

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

Институт Электронного обучения

Направление Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии

Кафедра Общей химии и химической технологии

ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ

Тема проекта	
Проект технического перевооружения Блока атмосферной перегонки нефти	

УДК 665.63-048.35.001.6

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-2К11	Красавин Эдуард Валентинович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Балмашнов М.А.	к.т.н., доцент		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Сечина А.А.	к.х.н., доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Чулков Н.А.	к.т.н., доцент		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Тихонов В.В.	к.т.н., доцент		

ЗАПЛАНИРОВАННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ПРОГРАММЕ

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС ВПО, критериев и/или заинтересованных сторон
<i>Профессиональные компетенции</i>		
P1	Применять базовые математические, естественнонаучные, социально-экономические и специальные знания в профессиональной деятельности	Требования ФГОС (ПК-1,2,3,19,20), Критерий 5 АИОР (п.1.1)
P2	Применять знания в области энерго-и ресурсосберегающих процессов и оборудования химической технологии, нефтехимии и биотехнологии для решения производственных задач	Требования ФГОС (ПК-4,5,9,15 ОК-7), Критерий 5 АИОР (пп.1.1,1.2)
P3	Ставить и решать задачи производственного анализа, связанные с созданием и переработкой материалов с использованием моделирования объектов и процессов химической технологии, нефтехимии и биотехнологии.	Требования ФГОС (ПК-4,5,8,11, ОК-2,4), Критерий 5 АИОР (пп.1.2
P4	Проектировать и использовать новое энерго-и ресурсосберегающее оборудование химической технологии, нефтехимии и биотехнологии	Требования ФГОС (ПК-8,11,23,24), Критерий 5 АИОР (п.1.3)
P5	Проводить теоретические и экспериментальные исследования в области энерго-и ресурсосберегающих	Требования ФГОС (ПК-1,4,5,19-22, ОК-7,10), Критерий 5

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС ВПО, критериев и/или заинтересованных сторон
	процессов химической технологии, нефтехимии и биотехнологии	АИОР (п.1.4)
Р6	Осваивать и эксплуатировать современное высокотехнологичное оборудование, обеспечивать его высокую эффективность и надежность, соблюдать правила охраны здоровья и безопасности труда на производстве, выполнять требования по защите окружающей среды.	Требования ФГОС (ПК-6,12,13,14,17, ОК- 3,4,8), Критерий 5 АИОР (п.1.5)
Р7	Применять знания по проектному менеджменту для ведения инновационной инженерной деятельности с учетом юридических аспектов защиты интеллектуальной собственности	Требования ФГОС (ПК-3, 8, 9, 10, 11, 12, 13), Критерий 5 АИОР (п. 2.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
Р8	Использовать современные компьютерные методы вычисления, основанные на применении современных эффективных программных продуктов при расчете свойств материалов, процессов, аппаратов и систем, характерных для профессиональной области деятельности;	Требования ФГОС (ПК-4, 5, 9, 10, 11, 14)

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС ВПО, критериев и/или заинтересованных сторон
	находить необходимую литературу, использовать компьютерные базы данных и другие источники информации	
<i>Общекультурные компетенции</i>		
P9	Демонстрировать знания социальных, этических и культурных аспектов профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ОК- 1,2,6-10), Критерий 5 АИОР (пп.2.4,2.5)
P10	Самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ОК- 6,7,8), Критерий 5 АИОР (2.6)
P11	Владеть иностранным языком на уровне, позволяющем разрабатывать документацию, презентовать результаты профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ОК- 11) , Критерий 5 АИОР (п.2.2)
P12	Эффективно работать индивидуально и в коллективе, демонстрировать ответственность за результаты работы и готовность следовать корпоративной культуре организации.	Требования ФГОС (ОК- 3,4,5,12) , Критерий 5 АИОР (пп.1.6, 2.3)

Цели образовательной программы

Код цели	Формулировка цели	Требования ФГОС ВПО и (или) заинтересованных работодателей
Ц1	Подготовка выпускников к	Требования ФГОС ВПО, критерии

