

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

---

Институт электронного образования

Направление подготовки: Химическая технология органических веществ

Кафедра Технологии органических веществ и полимерных материалов

**Дипломный проект**

Тема работы
<b>Проект установки конверсии природного газа</b>

УДК 661.721.42

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5601	Кужелева Е.И.		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Волгина Т.Н.	К.Х.Н., доцент		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Рыжакина Т.Г.	К.Э.Н., доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

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

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
зав. кафедрой	Юсубов М.С.	д.х.н., профессор		

Томск – 2016 г.

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

Институт природных ресурсов

Направление подготовки: химическая технология

Кафедра технологии органических веществ и полимерных материалов

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой

\_\_\_\_\_ Юсубов М.С.

(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ**

**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

Дипломного проекта

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

Студенту:

Группа	ФИО
3-5601	Кужелевой Елене Ивановне

Тема работы:

**Проект установки конверсии природного газа**

Утверждена приказом директора (дата, номер)

от 28.01.2016 № 410/С

Срок сдачи студентом выполненной работы:

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<p><b>Исходные данные к работе</b>  <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Объектом исследования является установка конверсии природного газа, производительность увеличена на 15 % и составляет 860000 тон в год по метану, режим работы непрерывный, сырьем является природный газ. В результате получаем очищенный от серных соединений и конвертированный синтез – газ.</p>
<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>  <i>(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).</i></p>	<p>Литературный обзор                      Описание технологической схемы                      Инженерные расчеты и их обсуждение                      Финансовый менеджмент                      Социальная ответственность                      Заключение</p>

<b>Перечень графического материала</b> <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	Технологическая схема, компоновка, основной аппарат, детализация, экономические показатели
---	--

<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b> <i>(с указанием разделов)</i>	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
Проект установки конверсии природного газа	к.х.н., доцент Волгина Т.Н.
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	к.э.н., доцент Рыжакина Т.Г.
Социальная ответственность	к.б.н., доцент Антоневиц О.А.

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	11.01.2016
---	------------

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Волгина Т.Н.	к.х.н., доцент		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5601	Кужелева Е.И.		

## Содержание

<b>Реферат</b> .....	11
<b>Abstract</b> .....	12
<b>Введение</b> .....	13
<b>1 Теоретическая часть</b> .....	16
1.1 Общая характеристика производства.....	16
1.2 Характеристика продукта, исходного сырья, материалов и полупродуктов .....	16
1.2.1 Характеристика производимой продукции.....	16
1.2.2 Характеристика исходного сырья, материалов и полупродуктов...	17
1.3 Физико-химические основы процесса.....	20
1.3.1 Очистка природного газа от сернистых соединений.....	20
1.3.2 Паровая конверсия природного газа.....	21
1.3.3 Термодинамика паровой конверсии метана.....	22
1.3.4 Изменение состава конвертированного газа в зависимости от температуры и давления.....	23
1.3.5 Образование углерода.....	23
1.3.6 Катализатор паровой конверсии метана .....	25
1.3.7 Давление.....	26
1.3.8 Соотношение исходных веществ.....	27
<b>2 Инженерные расчеты</b> .....	18
<b>2.1 Описание технологической схемы</b> .....	28
2.1.1 Участок очистки природного газа от сернистых соединений .....	28
2.1.1.1 Нагрев природного газа .....	28
2.1.1.2 Гидрирование сернистых соединения.....	29
2.1.1.3 Адсорбционная очистка природного газа.....	30
2.1.2 Участок паровой конверсии природного газа.....	30
2.1.3 Участок утилизации тепла дымовых газов.....	33
2.1.4 Участок рекуперации тепла конвертированного газа.....	34

<b>2.2 Материальные расчеты</b> .....	36
2.2.1 Материальный расчет реактора гидрирования .....	36
2.2.2 Материальный расчет адсорбера .....	41
2.2.3 Материальный расчет печи риформинга.....	43
<b>2.3 Технологические расчеты</b> .....	48
2.3.1 Технологический расчет реактора гидрирования .....	48
2.3.2 Технологический расчет адсорбера.....	50
2.3.3 Технологический расчет печи риформинга.....	51
<b>2.4 Тепловые расчеты</b> .....	59
2.4.1 Тепловой расчет реактора гидрирования .....	59
2.4.2 Тепловой расчет адсорбера.....	62
2.4.3 Тепловой расчет печи риформинга.....	65
<b>2.5 Гидравлические расчеты</b> .....	74
2.5.1 Гидравлический расчет реактора гидрирования .....	74
2.5.2 Гидравлический расчет адсорбера.....	79
2.5.3 Гидравлический расчет печи риформинга.....	80
<b>2.6 Механические расчеты</b> .....	86
2.6.1 Механический расчет реактора гидрирования .....	86
2.6.1.1 Расчет толщины обечайки .....	86
2.6.1.2 Выбор днища, крышки и других конструктивных единиц....	87
2.6.1.3 Расчет и подбор штуцеров и фланцев .....	89
2.6.1.4 Расчет опоры аппарата .....	91
2.6.1.5 Расчет фундаментальных болтов .....	92
2.6.2 Механический расчет адсорбера.....	93
2.6.2.1 Расчет толщины обечайки .....	93
2.6.2.2 Выбор днища, крышки и других конструктивных единиц....	94
2.6.2.3 Расчет и подбор штуцеров и фланцев .....	95
2.6.2.4 Расчет опоры аппарата .....	96
2.6.2.5 Расчет фундаментальных болтов .....	97
2.6.3 Механический расчет печи риформинга.....	98

<b>2.7 Ежегодные нормы расхода основных видов сырья, материалов и энергоресурсов</b> .....	100
<b>2.8 Ежегодные нормы образования отходов производства</b> .....	101
<b>2.9 Нормы технологического режима</b> .....	103
<b>2.10 Контроль и управление технологическим процессом</b> .....	104
<b>3 Финансовый менеджмент</b> .....	112
3.1 Потенциальные потребители результатов исследования.....	112
3.2 Анализ эффективности действующего производства.....	112
3.2.1 Расчёт производственной мощности .....	112
3.3 Расчет численности производственного персонала .....	114
3.4 Расчет фонда заработной платы производственного персонала.....	117
3.5 Расчет затрат на производство продукции.....	118
3.6 Расчет амортизационных отчислений .....	118
3.7 Калькуляция себестоимости на 1 т. продукции.....	124
3.8 Расчет цены продукта.....	127
3.9 Анализ безубыточности .....	127
<b>4 Социальная ответственность</b> .....	132
4.1 Производственная безопасность .....	133
4.1.1 Химические факторы .....	135
4.1.2 Физические факторы .....	139
4.2 Экологическая безопасность .....	145
4.2.1 Защита атмосферы .....	145
4.2.2 Защита гидросферы.....	147
4.2.3 Защита литосферы.....	147
4.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях .....	149
4.3.1 Анализ чрезвычайных ситуаций .....	149
4.3.2 Защита персонала и территории в чрезвычайных ситуациях.....	149
4.4 Правовые и организационные вопросы безопасности.....	151
4.4.1 Трудовое законодательство.....	151

4.4.2	Компоновка оборудования.....	151
4.5	Охрана окружающей среды.....	154
4.5.1	Газовые выбросы.....	154
4.5.2	Сточные воды.....	154
4.5.3	Твердые отходы.....	155
	<b>Заключение</b> .....	<b>156</b>
	<b>Список использованных источников</b> .....	<b>157</b>
	<b>Спецификация</b> .....	<b>161</b>

## Реферат

Дипломный проект содержит 160 страниц, 4 рисунка, 99 таблиц, 32 источника литературы, 5 листов графического материала.

Ключевые слова: синтез – газ, сероочистка, катализатор.

Объектом проектирования является установка конверсии природного газа с целью получения синтез-газа.

Целью ВКР является расчет установки конверсии природного газа при производстве метанола мощностью 860000 т/год, что превышает производственную мощность на 15 %.

В работе было выполнено:

- расчет материального баланса;
- расчет теплового баланса;
- конструктивный расчет;
- гидравлический расчет;
- механический расчет.

Дипломный проект выполнен в текстовом редакторе Microsoft Word 2010 и с использованием графического редактора Microsoft Visio, AutoCAD и записанный на компактный диск.

