска – 1,3.

$$Z_{общ} = Z_{год} \cdot 1,3 = 43243,2 \text{ тыс. руб.}$$

4.3.1 Расчет затрат на производство продукции

Расчет годовой потребности в сырье и материалах

Определение затрат на сырье и материалы производим исходя из принятого объема производства, удельных норм расхода сырья и материалов и планово-заготовительных цен.

Таблица 4.7 – Расчет годовой потребности в сырье и материалах

Наименование сырья	Ед. изм.	Цена, руб	Расход		Затраты, тыс.руб.	
			На единицу готовой продукции	На весь объем производства	На единицу готовой продукции	На весь объем производства
1. Природный газ	м3	3,17	1030,72	772500000	3,267	2450537
2. Катализатор конверсии метана Katalko	кг	1218,4	0,02	15000	0,024368	18276
3. Катализатор конверсии метана LDP330	кг	1090,8	0,011	8250	0,0119988	8999,1
4. Тринатрийфосфат ГОСТ 201-76	кг	37,522	0,0054	4050	0,0002026	151,95
5. Сукно шинельное	кг	0,56	0,1	75000	0,000056	42
Итого			1030,856	772602300	3,3036	2478005,8

Расчет годовой потребности в электроэнергии

Таблица 4.8 – Расчет потребности электроэнергии

Наименование	Ед. изм.	Цена, руб	Расход		Затраты, тыс.руб.	
			На единицу готовой продукции	На весь объем производства	На единицу готовой продукции	На весь объем производства
1. Электроэнергия	кВт	2,664	44,1	33075000	0,1174824	88111,8
Итого					0,1174824	88111,8

Расчет амортизационных отчислений

Для расчета амортизационных отчислений необходимо учесть:

- полную стоимость оборудования;
- нормы амортизационных отчислений.

Расчет амортизационных отчислений представлен в таблица 4.9.

Таблица 4.9 – Расчет амортизационных отчислений

Наименование основных средств	Стоимость, тыс. руб.	Норма амортизации, %	Годовые амортизационные отчисления, тыс.руб.
1.Оборудование			$A_{г}=C_{перв.} * N/100$
1.1.Реакционные трубы печей риформинга	808870	10	80887
1.2. Основные горелки печей риформинга	181288	10	18128,8
1.3.Вспомогательные горелки печей риформинга	90397	10	9039,7
1.4. Катализатор конверсии метана	12241,2	20	2448,24
1.5.Электротехническое оборудование	51286	10	5128,6
Итого			115632,34

Таблица 4.10 – Калькуляция себестоимости на производство и реализацию продукции до модернизации и после модернизации при заданном объеме производства ($Q = 750\,000$ т/год и $Q = 1\,000\,000$ т/год)

Наименование затрат	Ед. изм.	Затраты		Затраты	
		на 1 т	на Q	на 1 т	на Q
Сырье	Тыс. руб.	3,3040	2478005,85	3,2483	3248300
Электроэнергия на технологические нужды		0,1175	88111,8	0,11189	111890
Итого условно-переменных издержек		3,4215	2566117,65	3,36019	3360190
Заработная плата производственных рабочих		0,0577	43243,2	0,043243	43243,2
Отчисления на соц.нужды производственных рабочих (30%)		0,0173	12972,96	0,012973	12972,96
Расходы на содержание и эксплуатацию оборудования:					
- Амортизация оборудования;		0,1542	115632,34	0,237445	237445,2
-Ремонт оборудования		0,3455	259086,6	0,259087	259086,6
Заработная плата ремонтного персонала;		0,0144	10800	0,0108	10800
Отчисление на соц. нужды ремонтного персонала (30%).		0,00432	3240	0,00324	3240
Заработная плата ИТР	50	0,0072	5400	0,0054	5400

Продолжение таблицы 4.10

Отчисление на соц. нужды ИТР (30%)		0,00216	1620	0,00162	1620
Заработная плата вспомогательного персонала	20	0,0092	6900	0,0069	6900
Отчисление на соц.нужды вспомогательного персонала (30%)		0,00276	2070	0,00207	2070
Цеховая (производственная) себестоимость (1+2+3+4+5)		4,036	3027082,75	3,94297	3942967,96
Управленческие расходы (5% от цеховой себестоимости)		0,2018	151354,14	0,197148	197148,4
Заводская себестоимость (цеховая себестоимость + стр.6)		4,2379	3178436,89	4,1401	4140116,4
Коммерческие расходы (1% от заводской себестоимости)		0,0424	31784,37	0,0414	41401,16
Полная себестоимость (заводская себестоимость +7)		4,2803	3210221,26	4,1815	4181517,5
Условно-переменные издержки		3,422	2566117,65	3,3602	3360190
Условно-постоянные издержки		0,8588	644103,61	0,82133	821327,52

1) Уменьшение расхода сырья на 1т, за счет установки новых модернизированных горелок большей мощности с низким содержанием оксидов азота NO_x усовершенствованной конструкции

2) Уменьшение расхода электроэнергии на 1т, за счет установки энергосберегающего электрооборудования.