Код цели	Формулировка цели	Требования ФГОС ВПО и (или) заинтересованных работодателей
	производственно-технологической деятельности в области энерго- и ресурсосберегающих процессов в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии, конкурентоспособных на мировом рынке.	АИОР, соответствующие международным стандартам EUR-ACE и FEANI. Требования к выпускникам предприятий химического комплекса России (ООО СИБУР «Томскнефтехим», ОАО «Тоскгазпром», ОАО «КИНЕФ», г. Кириши, Ангарский нефтеперерабатывающий комбинат, ПО «Азот», г. Кемерово, ООО «ЭльПласт», ООО «Сибметакхим, ОАО «Фармстандарт–Томскхимфарм», и др.).
Ц2	Подготовка выпускников к проектной деятельности в области энерго- и ресурсосберегающих процессов в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии.	Требования ФГОС ВПО, критерии АИОР, соответствующие международным стандартам EUR-ACE и FEANI. Требования к выпускникам предприятий химического комплекса России (ОАО «ТомскНИПИнефть, ОАО НК «РОСНефть», г. Краснодар, ОАО «Самаранефтехимпроект, ЭЛЕСИ и др.).
Ц3	Подготовка выпускников к научным исследованиям для решения задач, связанных с разработкой новых методов создания процессов, материалов и оборудования, обеспечивающих энерго-ресурсосбережение, экологическую безопасность	Требования ФГОС ВПО, критерии АИОР, соответствующие международным стандартам EUR-ACE и FEANI. Потребности научно-исследовательских центров РАН, СО РАН (ТПУ, ТГУ, Институт химии нефти СО РАН, Институт катализа СО РАН, г. Новосибирск, НИОСТ, ООО НПЦ «НООСФЕРА», г. Надым и др.).

Код цели	Формулировка цели	Требования ФГОС ВПО и (или) заинтересованных работодателей
	технологии.	
Ц4	Подготовка выпускников к организационно-управленческой деятельности.	Требования ФГОС ВПО, критерии АИОР, соответствующие международным стандартам EUR-ACE и FEANI, запросы отечественных предприятий и НИИ.
Ц5	Подготовка выпускников к самообучению и непрерывному профессиональному самосовершенствованию.	Требования ФГОС ВПО, критерии АИОР, соответствующие международным стандартам EUR-ACE и FEANI , запросы отечественных предприятий и НИИ..

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

Институт электронного обучения

Направление подготовки (специальность) энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии нефтехимии и биотехнологии

Кафедра общей химии и химической технологии

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой

(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврская работа

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

Студент:

Группа	ФИО
3-2К11	Красавин Эдуард Валентинович

Тема работы:

Проект технического перевооружения блока атмосферной перегонки нефти	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	25.04.2016 № 3106/С

Срок сдачи студентом выполненной работы:	16.05.16
--	----------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i>	<i>Технологическая схема упаривания раствора нитрата уранила. Провести технологический и механический расчет ректификационной колонны. Тип колонного аппарата – тарельчатая; Расход по сырью – 10 тонн/час.</i>
--	---

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов (аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).	1. Технологический расчет: - описание технологической схемы; - расчет материального баланса; - расчет теплового баланса. 2. Конструктивно-механический расчет выпарного аппарата: - определение расчетных параметров; - определение толщины стенок обечаек, днищ, крышек; - расчет фланцевых соединений; - укрепление отверстий; - расчет и подбор опор. 3. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: - анализ производственной мощности; - расчет годового фонда заработной платы работников; - анализ организации оплаты труда; - определение потребности в инвестициях. 4. Социальная ответственность: - анализ производственной безопасности; - анализ экологической безопасности; - правовые и организационные вопросы в обеспечении безопасности.
Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)	Лист 1 – Технологическая схема (A0). Лист 2, 3 – Ректификационная колонна. Чертеж общего вида (A1).
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы (с указанием разделов)	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.	к.х.н., доцент Сечина А.А.
Социальная ответственность	к.т.н., доцент Чулков Н.А.
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
<i>Реферат</i>	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	04.02.16
--	-----------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Балмашнов М.А.	к.т.н., доцент		04.02.16

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-2К11	Красавин Эдуард Валентинович		04.02.16

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 156 страниц, 38 рисунков, 16 таблиц, 50 источников, 2 прил., 4 листа графического материала.

АППАРАТ КОЛОННОГО ТИПА, РЕКТИФИКАЦИОННАЯ КОЛОННА, НЕФТЬ СЫРАЯ, ПЕРВИЧНАЯ ПЕРЕРАБОТКА НЕФТИ, АТМОСФЕРНАЯ ТРУБЧАТАЯ УСТАНОВКА, КОЛПАЧКОВАЯ ТАРЕЛКА, ОПОРА, ОБЕЧАЙКА, ДНИЩЕ, ФЛАНЕЦ.