## Введение

Синтез-газом называют смесь газов, основными компонентами которой являются оксид углерода и водорода. Термин исторически связан с синтезом Фишера – Тропа, для реализации которого в промышленности получили синтез-газ газификацией угля. Именно таким способом получили синтез-газ на заводах по производству метанола и искусственных жидких топлив в Германии в 20-30 гг XX века. В последствии, когда в 50–60 гг XX века в различных регионах мира были открыты большие месторождения нефти, природного и попутного нефтяного газов, уголь утратил свою роль в производстве синтез-газа, хотя в отдельных регионах, богатых углём и не имеющих собственных месторождений газа и нефти (в частности ЮАР и Китай), он продолжает до сих пор играть важную роль. В последние два десятилетия в связи с резким ростом цен на нефть и нефтепродукты интерес к использованию природного и попутного газов, как сырья для получения синтез-газа и продуктов органического синтеза на его основе, приобрел особую актуальность [2].

Синтез-газ служит исходным сырьем для производства многих химических и нефтехимических продуктов (рис. 1), а также используется для восстановления железной руды [4].

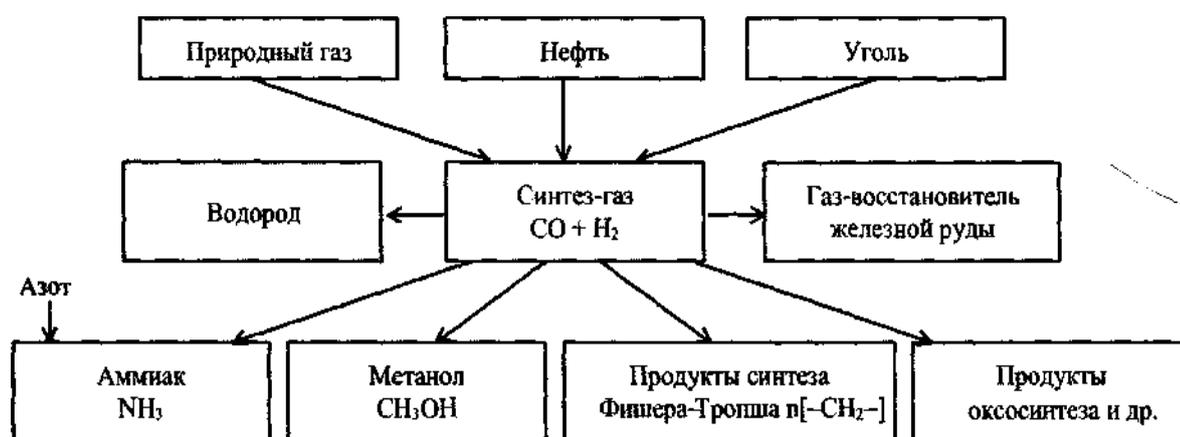


Рисунок 1. Источники получения синтез-газа и основные направления его использования

В промышленности наибольшее количество синтез-газа расходуется для получения метанола (более 50 %), продуктов оксосинтеза (15 %) и

уксусной кислоты (10 – 15 %). В небольших количествах синтез-газ используется в производстве гербицидов и фармацевтических препаратов (таблица 1).

Таблица 1 - Потребность в синтез-газе для мирового производства нефтехимических продуктов

Продукт	Требуемое соотношение $H_2/CO$ , моль/моль	Объем производства, т/год	Потребность в синтез-газе, $m^3/ч$ (н.у.)
Метанол	2:1	160000 – 1275000	48000 – 1900000
Уксусная кислота	0:1	275000 – 545000	18000 – 36000
Уксусный ангидрид	0:1	90000	3500
Продукты оксосинтеза	2:1	115000 – 275000	12000 – 25000
Фосген	0:1	45000 – 160000	3500 – 12000
Муравьиная кислота	0:1	45000	3500
Метилформиат	0:1	9000	600
Пропионовая кислота	0:1	45000-68000	2400 – 3500
Метилметакрилат	1:1	45000	4700
1,4-Бутандиол	2:1	45000	4700

Производство метанола является одним из крупнейших потребителей синтез-газа, его производство в последнее время возросло примерно пропорционально темпам развития всей отрасли. Производство метанола с 1998 по 2002 гг. во всем мире возросло с 34,22 до 38,68 млн. т/год, а его потребление за этот же период – с 26,99 до 30,64 млн. т/год. Предприятия по выпуску метанола размещены в различных экономических районах страны, поэтому и виды используемого сырья различны. Наиболее дешевый метанол получают при использовании в качестве сырья природного газа.

В основном современные исследования в области производства синтез-газа направлены на совершенствование методов получения и подготовки исходного технологического газа, аппаратного оформления процесса, на разработку более активных и селективных катализаторов. Из

многообразия предложенных в литературе направлений по модернизации и оптимизации действующих установок особенно выделяют паровую конверсию природного газа, которая проводится в двух параллельно работающих трубчатых печах риформинга и ведется на никельсодержащем катализаторе в интервале температур от 750 до 860 °С и давлении до 19 кг/см<sup>2</sup>.

На основании выше изложенного целью данного проекта является расчет установки конверсии природного газа в производстве метанола мощностью 860000 т/год, что превышает производственную мощность на 15 %.

## **1 Теоретическая часть**

### **1.1 Общая характеристика производства**

Завод "Метанол" начал свою работу в 1983 году. Он был построен по проекту английской инжиниринговой фирмы "Davy McCie" в содружестве с компанией "ICI", обеспечившей поставку катализаторов и других расходных материалов для производства метанола. Томский "Метанол" стал вторым после "Полипропилена" заводом, начавшим работу на промышленной площадке Томского нефтехимического комбината (ТНХК).

"Метанол" стал одной из двух крупных установок по производству метилового спирта, построенных на территории Советского Союза. Аналогичное по мощности производство-завод "Метафракс» - работает в городе Губаха Пермской области. Эти предприятия по-прежнему являются одними из самых крупных в мире производителями метанола.

Объем производства метанола на томском заводе составляет 750 тысяч тонн в год.

### **1.2 Характеристика продукта, исходного сырья, материалов и полупродуктов**

#### **1.2.1 Характеристика производимой продукции**

В процессе каталитической конверсии парогазовой смеси в трубчатой печи получается синтез-газ, необходимый для синтеза метанола и представляющий собой газовую смесь следующего состава (% , об. доли) [10]:

Таблица 1.1 - Состав конвертированного газа

CO	CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	H <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> S
13÷17,5	0,5÷4,5	7÷12	0,1÷1,0	70÷78	н/б 0.1 мг/м <sup>3</sup>

Синтез-газ без цвета, без запаха, пожаро-взрывоопасен, ядовит из-за наличия в нем окиси углерода, пределы взрываемости в смеси с воздухом от 4,1 до 74,2 объёмных процентов по водороду. Предельно допустимая концентрация оксида углерода в воздухе рабочей зоны производственных помещений – 20 мг/м<sup>3</sup> CO.

## 1.2.2 Характеристика исходного сырья, материалов и полупродуктов

Сырьем для получения синтез-газа служит природный газ, подаваемый от магистрального газопровода Нижневартковск-Томск-Кузбасс примерного состава:

Таблица 1.2 - Состав природного газа

CH <sub>4</sub> ,%	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> ,%	CO <sub>2</sub> ,%	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> ,%	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> ,%	N <sub>2</sub> ,%	Сера общая
86÷97	1,5÷4,0	0÷1	1÷6	0÷4	1÷2	До 80 мг/нм <sup>3</sup>

**Природный газ:** Общее содержание сернистых соединений (в пересчете на серу) до 80 мг/нм<sup>3</sup> в том числе [10]: меркаптанов до 20 мг/нм<sup>3</sup>, сероводорода до 20 мг/нм<sup>3</sup>, дисульфидов и других органических соединений до 40 мг/нм<sup>3</sup>.

Содержание жидких углеводородов до 15 г/нм<sup>3</sup>.

Давление – (5÷12) кг/см<sup>2</sup> избыточное.

Температура – от (-55 до 36) °С.

**Сероводород** – пожаро-взрывоопасный газ без цвета с характерным запахом, действует как наркотик.

**Деминерализованная вода.** Содержание двуокиси кремния – не более 0,01 мг/л, не горюча, не токсична. Используется для приготовления 1% раствора щелочи (NaOH) [10].

**Сивушное масло** – бесцветная ядовитая жидкость. Физико-химические свойства примерно такие же, как у метанола-ректификата. Действие на организм человека такое же, как и от метанола-ректификата. Сивушное масло пожаро-взрывоопасно. Пределы взрываемости смеси с воздухом от 6,98 до 35,5 % об. по метанолу. ПДК в воздухе рабочей зоны производственных помещений 5 мг/м<sup>3</sup>. Сивушное масло относится к отходам производства и используется как топливо на печах реформинга.