4.3.2 Определение цены готовой продукции

Цену продукта определяем по формуле:

$$Ц = С * (1 + P / 100),$$

где С – полная себестоимость единицы готовой продукции;

Р – рентабельность продукции (%).

Рентабельность продукции принимаем 25%.

$$Ц = 4,2803 * 1,25 = 5350,4 \text{ руб. (до модернизации)}$$

Рентабельность продукции принимаем 32%.

$$Ц = 4,1815 * 1,32 = 5504 \text{ руб. (после модернизации).}$$

4.3.3 Анализ безубыточности по действующему производству

Цель анализа – определение **точки безубыточности**, т.е. минимального объема продаж, начиная с которого предприятие не несет убытков. В точке безубыточности выручка от продажи продукции (*ПР В*) равна общим затратам на производство и реализацию продукции:

$$ПР В = Изд.пост + Изд.пер$$

Определение точки безубыточности:

1. *Аналитическим* способом:

$$Q_{кр.} = \frac{Изд.пост}{Ц_{1ГП} - Изд.пер1ГП}, тыс. тонн \quad (4.10)$$

где $Ц_{1ГП}$ – цена единицы готовой продукции (1 тонны);

$Изд.пер1ГП$ – удельные переменные издержки (переменные издержки на единицу готовой продукции – 1 тонну).

Из формулы (4.10) получаем $Q_{кр.} = 334078,6$ тонн

2. *Графическим* способом:

Графически точка безубыточности определяется согласно рис. 4.1

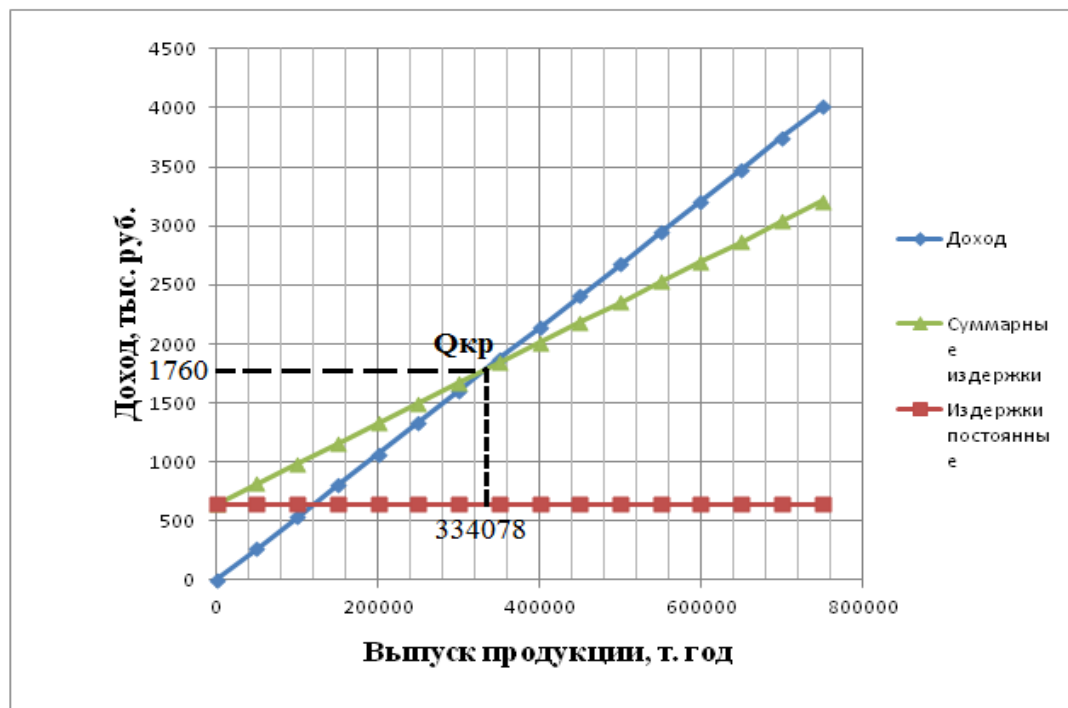


Рисунок 4.1 – Определение точки безубыточности

4.4 Определение технико-экономических показателей

Показатели свести в таблицу по действующему и проектному варианту (таблица 4.17).