Объектом исследования являются процессы первичной переработки нефти на атмосферной трубчатой установке.

Цель работы – разработка проекта технического перевооружения, направленного на увеличение производительности установки, повышения качества выпускаемых продуктов.

Разработка выпускной квалификационной работы осуществлялась по исходным данным предприятия (ООО «Юргаус», город Гурьевск, Кемеровской области.), являющихся базой преддипломной практики.

Для проектирования выбрана ректификационная колонна с колпачковыми тарелками в царговом исполнении. Проведен технологический, конструктивный и механический расчет аппарата.

Применение проектируемого колонного аппарата позволило увеличить производительность установки, обеспечить четкость ректификации и выработку продукции требуемого качества.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	11
1 Теоретические основы первичной переработки нефти.....	12
1.1 Анализ существующих схем первичной переработки нефти.....	12
1.2 Типы ректификационных аппаратов.....	18
1.3 Типы контактных устройств.....	20
1.4 Описание технологического процесса и схемы работы установки.....	24
1.5 Постановка проектной задачи.....	27
2 Технологический расчет.....	32
2.1 Исходные данные к расчету.....	32
2.2 Расчет материального баланса колонны.....	33
2.3 Расчет температур по колонне.....	35
2.4 Расчет флегмового числа.....	39
2.5 Определение потоков по колонне.....	45
2.6 Расчет теплового баланса колонны.....	49
3 Конструктивный расчет.....	52
3.1 Определение диаметра колонны и характеристик тарелки.....	52
3.2 Расчет числа тарелок.....	53
3.3 Расчет высоты колонны.....	54
3.4 Расчет штуцеров аппарата.....	56
3.5 Определение толщины тепловой изоляции.....	58
3.6 Расчет колпачковой тарелки.....	58
3.7 Описание конструкции аппарата.....	62
4 Механический расчет.....	65
4.1 Выбор материала.....	65
4.2 Определение расчетных давлений.....	66
4.3 Расчет цилиндрической обечайки, нагруженной внутренним избыточным давлением.....	67

4.4 Расчет эллиптического днища, нагруженного внутренним избыточным давлением	69
4.5 Определение весовых характеристик корпуса колонны	70
4.6 Расчет аппарата на ветровую и сейсмическую нагрузки	71
4.7 Подбор и расчет опоры	78
4.8 Расчет характеристик опасных сечений	81
4.9 Расчет укрепления отверстий	84
4.10 Расчет фланцевого соединения	84
4.11 Расчет тарелки на прочность и жесткость	88
4.12 Расчет фланца царги	90
5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность, ресурсосбережение	97
5.1 Расчет экономической эффективности производства	97
5.2 Планирование себестоимости продукции	103
5.3 Финансовый план	111
5.4 Анализ безубыточности	112
5.5 Выводы	113
6 Социальная ответственность	115
6.1 Производственная безопасность	115
6.2 Экологическая безопасность	122
6.3 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	127
Заключение	131
Список использованных источников	132
Приложение А. Расчет в MathCAD на ветровую нагрузку	138
Приложение Б. Расчет в MathCAD фланцевого соединения царги	150

ВВЕДЕНИЕ

В ряде производств химической, нефтяной, пищевой и других отраслей промышленности в результате различных технологических процессов получают смеси жидкостей, которые необходимо разделить на составные части.

Для разделения смесей жидкостей и сжиженных газовых смесей в промышленности применяют способы простой перегонки (дистилляции), перегонки под вакуумом и с водяным паром, молекулярной перегонки и ректификации.

Сущность процесса ректификации сводится к выделению из смеси двух или в общем случае нескольких жидкостей с различными температурами кипения одной или нескольких жидкостей в более или менее чистом виде. Процесс ректификации осуществляют в ректификационной установке, включающей ректификационную колонну, дефлегматор, холодильник-конденсатор, подогреватель исходной смеси, сборники дистиллята и кубового остатка. Основным аппаратом установки является ректификационная колонна, в которой пары перегоняемой жидкости поднимаются снизу, а навстречу парам сверху стекает жидкость, подаваемая в верхнюю часть аппарата в виде флегмы.