**Азот.** Бесцветный газ, не имеющий запаха. Азот физиологически безвреден, действие на организм человека удушающее, вследствие изменения содержания кислорода [10].

Таблица 1.3 - Азот для продувки аппаратов, трубопроводов и для целей пожаротушения согласно ГОСТ 9293-74 [10]

Азот	Кислород	Точка росы	Давление	Температура
99,9 %	не более 0.05%	(-55) °С	Не менее 5 кг/см <sup>2</sup>	(-55)÷36 °С

Таблица 1.4 – Пар [10]

Пар высокого давления		Пар среднего давления		Пар низкого давления	
Давление, кг/см <sup>2</sup>	Температура, °С	Давление, кг/см <sup>2</sup>	Температура, °С	Давление, кг/см <sup>2</sup>	Температура, °С
100	Не более 500	28÷30	300÷370	4,5	153

Таблица 1.5 - Продувочные и танковые газы (% об) [10]

H <sub>2</sub>	CO	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	CH <sub>3</sub> OH	N <sub>2</sub>
82-85%	1,3-2,0%	1,4-7,7%	12-20%	н/б 0,5%	н/б 1,0%

Таблица 1.6 - Газы из уплотнений компрессора синтез-газа (об. доли)

H <sub>2</sub> , %	CO, %	CO <sub>2</sub> , %	CH <sub>4</sub> , %	H <sub>2</sub> O, %	N <sub>2</sub> , %
73.71-73.46	14.61-14.44	7.62-7.69	3.43-3.79	3.79	0.48-0.49

#### **Катализатор конверсии метана:**

Никелевый – четырехдольные цилиндры серого цвета с четырьмя отверстиями и сводчатыми торцами или никелевый промотированный окисью калия с четырьмя отверстиями и сводчатыми торцами, насыпная плотность от 0,88 до 1,09 кг/дм<sup>3</sup>; D<sub>нар.</sub> = 13 мм; длина 17 мм.

#### **Катализатор гидроочистки:**

Алюмокобальтмолибденовые гранулы, находящиеся в восстановленном состоянии. Высота слоя катализатора 14 м, насыпная плотность от 640 до 740 кг/м<sup>3</sup>; D<sub>гранулы</sub> = 0,0025 мм.

#### **Катализатор адсорбции:**

Два слоя адсорбента оксида цинка, высота верхнего слоя 8,01 м, нижнего – 2,0 м., насыпная плотность от 850 до 1600 кг/м<sup>3</sup>; D<sub>частицы</sub>=10 мм.

**Водород.** Бесцветный газ без запаха, физиологически инертный газ. При высоких концентрациях вызывает удушье.

**Оксид углерода.** Бесцветный газ без запаха. Обладает отравляющим действием вследствие образования при вдыхании соединений с гемоглобином крови. Класс опасности 4. ПДК – 20 мг/м<sup>3</sup>

**Углекислый газ.** Бесцветный газ без запаха, обладает удушающим действием, вытесняет кислород из зоны дыхания.

### 1.3 Физико-химические основы процесса

#### 1.3.1 Очистка природного газа от сернистых соединений

Первым этапом конверсии метана является удаление из него сернистых соединений, которые являются каталитическим ядами для большинства используемых катализаторов, действующими необратимо [10].

Наличие в исходном газе сернистых соединений обусловлено как определенным содержанием сероводорода в самом природном газе, так и наличием в транспортируемом природном газе соединений типа меркаптанов – сильно пахнущих веществ, которые добавляют в добываемый природный газ для облегчения обнаружения утечек.

Очистку природного газа проводят в два этапа:

1. Гидрирование меркаптанов в сероводород на алюмокобальтмолибденовом или алюмоникльмолибденовом катализаторе,



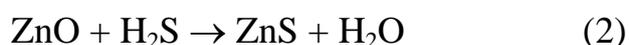
(где R - радикал углеводорода) проводится в температурном интервале 300-350 °С над катализатором в присутствии избыточного водорода, подаваемого с потоком продувочного газа из цикла синтеза.

В процессе гидрирования наряду с основными реакциями протекают побочные реакции, которые обусловлены наличием в продувочных газах метанола таких компонентов как СО и СО<sub>2</sub>.

В аппарат гидросероочистки загружается в один слой алюмокобальтмолибденовый катализатор. Для поглощения образовавшегося сероводорода газовая смесь проходит два параллельно установленных аппарата сероочистки.

2. Поглощение сероводорода, содержащегося в природном газе и образовавшегося на этапе гидрирования, адсорбентом на основе гранул окиси цинка.

Эту реакцию можно выразить как:



Так как водяной пар является продуктом реакции адсорбции [10], продувочный газ должен обладать низкой концентрацией пара, чтобы сера не вытеснялась из уже сульфидированной окиси цинка. Концентрация пара в рециркуляционном продувочном газе очень низкая и не способствует обратной реакции. Максимально допустимое содержание пара на входе в аппараты сероочистки составляет 1.5 % об. как при пуске, так и во время нормальной работы производства метанола. Одновременно в присутствии указанного катализатора может протекать реакция гидрирования двуокиси углерода.

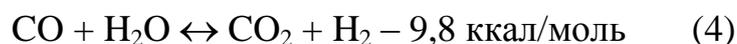
Поглощение сероводорода осуществляется поглотителем из окиси цинка. В каждый аппарат сероочистки загружено в два слоя по 126 м<sup>3</sup> поглотителя.

После аппаратов сероочистки газовая смесь, очищенная до содержания серы менее 0.4 мг/нм<sup>3</sup> разделяется на два потока и направляется на конверсию метана.

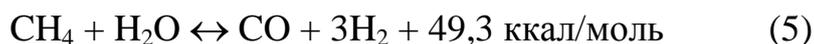
### 1.3.2 Паровая конверсия природного газа

В присутствии никелевого катализатора пар реагирует с газообразными углеводородами в условиях повышенных температур и давления, образуя конвертированный газ, состоящий из двуокиси углерода, окиси углерода, водорода и метана [10].

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. Можно сказать, что пар и углеводород образуют оксид углерода и водород, которые реагируют совместно, как показано в (3) уравнении, и в то же время, оксид углерода реагирует с избыточным паром, как показано в (4) уравнении. В итоге 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:  $P_{\text{изб}}=18 \text{ кг/см}^2$ .
3. Мольное соотношение пара к метану составляет: (2,9 : 1).

### 1.3.3 Термодинамика паровой конверсии метана

Равновесное состояние между компонентами в смеси конвертированного газа определяется константами равновесия реакций при принятых условиях работы [10].

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:

$$K_{p_m} = \frac{P_{\text{CO}} \cdot P_{\text{H}_2}^3}{P_{\text{CH}_4} \cdot P_{\text{H}_2\text{O}}} \quad (1)$$

Константа равновесия реакции пар-метан:

$$K_{p_w} = \frac{P_{\text{CO}_2} \cdot P_{\text{H}_2}}{P_{\text{CO}} \cdot P_{\text{H}_2\text{O}}} \quad (2)$$

Процесс конверсии синтез-газа достигает равновесия и за ним непосредственно следует реакция пар-метан, хотя эта последняя реакция и не

достигает равновесия. Разность температур, соответствующая расчетному значению  $K_{p_m}$  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.

#### **1.3.4 Изменение состава конвертированного газа в зависимости от температуры и давления**

Реакция пар-метан (4) 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.

Повышение температуры вызывает понижение  $K_{p_w}$  и повышение  $K_{p_m}$ . 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.

#### **1.3.5 Образование углерода**

Предотвращение образования углерода на катализаторе является одной из наиболее существенных задач работы печей риформинга [10].

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 смещения равновесия в сторону продуктов реакции перехода вправо.

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 остановки печей риформинга.

Условия для образования углерода создаются, когда молярное отношение (пар : метан) становится меньше (2,8 : 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 объем углерода, отложившийся таким образом, можно удалить пропариванием, что не отражается ни на физических, ни на каталитических свойствах катализатора.

Наиболее распространенные подходы к снижению коксообразования включают подбор состава катализатора (природа активного компонента и тип носителя), регулирование их состояния (размер частиц активной фазы, текстура носителя) в результате применения различных методов приготовления и введения промоторов, а также оптимизацию условий процесса [10].