4.4.1 Определение потребности в инвестициях в проектном году

В этом разделе необходимо определить сумму инвестиций для осуществления инновационного проекта (таблица 4.11).

Таблица 4.11 – Потребность в инвестициях для инновационной деятельности

Наименование объекта	Ед. изм.	Величина
Капитальные затраты	тыс. руб.	
Стоимость (аренда) производственных зданий		
Приобретение оборудования и других основных средств		398175,2
Затраты на оборотные средства		
Организационные расходы		
Затраты на НИОКР		
Всего инвестиций		

Определение стоимости оборудования

Таблица 4.12 – Расчет стоимости оборудования

Наименование оборудования	Стоимость оборудования, тыс. руб.	Транспортные расходы, тыс. руб.	Монтаж оборудования, тыс. руб.	Первоначальная стоимость
Реакционные трубы печей риформинга	658551	108551,2	130067,4	897169,6
Основные горелки печей риформинга	112972	21297,2	30040,2	164309,4
Катализатор паровой конверсии метана	4308	665,4	1654	6627,4
Электротехническое оборудование	7286	3128,6	2257,2	12671,8
Итого				398175,2

Таблица 4.13 – Расчет амортизационных отчислений

Наименование основных средств	Стоимость, тыс. руб.	Норма амортизации, %	Годовые амортизационные отчисления, тыс.руб.
Оборудование			$A_{г} = \text{Сперв.} \cdot N / 100$
Реакционные трубы печей риформинга	311169,6	10	31116,96
Основные горелки печей риформинга	64309,4	10	6430,94
Вспомогательные горелки печей риформинга	17397	10	1739,7
Катализатор конверсии метана	2627,4	20	131,37
Электротехническое оборудование	2671,8	10	267,18
Итого	398175,2		39686,15

4.4.2 Расчет экономической эффективности инвестиционных показателей в случае внедрения инновационного проекта

Расчет инвестиционных коэффициентов

Рассчитываем следующие инвестиционные коэффициенты:

- 1) Чистая текущая стоимость (NPV);
- 2) Индекс доходности (PI);
- 3) Внутренняя ставка доходности (ВНД, IRR);
- 4) Срок окупаемости (Т окуп., PP).

Таблица 4.14 – Расчет чистого денежного потока (ЧДП)

Наименование показателя	Годы (=0, 1, 2...) t n				
	0	1	2	3	4
Объем продаж, тыс.т	750	1000	1000	1000	1000
Цена 1 тонны, тыс.руб.	5,3504	5,2269	5,2269	5,2269	5,2269
Выручка от продаж, тыс.руб. (1x2)	4012,8	5226,9	5226,9	5226,9	5226,9
Суммарные издержки, тыс.руб.	3210221	4181517	4181517	4181517	4181517

Продолжение таблицы 4.14

Амортизация оборудования, тыс.руб.	115632,3	155318,4	155318,4	155318,4	155318,4
Прибыль до вычета налогов, тыс.руб. (3-4)	802579	1045383	1045383	1045383	1045383
Налог на прибыль (20%*8), тыс.руб.	160515,8	209076,6	209076,6	209076,6	209076,6
Чистая прибыль, тыс.руб. (8-9)	642063,2	836306,4	836306,4	836306,4	836306,4
Инвестиционные издержки, тыс.руб.	-1098175,2				
Амортизация, тыс. руб.	115632,34	237445,2	237445,2	237445,2	237445,2
Чистый денежный поток от операционной деятельности, тыс.руб. (12+13)	-1505732,3	1073751	1073751	1073751	1073751
Коэффициент дисконтирования (приведения при $i=0,20$)	1	0,833	0,694	0,579	0,482
Дисконтированный чистый денежный поток	-1505732,3	894434,6	745183,2	621701,9	517548
То же нарастающим итогом (NPV)	-1505732,3	-611297,7	133885,5	755587,4	1273135,4

Чистая текущая стоимость (NPV)

Данный метод основан на сопоставлении дисконтированных чистых денежных поступлений от операционной и инвестиционной деятельности.

Если инвестиции носят разовый характер, то **NPV** определяется по формуле (4.11):

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{ЧДП_{опt}}{(1+i)^t} - I_0 \quad (4.11)$$

где

$ЧДП_{опt}$ – чистые денежные поступления от операционной деятельности;

I_0 – разовые инвестиции, осуществляемые в нулевом году;

t – номер шага расчета ($t=0, 1, 2 \dots n$);

n – горизонт расчета;

i – ставка дисконтирования (желаемый уровень доходности инвестируемых средств).