### **1.3.6 Катализатор паровой конверсии метана**

В качестве катализатора применен любой металл VIII группы периодической системы [28]. В промышленности используют никелевые катализаторы на носителе  $Al_2O_3$ . Данный катализатор понижает энергию активации основной реакции (5). Содержание никеля в катализаторе может изменяться в широких пределах – от 4 до 35 % (мас.), удельная поверхность катализаторов от 5 до 50 м<sup>2</sup>/г. Рабочая температура – 800–1000 °С.

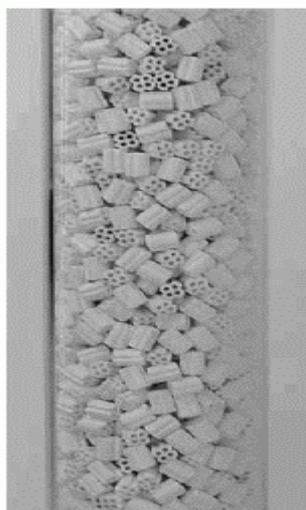
Восстановление нанесенного на поверхность носителя оксида никеля до металлического никеля происходит водородом или метаном.

Катализатор легко отравляется сернистыми соединениями, вследствие образования на его поверхности сульфидов никеля, совершенно неактивных в реакции конверсии метана и его гомологов. Поэтому предварительно необходимо проведение очистки поступающего газа от серосодержащих соединений.

В данном проекте применяется никелевый катализатор "Katalco Q", усовершенствованный компанией Джонсон Матти [28].

Характеристика катализатора: четырехдольные цилиндры серого цвета с четырьмя отверстиями и сводчатыми торцами, промотированный окисью калия с четырьмя отверстиями и сводчатыми торцами, насыпная плотность от 0,88 до 1,09 кг/дм<sup>3</sup>; D<sub>нар.</sub> = 13 мм; длина 17 мм.

Четырехдольная форма с 4 отверстиями обеспечивает увеличение активности катализатора на 20 % [28], уменьшенный размер упрощает загрузку катализатор и на 2 % повышает интенсивность теплообмена. При этом сохраняется низкий перепад давления и высокая прочность гранул, хорошую плотную загрузку, поскольку соприкасающиеся гранулы частично заполняют внешние каналы. На рисунке 2 показана загрузка катализатора в трубу с внутренним диаметром 100мм.



**Рисунок 2.** Загрузка катализатора "Katalco Q" в трубу Ø100 мм

### 1.3.7 Давление

Процесс паровой конверсии метана проводят при повышенном давлении (примерно 2-5 МПа), что позволяет [10]:

1. увеличить скорость процесса и его интенсивность;
2. уменьшить объем оборудования;
3. использовать давление природного газа в магистральных трубопроводах;
4. уменьшить расход энергии при последующей компрессии газов, направляемых, на синтез метанола;

5. создать более компактные и эффективные системы утилизации тепла.

### **1.3.8 Соотношение исходных веществ**

Процесс ведут с избытком водяного пара в объемном соотношении водяной пар : природный газ равном  $(2,5 - 3,5) : 1$ , который необходим [10]:

1. для увеличения степени превращения метана;
2. для предотвращения образования отложений кокса на поверхности катализатора;
3. для последующей конверсии монооксида углерода.

### 3. Финансовый менеджмент

#### Введение

#### 3.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Продукт: проект установки получения синтез-газа.

Целевой рынок: предприятия нефтеперерабатывающей отрасли промышленности

Важным аспектом этого раздела является точное определение себестоимости производимого продукта.

Целью экономического расчета является определение расходов на проектирование и эксплуатацию установки.

План подготовки и организации производства.

Технологический процесс производства синтез-газа:

1 Приём сырья и гидросероочистка

2 Приём пара

3 Получение синтез-газа

4 Транспортировка потребителю.

#### 3.2 Анализ эффективности действующего производства

##### 3.2.1 Расчёт производственной мощности

Требуемые производственные мощности для непрерывного производства рассчитываем по формуле:  $M = P_{\text{час}} \cdot T_{\text{эфф}} \cdot n$ , (1)

где  $P_{\text{час}}$  – часовая производительность ведущего оборудования, кг/час;

$T_{\text{эфф}}$  – эффективное время оборудования за год по выпуску данного вида продукции, час;

$n$  – количество однотипного оборудования;

$$T_{\text{эфф}} = T_{\text{н}} - T_{\text{ППР}} - T_{\text{ТО}}, \quad (2)$$

где  $T_{\text{н}}$  – номинальный фонд рабочего времени оборудования;

$T_{\text{ППР}}$  – время простоя в ремонтах за расчетный период (для расчета  $T_{\text{ППР}}$  необходимо построить график ППР с указанием времени работы между ремонтами и временем простоя в ремонте);

Таблица 3.1 – График планово-предупредительного ремонта

Оборудование	Межремонтный пробег		Время простоя в ремонте		Месяцы											
	Кап.	Тех.	Кап.	Тех.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Печь конверсии	43800	8016	1080	624							T					

$T_{ТО}$  – время технологических остановок.

$$T_{НОМ} = T_{кал} - T_{вых} - T_{пр} = (360 - 0 - 0) \cdot 24 = 8640 \text{ час}$$

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

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

Таблица 3.2 – Баланс рабочего времени оборудования

Показатели	Количество дней (часов)
Календарный фонд времени	334 (8640)
Режимные потери рабочего времени	
- выходные	0
- праздники	0
Номинальный фонд рабочего времени	334 (8640)
Простой оборудования в ремонтах	30 (720)
Эффективное время работы оборудования за год	330 (8016)

$$T_{эфф} = 8640 - 624 - 0 = 8016 \text{ ч}$$

$$M = 107,29 \cdot 8016 = 860000 \text{ т/год}$$

Для характеристики использования оборудования рассчитываем экстенсивный и интенсивный коэффициенты.

Коэффициент экстенсивного использования оборудования равен

$$K_{экс} = T_{эфф} / T_{н} = 860000 / 8640 = 0,91; \quad (5)$$

Коэффициент интенсивного использования оборудования равен

$$K_{инт} = Q_{пп} / Q_{max} = 1,1 / 1,2 = 0,90, \quad (6)$$

где  $Q_{пп}$  – производительность единицы оборудования в единицу времени;

$Q_{max}$  – максимальная производительность в единицу времени.

Интегральный коэффициент использования мощности:

$$K_{им.} = K_{экс} \cdot K_{инт} = 0,91 \cdot 0,90 = 0,81; \quad (7)$$

Для определения реального выпуска продукции рассчитывается производственная программа ( $N_{\text{год}}$ ):

$$N_{\text{год}} = K_{\text{им}} \cdot M = 0,81 \cdot 860000 = 696600 \text{ т/год}, \quad (8)$$

где  $K_{\text{им}}$  - коэффициент использования мощности.

Объем производства составляет 750 тыс. т/год. В моей дипломной работе я хочу увеличить мощность предприятия до 860,0 тыс. т/год. Таким образом, в течение трёх лет предприятие выходит на эту мощность. Производственная программа представлена в таблице 22

Таблица 3.3 – производственная программа предприятия

№ п/п	Наименование показателя	Величина показателя по годам		
		1 год	2 год	3 год
1	Этапы загрузки мощности, %	85,3%	93,7%	100%
2	Объем производства, т/год	750000	806000	860000
3	Цена за единицу продукции, руб/т	3109,10	3150,00	3300,00
4	Объем продаж, руб.	2331825000	2538900000	2846250000

### 3.3 Расчет численности производственного персонала

Расчет численности производственного персонала производим по следующим основным категориям:

Определяем сменный состав рабочих, явочную, штатную и списочную численность рабочих. Сменный состав для аппаратурных процессов определяем по формуле:

$$Ч_{\text{см}} = n / H_{\text{обс}}, \quad (9)$$

где  $n$  – количество обслуживаемых аппаратов;

$H_{\text{обс}}$  – число аппаратов, обслуживаемых одним рабочим (норма обслуживания).

Явочное число рабочих определяем по формуле:

$$Ч_{\text{яв}} = Ч_{\text{см}} \cdot S, \quad (10)$$

где  $S = 1$  – число смен работы в сутках;

Штатная численность:

$$Ч_{\text{шт}} = Ч_{\text{яв}} \cdot T_{\text{кал}} / T_{\text{ном}}; \quad (11)$$

Списочная численность:

$$Ч_{сп} = Ч_{яв} \cdot T_{эф.обор.} / T_{эф.раб} , \quad (12)$$

где  $T_{эф.обор}$  – эффективный фонд времени работы оборудования

$T_{эф.раб}$  – эффективный фонд времени рабочего.

Таблица 3.4 - Баланс рабочего времени одного среднесписочного рабочего

№ п/п	Показатели	Дни	Часы
1	Календарный фонд рабочего времени	365	4380
2	Нерабочие дни <ul style="list-style-type: none"> <li>• выходные</li> <li>• праздничные</li> </ul>	189	2268
		0	0
3	Номинальный фонд рабочего времени	176	2112
4	Планируемые невыходы		
	• очередные и дополнительные отпуска	28	336
	• невыходы по болезни	10	120
	• декретные отпуска	0	0
	• отпуск в связи с учебой без отрыва от производства	0	0
• выполнение государственных обязанностей	0	0	
5	Эффективный фонд рабочего времени	138	1656

Разница между списочным числом рабочих составляет дополнительное количество рабочих для подмены, а также замены невыходов в связи с болезнями, отпусками и другими планируемыми целодневными потерями рабочего времени

Коэффициент подмены определяем по формуле:

$$K_{под} = T_{эф.обор.} / T_{эф.раб} ; K_{пер} = T_{эф.обор.} / T_{эф.раб} \cdot S$$

(13)

Расчет численности основных производственных рабочих представлен в таблице 26.

Численность ИТР, служащих и МОП устанавливаем по штатному расписанию.

Таблица 3.5 - Расчет численности персонала

Категория персонала	Норма обслуживания, $N_{обс}$	Число смен в сутки, $S$	Число единиц оборудования, $n$	Явочная численность, $Ч_{яв}$	Эффек. время рабоч., $T_{эфф}, ч$	Коэф-т перехода, $K_{пер}$	Спис-ая численность, $Ч_{сп}$
Основные рабочие	0,22	2	2	18	1656	2,39	86
Вспомогательные рабочие	0,33	2	2	12	1656	2,39	58
ИТР	0,44	1	2	5	1937	-	5
МОП	0,65	2	2	6	1937	-	6
Всего				50			155

Таблица 3.6 – Численность основных, вспомогательных производственных рабочих

Наименование профессии	Тарифный разряд	Числен-ть рабочих в смену	Кол-во смен в сутках	Явочная числен-ть рабочих	Коэфф. подмены	Списочная числен-ть рабочих
Аппаратчик 5 разряда	5	5	2	5	4,79	24
Аппаратчик 6 разряда	6	4	2	4	4,79	19
Оператор	6	6	2	6	4,79	29
Лаборант	5	3	2	3	4,79	14
Электрик	6	2	2	2	4,79	10
Слесарь	5	9	2	9	4,79	43
Механик	5	1	2	1	4,79	5

Таблица 3.7 - Баланс рабочего времени одного среднесписочного рабочего ИТР, МОП

№ п/п	Показатели	дни	часы
1	Календарный фонд рабочего времени	365	2920
2	Нерабочие дни выходные праздничные	91 -	730 -
3	Номинальный фонд рабочего времени	274	2190
4	планируемые невыходы: очередные и дополнительные отпуска невыходы по болезни декретные отпуска отпуск в связи с учебой без отрыва от производства выполнение государственных обязанностей	30 12 - 15 10	300 120 - 150 100
5	Эффективный фонд рабочего времени	194	1937

Таблица 3.8 – График сменности работника ИТР, МОП

№ смены	Часы работы	1	2	3	4	5	6	7
1	8-18	А	А	А	А	А	-	-
отдых							А	А

Расчет численности представлен в таблице.

Таблица 3.9 – Численность ИТР, служащих и МОП

Наименование должности	Категория	Тарифный разряд	Число штатных единиц	Количество смен в сутках	Штатная численность
Директор	ИТР	-	1	1	1
Главный инженер	ИТР		1		
Бухгалтер	ИТР	-	1	1	1
Нач. безопасности	ИТР	-	1	1	1
Инженер КИП	ИТР	-	1	1	1
Дворник	МОП		3	2	4
Уборщик	МОП		3	2	4

### 3.4 Расчет фонда заработной платы производственного персонала

Общий фонд заработной платы рабочих за год:

$$Z_{\text{год}} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}, \quad (14)$$

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

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

Основной фонд заработной платы для рабочих повременников:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{тар}} + \text{Пр} + D_{\text{н.вр}} + D_{\text{пр.дни}} + D_{\text{бриг}}, \quad (15)$$

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

Пр – оплата премий, тыс. руб;

$D_{\text{н.вр}}$  – доплата за работу в ночное время, тыс. руб;

$D_{\text{пр.дни}}$  – доплата за работу в праздничные дни, тыс. руб;

$D_{\text{бриг}}$  – доплата не освобожденным бригадирам, тыс. руб.

Тарифный фонд заработной платы:

$$Z_{\text{тар}} = \sum C_{\text{сп}} \cdot T_{\text{ст}} \cdot T_{\text{эф.раб}}, \quad (16)$$

где  $C_{\text{сп}}$  – списочная численность рабочих данного разряда, человек;

$T_{\text{сп}}$  – дневная тарифная ставка данного разряда, тыс. руб.

Размер премий - 25 % от тарифного фонда заработной платы.

По отношению к тарифному фонду заработной платы доплата за праздничные дни составит 3,0%. Фонд дополнительной заработной платы принимаем равным 10% от фонда основной заработной платы. Здесь также учитываем доплату по районному коэффициенту  $K = 1,5$ .

Расчет заработной платы основных и вспомогательных рабочих приведен в таблице 30, 31.

Расчет заработной платы ИТР производим по схеме должностных окладов, установленных в зависимости от сложности производства и занимаемой должности. Премия ИТР принимаем равной 20 % от фонда заработной платы по должностным окладам (таблица 32).

### **3.5 Расчет затрат на производство продукции**

Определение затрат на сырье и материалы производим исходя из принятого объема производства, удельных норм расхода сырья и материалов и планово-заготовительных цен (таблица 33).

### **3.6 Расчет амортизационных отчислений**

Сумма амортизационных отчислений (АО) определяется по формуле:

$$АО = C_{\text{оф}} \cdot Н / 100\%, \text{ руб} \quad (17)$$

где,  $C_{\text{оф}}$  – среднегодовая стоимость основных фондов, руб.

$Н$  – норма амортизационных отчислений на полное восстановление основных фондов, % к их балансовой стоимости.

$ОС$  – остаточная стоимость, руб.

Результаты расчетов приведены в таблице 34.

Таблица 3.10 - График сменности.

Смена	Время, час	Дни месяца																		
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
1	08-20	А	А	Б	Б	В	В	А	А	Б	Б	В	В	А	А	Б	Б	В	В	А
2	20-08	Б	В	В	А	А	Б	Б	В	В	А	А	Б	Б	В	В	А	А	Б	Б
Выходной		В	Б	А	В	Б	А	В	Б	А	В	Б	А	В	Б	А	В	Б	А	В

Таблица 3.11 - Расчет заработной платы основных и вспомогательных рабочих

Категория рабочих	Кол-во чел.	Тст	Зтар.	Дпрем.	Д н.вр.	Д праз.	Д бр.	Зп осн.	ЗП доп.	Районный коэф-нт	Начисления на зарплату
<b>Основные рабочие</b>											
Аппаратчики											
-5 разряд	24	50,57	2009854	502464	23303	60295,6	200985	2796901,3	279690,13	3216436,495	2869620,73
-6 разряд	16	55,11	1460195	433495	25395	52019,4	173398	2144502,02	214450,202	2466177,323	2200259,07
Оператор	29	45	2161080	540270	20736	64832,4	54027	2840945,4	284094,54	3267087,21	2914809,98
Лаборант	14	40	927360	231840	18432	27820,8	23184	1228636,8	122863,68	1412932,32	1260581,36
Сумма:	83		6832275	1708069	87865	204968,2	451595	9010985,52	901098,552	10362633,35	9245271,14
<b>Вспомогательные рабочие</b>											
Электрик	10	30	496800	124200	13824	14904	49680	699408	69940,8	804319,2	717592,608
Слесарь	43	30	2136240	534060	13824	64087,2	213624	2961835,2	296183,52	3406110,48	3038842,92
Механик	5	30	248400	62100	13824	7452	24840	356616	35661,6	410108,4	365888,016
Сумма:	58		2881440	720360	41472	86443,2	288344	4017859,2	401785,92	4620538,08	4122323,54
<b>Итого:</b>	<b>141</b>		<b>9713715</b>	<b>2428429</b>	<b>1E+05</b>	<b>291411,4</b>	<b>739939</b>	<b>13028844,7</b>	<b>1302884,47</b>	<b>14983171,43</b>	<b>13367594,7</b>