Чистая текущая стоимость является абсолютным показателем.

Условием эффективности инвестиционного проекта по данному показателю является выполнение следующего неравенства: $NPV > 0$.

Чем больше NPV , тем больше влияние инвестиционного проекта на экономический потенциал предприятия, реализующего данный проект, и на экономическую ценность этого предприятия [30].

Индекс доходности (рентабельности) инвестиций (PI)

Индекс доходности показывает, сколько приходится дисконтированных денежных поступлений на рубль инвестиций. Расчет этого показателя осуществляется по формуле (4.12):

$$PI = \sum_{t=1}^n \frac{ЧПД_t}{(1+i)^t} / I_0, \quad (4.12)$$

где I_0 – первоначальные инвестиции.

Условием эффективности инвестиционного проекта по данному показателю является выполнение $PI > 1$.

$$PI = 3537351,8 / 2263427,8 = 1,56$$

Внутренняя ставка доходности (IRR)

$$\sum_{t=1}^n \frac{ЧДП_{отt}}{(1+IRR)^t} = \sum_{t=0}^n \frac{I_t}{(1+IRR)^t} \quad (4.13)$$

Значение ставки, при которой NPV обращается в нуль, носит название «внутренней ставки доходности». Формальное определение «внутренней ставки доходности» заключается в том, что это та ставка дисконтирования, при которой суммы дисконтированных притоков денежных средств равны сумме дисконтированных оттоков или $NPV=0$.

По разности между IRR и ставкой дисконтирования i можно судить о запасе экономической прочности инвестиционного проекта. Чем ближе IRR к

ставке дисконтирования i , тем больше риск от инвестирования в данный проект [31].

Таблица 4.15 – Зависимость NPV от ставки дисконтирования

Наименование показателя	0	1	2	3	4	NPV
Чистые денежные потоки	757695,5	1073751	1073751	1073751	1073751	
Ставка дисконтирования						
$i=0,2$	1	0,833	0,694	0,578	0,482	
$i=0,3$	1	0,769	0,592	0,455	0,35	
$i=0,4$	1	0,714	0,51	0,364	0,26	
$i=0,5$	1	0,667	0,444	0,295	0,198	
$i=0,6$	1	0,625	0,39	0,244	0,095	
$i=0,7$	1	0,588	0,335	0,203	0,07	
Дисконтированный денежный поток						
$i=0,2$	-1505732,3	894435	745183	620628	517548	1272062
$i=0,3$	-1505732,3	825715	635661	488557	375813	820012
$i=0,4$	-1505732,3	766658	547613	390845	279175	478560
$i=0,5$	-1505732,3	716192	476745	316757	212603	216564
$i=0,6$	-1505732,3	671094	418763	261995	102006	-51873
$i=0,7$	-1505732,3	631366	359707	217971	75163	-221526