Таблица 3.12 - расчет заработной платы ИТР и МОП

Категория	Кол-во	Тарифная ставка	Зтар.	Дпрем.	Дпразд	Основная зарплата	Дополн. зарплата	Районный коэф-нт	Начисления на зарплату
<b>ИТР</b>	<b>5</b>								
Директор	1	55	106535	21307	660	128502	12850,2	147777,3	131843,052
Главный инженер	1	45	87165	17433	540	105138	10513,8	120908,7	107871,588
Бухгалтер	1	45	87165	17433	540	105138	10513,8	120908,7	107871,588
Начальник безопасности	1	40	77480	15496	480	93456	9345,6	107474,4	95885,856
Инженер КИП	1	45	87165	17433	540	105138	10513,8	120908,7	107871,588
<b>МОП</b>	<b>8</b>								
Уборщик	4	20	154960	30992	360	186312	18631,2	214258,8	191156,112
Дворник	4	20	154960	30992	180	186132	18613,2	214051,8	190971,432
<b>Итого</b>	<b>13</b>		<b>755430</b>	<b>151086</b>	<b>3300</b>	<b>909816</b>	<b>90981,6</b>	<b>1046288</b>	<b>933471,216</b>

Год	Наименование оборотных средств	Объем выпуска продукции, т/г	Цена за единицу продукции, руб.	Расход		Затраты	
				На ед. готовой продукции, руб.	На весь G произ-ва, руб.	На ед. готовой продукции, руб.	На весь G производства, руб.
1	Природный газ	750000	3680	1,17	877500	4305,60	3.229.200.000
	Оборотная вода	750000	87,8	0,0422	31650	3,70516	2778870
	Дем. вода	750000	3109,29	0,00402	3015	12,4993458	9374509,35
	Едкий натр	750000	2329,72	0,0002	150	0,465944	349458
	Катализатор конверсии	750000	176250	0,045	33750	7931,25	5948437500
	Катализатор очистки газов	750000	77385	0,032	24000	2476,32	1857240000
	Электроэнергия	750000	710	0,057	42750	40,47	30352500
	Пар	750000	168	0,0149	11175	2,5032	1877400
	Азот	750000	686	0,008	6000	5,488	4116000
	<b>Итого:</b>					<b>14778,3</b>	<b>7854526237</b>
2	Природный газ	806000	3680	1,17	943020	4305,6	3.470.313.600
	Оборотная вода	806000	87,8	0,0422	34013,2	3,70516	2986358,96
	Дем. вода	806000	3109,29	0,00402	3240,12	12,4993458	10074472,71
	Едкий натр	806000	2329,72	0,0002	161,2	0,465944	375550,864
	Катализатор конверсии	806000	176250	0,045	36270	7931,25	6392587500
	Катализатор очистки газов	806000	77385	0,032	25792	2476,32	1995913920
	Электроэнергия	806000	710	0,057	45942	40,47	32618820
	Пар	806000	168	0,0149	12009,4	2,5032	2017579,2
	Азот	806000	686	0,008	6448	5,488	4423328
	<b>Итого</b>					<b>14778,3</b>	<b>8440997530</b>
3	Природный газ	860000	5385	1,17	1009125	6300,45	5.434.138.125
	Оборотная вода	860000	87,8	0,0422	36397,5	3,70516	3195700,5
	Дем. вода	860000	3109,29	0,00402	3467,25	12,4993458	10780685,75
	Едкий натр	860000	2329,72	0,0002	172,5	0,465944	401876,7
	Катализатор конверсии	860000	176250	0,045	38812,5	7931,25	6840703125
	Катализатор очистки газов	860000	77385	0,032	27600	2476,32	2135826000
	Электроэнергия	860000	710	0,057	49162,5	40,47	34905375
	Пар	860000	168	0,0149	12851,25	2,5032	2159010
	Азот	860000	686	0,008	6900	5,488	4733400
	<b>Итого</b>					<b>14778,3</b>	<b>9032705173</b>

Таблица 3.13 - Потребность в оборотных средствах

Таблица 3.14 - Стоимость оборудования

№ п/п	Оборудование	Параметры	Количество	Цена, руб.	Стоимость, руб.
1	Трубчатая печь	300 м <sup>3</sup>	2	10000000	20000000
2	Паросборник	49 м <sup>3</sup>	1	500000	500000
3	Паровой подогреватель питательной воды высокого давления	629 л	2	155000	310000
4	Котел утилизатор кон.газа	24,5 м <sup>3</sup>	2	200000	400000
5	Подогреватель питательной воды	3000 л	2	150000	300000
6	Защитный котел радиантной зоны	34 м <sup>3</sup>	2	160000	320000
7	Пароперегреватель	32 м <sup>3</sup>	2	50000	100000
8	Подогреватель парогазовой смеси	200 м <sup>3</sup>	2	65000	130000
9	Вентилятор воздуха для горелок	518 кВт	2	30000	60000
10	Вентилятор топочных газов	993 кВт	2	50000	100000
	Итого		19		22220000

Таблица 3.15 - Расходы на амортизационные отчисления основных фондов

ОФ	Стоимость, руб.	Норма амортизации, %	Годовые АО
АЧ ОФ:			
Оборудование:			
Трубчатая печь	20000000	7,7	1540000
Паросборник	500000	7,7	38500
Паровой подогреватель питательной воды высокого давления	310000	7,7	23870
Котел утилизатор кон.газа	400000	12,5	50000
Подогреватель питательной воды высокого давления	300000	7,7	23100
Защитный котел радиантной зоны	320000	14,3	45760
Пароперегреватель	100000	14,3	14300
Подогреватель парогазовой смеси	130000	14,3	18590
Вентилятор воздуха для горелок	60000	14,3	8580
Вентилятор топочных	100000	14,3	14300

ОФ	Стоимость, руб.	Норма амортизации, %	Годовые АО
газов			
Инструмент	30000	33,3	9990
ПЧ ОФ			0
Здания и сооружения:	11668912	2,0	233378,24
ЦПУ			0
Лаборатория			0
Административно - бытовой корпус			0
Передаточные устройства	4444000	16,7	742148
Инвентарь:			0
Хозяйственный	192000	20,0	38400
Производственный	120000	14,3	17160
прочие	50000	100,0	50000
Итого:	38724912		2868076,24

### 3.7 Калькуляция себестоимости на 1 т. продукции

Таблица 3.16 - Калькуляция себестоимости 1 т. продукции N=750000 т/год

Статьи затрат	Ед.изм.	Затраты на ед-цу гот. продукции	Затраты на весь объем
1. Сырье			
1.1 Природный газ	м3	4305,60	3.229.200.000
1.2 Обратная вода	м3	3,71	2778870
1.3 Дем. вода	м3	12,50	9374509,35
1.4 Едкий натр	т	0,47	349458
1.5 Катализатор конверсии	т	7931,25	5948437500
1.6 Катализатор очистки газов	т	2476,32	1857240000
1.7 Азот	м3	5,49	4116000
2. Электроэнергия на технологические нужды			
2.1 Электроэнергия	кВт *ч	40,47	30352500
3. Топливо на технологические нужды			
3.1 Пар	м3	2,50	1877400
<b>Итого переменных издержек</b>	<b>руб.</b>	<b>14778,3</b>	<b>7854526237</b>
5. Общепроизв-ные накладные расходы			
5.1. Расходы на содержание и эксплуатацию оборудования:	руб.	4,917	3687968,55
-Амортизация оборудования;	руб.	2,382	1786990
-Ремонт оборудования;	руб.	0,396	297500
Амортизация ПЧ;	руб.	1,441	1081086,24
5.2. Заработная плата производственных рабочих	руб.	61,635	46226356
Отчисления на соц.нужды производственных рабочих (30%)	руб.	20,955	15716961,04
5.3. Заработная плата ИТР, МОП	руб.	6,223	4667356
Отчисление на соц.нужды ИТР, МОП (30%)	руб.	2,115	1586901,04
5.4. Заработная плата вспомогательного персонала	руб.	27,482	20611618
-Отчисление на соц.нужды вспомогательного персонала (30%)	руб.	9,343	7007950,12
<b>Итого постоянных издержек</b>	<b>руб.</b>	<b>136,89</b>	<b>102670687</b>
Цеховая (производственная) себестоимость	руб.	14915,19	11186392500
6. Управленческие расходы (20% от цеховой себестоимости)	руб.	2983,038	2237278500
Заводская себестоимость	руб.	17898,228	13423671000
7. Коммерческие расходы (7% от заводской себестоимости)	руб.	1252,875	939656250
<b>Полная себестоимость</b>	<b>руб.</b>	<b>19151,102</b>	<b>14363327250</b>
<b>Условно-переменные издержки</b>	<b>руб.</b>	<b>17761,333</b>	<b>13321000313</b>
<b>Условно-постоянные издержки</b>	<b>руб.</b>	<b>1389,769</b>	<b>1042326937</b>

Таблица 3.17 - Калькуляция себестоимости 1 тонны продукции N=806000 т/год

Статьи затрат	Ед.изм.	Затраты на единицу готовой продукции	Затраты на весь объем
1.Сырье			
1.1 Природный газ	м3	4305,60	3.470.313.600
1.2оборотная вода	м3	3,705	2986230
1.3 Дем. вода	м3	12,499	10074194
1.4 Едкий натр	т	0,466	375596
1.5 Катализатор конверсии	т	7931,25	6392587500
1.6 Катализатор очистки газов	т	2476,32	1995913920
1.7 Азот	м3	5,488	4423328
2.Электроэнергия на технологические нужды			
2.1 Электроэнергия	кВт *ч	40,47	32618820
3.Топливо на технологические нужды			
3.1 Пар	м3	2,503	2017418
<b>Итого переменных издержек</b>	<b>руб.</b>	<b>14778,3</b>	<b>8440997530</b>
5.Общепроизводственные накладные расходы			
5.1.Расходы на содержание и эксплуатацию оборудования:	руб.	4,576	3687968,55
-Амортизация оборудования;	руб.	2,217	1786990
-Ремонт оборудования;	руб.	0,369	297500
Амортизация ПЧ;	руб.	1,341	1081086,24
5.2.Заработная плата производственных рабочих	руб.	57,353	46226356
Отчисления на соц.нужды производственных рабочих (34%)	руб.	19,500	15716961,04
5.3.Заработная плата ИТР, МОП	руб.	5,791	4667356
Отчисление на соц.нужды ИТР МОП (34%)	руб.	1,969	1586901,04
5.4.Заработная плата вспомогательного персонала	руб.	25,573	20611618
-Отчисление на соц.нужды вспомогательного персонала (34%)	руб.	8,695	7007950,12
<b>Итого постоянных издержек</b>	<b>руб.</b>	<b>127,382</b>	<b>102670687</b>
Цеховая (производственная) себестоимость	руб.	14905,682	8543668217
6.Управленческие расходы (20% от цеховой себестоимости)	руб.	2983,038	2404328628
Заводская себестоимость	руб.	17888,72	14418308320
7.Коммерческие расходы (7% от заводской себестоимости)	руб.	1165,82	939656250
<b>Полная себестоимость</b>	<b>руб.</b>	<b>19054,546</b>	<b>15357964570</b>
<b>Условно-переменные издержки</b>	<b>руб.</b>	<b>17761,337</b>	<b>14315637633</b>
<b>Условно-постоянные издержки</b>	<b>руб.</b>	<b>1293,209</b>	<b>1042326937</b>

Таблица 3.18 - Калькуляция себестоимости 1 тонны продукции N=860000 т/год

Статьи затрат	Ед.изм.	Затраты на единицу готовой продукции	Затраты на весь объем
1.Сырье			
1.1 Природный газ	м3	6300,45	5.434.138.125
1.2оборотная вода	м3	3,705	3195562,5
1.3 Дем. вода	м3	12,499	10780387,5
1.4 Едкий натр	т	0,466	401925
1.5 Катализатор конверсии	т	7931,25	6840703125
1.6 Катализатор очистки газов	т	2476,32	2135826000
1.7 Азот	м3	5,488	4733400
2.Электроэнергия на технологические нужды			
2.1 Электроэнергия	кВт *ч	40,47	34905375
3.Топливо на технологические нужды			
3.1 Пар	м3	2,503	2158837,5
<b>Итого переменных издержек</b>	<b>руб.</b>	<b>14778,3</b>	<b>9032705173</b>
5.Общепроизводственные накладные расходы			
5.1.Расходы на содержание и эксплуатацию оборудования:	руб.	4,276	3687968,55
-Амортизация оборудования;	руб.	2,072	1786990
-Ремонт оборудования;	руб.	0,345	297500
Амортизация ПЧ;	руб.	1,253	1081086,24
5.2.Заработная плата производственных рабочих	руб.	53,596	46226356
Отчисления на соц.нужды производственных рабочих (34%)	руб.	18,223	15716961,04
5.3.Заработная плата ИТР, МОП	руб.	5,411	4667356
Отчисление на соц.нужды ИТР МОП (34%)	руб.	1,840	1586901,04
5.4.Заработная плата вспомогательного персонала	руб.	23,898	20611618
-Отчисление на соц.нужды вспомогательного персонала (34%)	руб.	8,125	7007950,12
<b>Итого постоянных издержек</b>	<b>руб.</b>	<b>119,038</b>	<b>102670687</b>
Цеховая (производственная) себестоимость	руб.	14897,338	12848953575
6.Управленческие расходы (20% от цеховой себестоимости)	руб.	2983,038	2572870275
Заводская себестоимость	руб.	17880,376	15421823850
7.Коммерческие расходы (7% от заводской себестоимости)	руб.	1089,456	939656250
<b>Полная себестоимость</b>	<b>руб.</b>	<b>18969,832</b>	<b>16361480100</b>
<b>Условно-переменные издержки</b>	<b>руб.</b>	<b>14778,3</b>	<b>15319153163</b>
<b>Условно-постоянные издержки</b>	<b>руб.</b>	<b>1208,493</b>	<b>1042326937</b>

Постоянные затраты – это затраты, которые не меняются от изменения объёма выпускаемой продукции (арендная плата за помещение, амортизация основных производственных средств, износ нематериальных производственных средств и т.д.).

Переменные затраты – затраты, которые изменяются от объёма производства.

### 3.8 Расчет цены продукта

Цену продукта определяем по формуле:

$$Ц = C \cdot (1 + P/100), \quad (18)$$

где  $C$  – полная себестоимость единицы готовой продукции;

$P$  – рентабельность продукции (25%).

$$Ц = 19151,102 \cdot (1 + 25/100) = 23938,877 \text{ руб. (N=750000 т/год);}$$

$$Ц = 18969,832 \cdot (1 + 25/100) = 23712,290 \text{ руб. (N=860000 т/год).}$$

### 3.9 Анализ безубыточности

Цель анализа – определение точки безубыточности, т.е. минимального объёма продаж, начиная с которого предприятие не несет убытков. Это означает, что выручка от реализации продукции ( $V_{\text{реал.}}$ ) должна быть равна общим затратам на производство и реализацию продукции:

$$V_{\text{реал.}} = \text{Изд.}_{\text{пост}} + \text{Изд.}_{\text{пер}} \quad (19)$$

$$V = Ц * N_{\text{год}} \quad (20)$$

где  $N_{\text{год}}$  – выпуск продукции за год, т.

$$V_{750000} = 23938,877 \cdot 750.000 = 17.954.157,750 \text{ т. руб.}$$

$$V_{862500} = 23712,290 \cdot 860.000 = 20.451.850,125 \text{ т. руб.}$$

Определение точки безубыточности:

Расчёт точки безубыточности производится на основании сопоставления выпуска продукции, ее себестоимости, постоянных затратах, оптовой цены.

Аналитический способ безубыточного объёма продаж более удобен по сравнению с графическим, т.к. более точный.