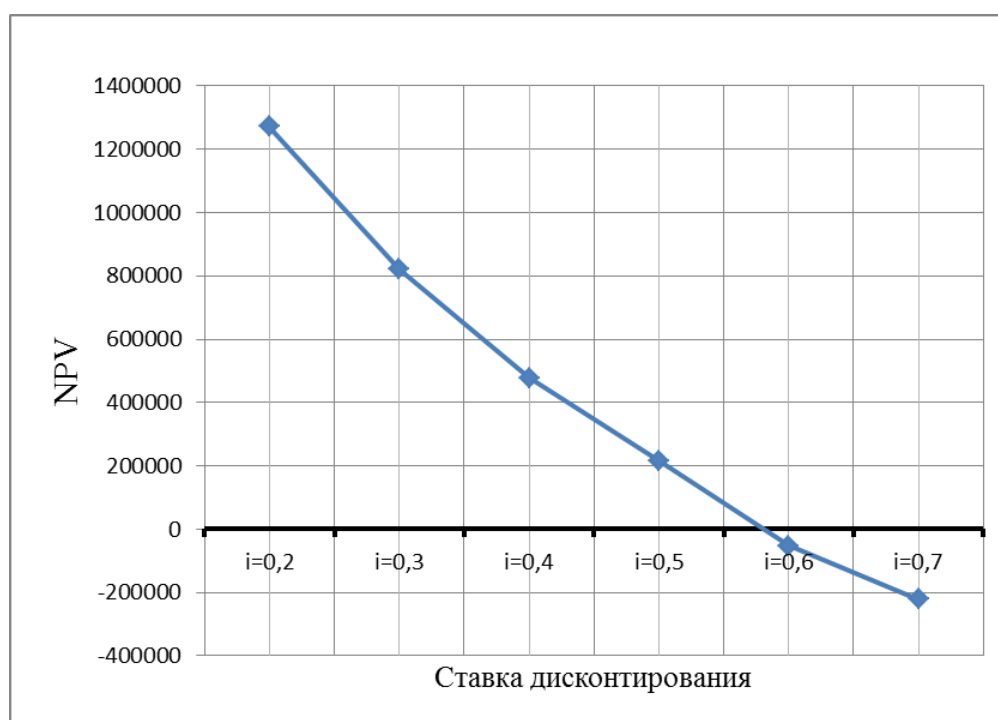


Рисунок 4.2 –Зависимость NPV от ставки дисконтирования

Срок окупаемости инвестиций

Метод расчета срока окупаемости инвестиций (Токуп.) состоит в определении того периода, через который первоначальные инвестиции будут возвращены прибылью или чистыми денежными поступлениями. Этот метод ориентирован на краткосрочную оценку, рассматривает, как скоро инвестиционный проект окупит себя. Чем быстрее проект окупит первоначальные затраты, тем эффективнее проект. Использование данного показателя предполагает установление приемлемого значения срока окупаемости как меры оценки эффективности инвестиций [32].

Чем больше нужна ликвидность инвестору, тем короче должен быть срок окупаемости. Существует **два подхода** к расчету срока окупаемости.

В данной ситуации срок окупаемости устанавливается путем определения кумулятивного (накопленного) денежного потока.

Срок окупаемости формуле (4.14) составит 1,8 года:

$$PP = \text{число лет предшествующих сроку окупаемости} + \frac{\text{невозмещенная сумма на начало года окупаемости}}{\text{приток наличности в течение года окупаемости}} \quad (4.14)$$

Таблица 4.16 – Срок окупаемости инвестиционного проекта

Наименование показателя	Шаг расчета			
	0	1	2	3
Ставка дисконтирования, i, %	20			
Дисконтированный денежный поток	-1505732,3	894435	745183	620628
Накопленный дисконтированный денежный поток	-1505732,3	-611297,3	133885,7	754513,7

Таблица 4.17– Техничко-экономические показатели

Наименование показателя	Ед. изм.	Отчетный год	Плановый год
Объем производства	тыс. т	750	1000
Объем продаж	тыс. т	750	1000
Цена 1 тонны	тыс. руб.	5,3504	5,504
Выручка от продажи (2*3)	тыс. руб.	4012,8	5504
Суммарные издержки	тыс. руб.	3210221,26	4181517,52
Издержки переменные	тыс. руб.	2566117,65	3360190
Издержки постоянные	тыс. руб.	644103,61	821327,52
Операционная прибыль (4–5)	тыс. руб.	802579	1322482,5
Налог на прибыль (6*20%)	тыс. руб.	160515,8	264496,5

Продолжение таблицы 4.17

Чистая прибыль (6–7)	тыс. руб.	642063,2	1057986
Себестоимость 1 тонны	тыс. руб.	4,2803	4,1815
Стоимость основных средств	тыс. руб.	2353824,8	2752000
Численность основных рабочих	чел.	88	88
Фондовооруженность (10/11)	тыс. руб./чел.	26748	31272
Фондоотдача (4/10)	руб./руб.	1,7	2,0
Фондоемкость (10/4)	руб./руб.	0,59	0,5
Производительность труда (4/11)	тыс. руб./чел.	45600	62545
Рентабельность производства (8*100%/5)	%	20	25
Рентабельность продаж (8*100%/4)	%	16	19
Критический объем продаж (Qкр.)	тонн	334078,6	328469

4.5 Определение эффективности модернизации оборудования

В результате модернизации оборудования был получен следующий экономический эффект:

1. Снижение себестоимости на 1 т с 4,2803 тыс. руб. по 4,1815 тыс. руб. (на 2,3%)
2. Увеличение выручки от продажи с 4012800 тыс. руб. по 5504000 тыс. руб. (на 37%)
3. Увеличение чистой прибыли с 642063,2 тыс. руб. по 1057986 тыс. руб. (на 65%)
4. Увеличение выплат по налогам с 160515,83 тыс. руб. по 264496,5 тыс. руб. (на 65%)
5. Увеличение показателя фондоотдачи с 1,7 по 2,0 (на 17%)
6. Увеличение производительности труда с 45600 по 62545 (на 37%)
7. Увеличение рентабельности производства на 5%
8. Увеличение рентабельности продаж на 19%
9. Точка безубыточности уменьшилась до 328469 тонн.
10. Увеличение производственной мощности на 25%.