1 Аналитическим способом:

$$Q_{кр.} = \frac{Изд_{пост}}{Ц_i - Изд_{пер}}, \text{ тыс. тонн, где} \quad (21)$$

$Q_{кр}$  – критический объём продаж, т.;

$U_{пост}$  – постоянные затраты на весь объём, т. руб.;

$U_{пер}$  за 1 т – переменные затраты на 1 тонну продукции, т. руб./т.;

$Ц_{1т}$  – цена 1 тонны продукции, т. руб./т.;

Найдем критический объем продаж на 750.000 т/год:

$$Q_{кр} = 1042326937 / (23938,877 - 17761,333) = 168,728 \text{ тыс. тонн}$$

Найдем критический объем продаж на 860.000 т/год:

$$Q_{кр} = 1042326937 / (23712,290 - 17761,333) = 175,153 \text{ тыс. тонн.}$$

2 Графическим способом:

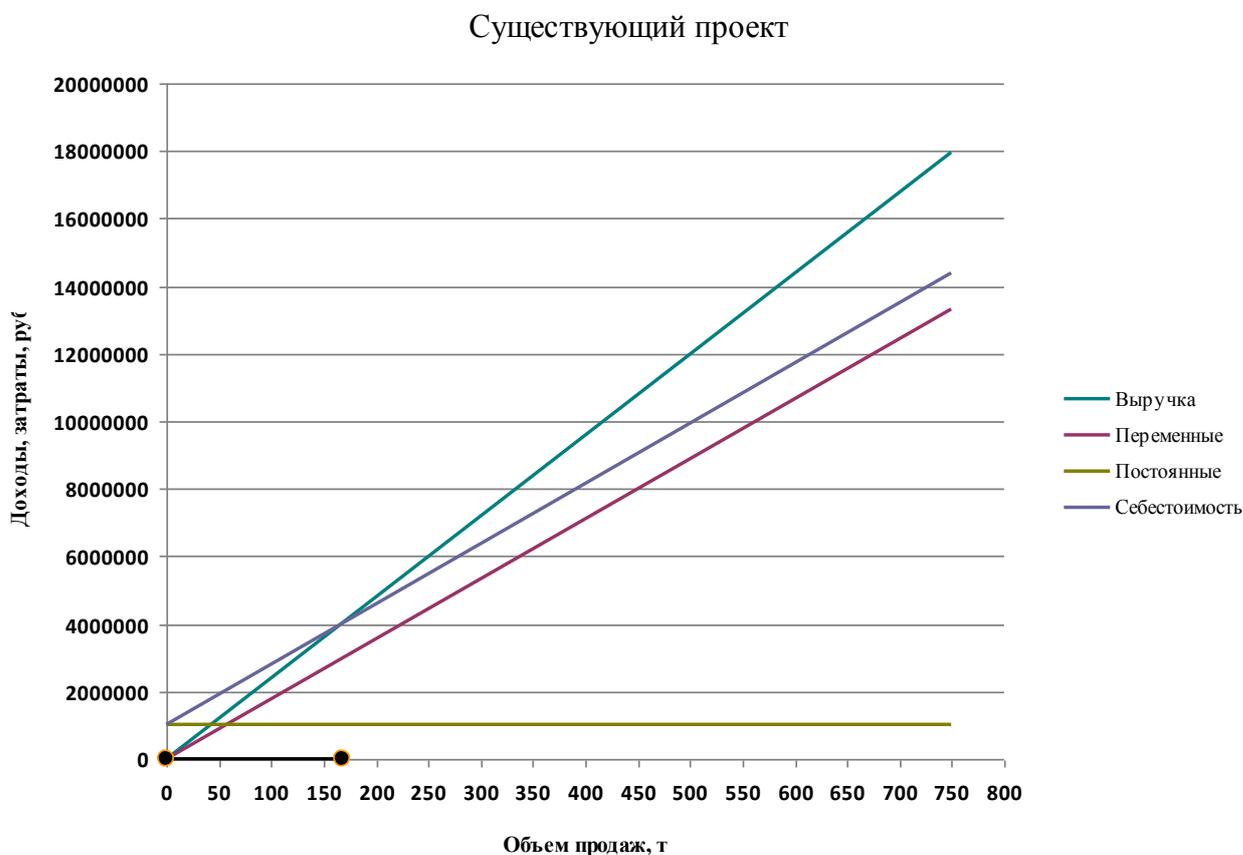


Рисунок 3 Определение точки безубыточности существующего проекта

### Расчетный проект

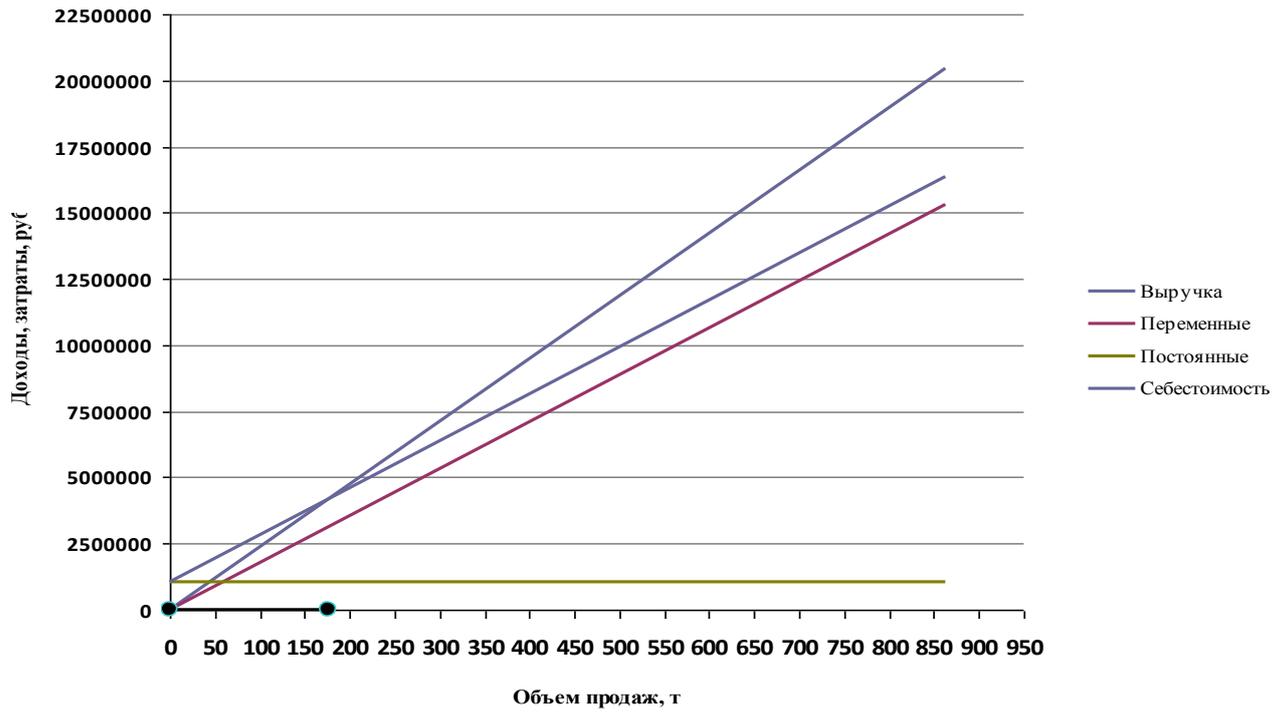


Рисунок 4 Определение точки безубыточности расчетного проекта

Таблица 3.19 - Технико-экономические показатели

№	Технико-экономические показатели		Текущий год	Плановый год	Плановый год
1	Выпуск продукции	т/г	750.000	806.000	860.000
2	Объем продаж	т/г	750.000	806.000	860.000
3	Цена за 1т.	руб.	23938,877	23818,1825	23712,290
4	Себестоимость 1 т.	руб.	19151,102	19054,546	18969,832
5	Выручка от продажи	т. руб.	17.954.157,750	19.197.455,095	20.451.850,125
6	Суммарные издержки	т. руб.	14.363.327,250	15.357.964,570	16.361.480,100
6.1	Издержки переменные	т. руб.	13.321.000,313	14.315.637,633	15.319.153,163
6.2	Издержки постоянные	т. руб.	1.042.326,937	1.042.326,937	1.042.326,937
7	Операционная прибыль	т. руб.	3.590.830,5	3.839.490,525	4.090.370,025
8	Налог на прибыль	т. руб.	933.615,930	998.267,5365	1.063.496,206
9	Чистая прибыль	т. руб.	2.657.214,57	2.841.222,9885	3.026.873,819
10	Стоимость основных фондов	т. руб.	38.724,912	38.724,912	38.724,912
11	Среднесписочная численность	чел.	155	155	155
12	Фондоотдача	руб./руб	370,906	396,705	422,505
13	Фондоёмкость	руб./руб	0,004	0,004	0,003
14	Фондовооруженность	т. руб.	249,838	249,838	249,838
15	Рентабельность производства	%	18,5	19,5	20,5
16	Рентабельность продаж	%	14,8	15,5	16,8
17	Производительность труда	т/чел.	115.833,275	123.854,549	131.947,419
18	Критический объем продаж	тыс. тонн.	168,728	172,090	175,153

Вывод: При увеличении объема производства продукции на 15 % , на имеющихся производственных мощностях, возросли только переменные издержки, постоянные издержки остались постоянными, в результате снизилась себестоимость на единицу готовой продукции в результате «эффекта масштаба». Произошло сокращение затрат на производство за счет повышения уровня производительности труда, экономного использования сырья, электроэнергии, топлива.