Ректификационные колонны широко применяются на технологических установках НПЗ и НХЗ для разделения смесей. Целью расчета ректификационных колонн является определение параметров технологического режима и размеров аппарата. К параметрам режима относятся: рабочее давление в аппарате, температуры входа и выхода различных материальных потоков. Вопросам расчета ректификационных колонн посвящена обширная литература [1—17].

В проекте предусмотрена замена существующего колонного оборудования, установка новых контактных устройств. Применение проектируемого колонного аппарата позволило повысить производительность установки, обеспечить четкость ректификации и выработку продукции требуемого качества.

Целью курсового проекта является проектирование ректификационной колонны непрерывного действия, в которой происходит выделение бензиновой фракции из сырой нефти.

1 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПЕРВИЧНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ НЕФТИ

1.1 Анализ существующих схем первичной переработки нефти

1.1.1 Подготовка нефти к переработке

Сырая нефть содержит растворенные в ней газы, называемые попутными, воду, минеральные соли, различные механические примеси. Подготовка нефти к переработке сводится к выделению из нее этих включений и нейтрализации химически активных примесей [1].

Выделение из нефти попутных газов производится в газоотделителях путем уменьшения растворимости газов за счет снижения давления. Затем газы направляются для дальнейшей переработки на газобензиновый завод, где из них извлекают газовый бензин, этан, пропан, бутан. Окончательное отделение газов от нефти происходит в стабилизационных установках, где они отгоняются в специальных ректификационных колоннах [1].

1.1.2 Перегонка нефти

Первичная перегонка нефти – первый технологический процесс переработки нефти. Установки первичной переработки имеются на каждом нефтеперерабатывающем заводе.

Перегонка, или дистилляция, — это процесс разделения смеси взаимнорастворимых жидкостей на фракции, которые отличаются по температурам кипения как между собой, так и с исходной смесью. При перегонке смесь нагревается до кипения и частично испаряется; получают дистиллят и остаток, которые по составу отличаются от исходной смеси. На современных установках перегонка нефти проводится с применением однократного испарения.

При однократном испарении низкокипящие фракции, перейдя в пары, остаются в аппарате и снижают парциальное давление испаряющихся высококипящих фракций, что дает возможность вести перегонку при более низких температурах.

При однократном испарении и последующей конденсации паров получают две фракции: легкую, в которой содержится больше низкокипящих компонентов, и тяжелую, в которой содержится меньше низкокипящих компонентов, чем в исходном сырье, т. е. при перегонке происходит обогащение одной фазы низкокипящими, а другой высококипящими компонентами. При этом достичь требуемого разделения компонентов нефти и получить конечные продукты, кипящие в заданных температурных интервалах, с помощью перегонки нельзя. В связи с этим после однократного испарения нефтяные пары подвергают ректификации.

Ректификация – диффузионный процесс разделения жидкостей, различающихся по температурам кипения, за счет противоточного многократного контактирования паров и жидкости [37].

На установках первичной перегонки нефти однократное испарение и ректификация, как правило, совмещаются. Для перегонки нефти используют одноступенчатые и двухступенчатые трубчатые установки. Теплоту, необходимую для проведения процесса, получают в трубчатых печах.

Первичная перегонка нефти осуществляется на трубчатых установках. В зависимости от общей схемы нефтеперерабатывающего завода и свойств поступающей для переработки нефти перегонку ведут либо на атмосферных трубчатых установках, либо на установках, сочетающих атмосферную и вакуумную перегонку, – атмосферно-вакуумных трубчатых установках [37].

Схема атмосферно-вакуумной установки для перегонки нефти приведена на рисунке 1.1 [38]. Нефть подается на перегонку через теплообменники, где она нагревается до 170–175 °С теплотой продуктов перегонки (утилизация теплоты), и поступает в трубчатую печь 1. Нагретая до 350 °С нефть подается в испарительную часть колонны 2, работающей под атмосферным давлением. Здесь происходит так называемое однократное испарение нефти.

При впуске в испаритель нефть, нагретая в трубчатой печи, мгновенно испаряется вследствие резкого снижения давления; при этом расходуется часть теплоты. Пары низкокипящих фракций устремляются вверх навстречу стекающей

вниз жидкости – флегме, при соприкосновении с которой они охлаждаются и конденсируются. Жидкость нагревается и из нее испаряются более летучие фракции, т. е. жидкость обогащается труднолетучими углеводородами, а пары – легколетучими.

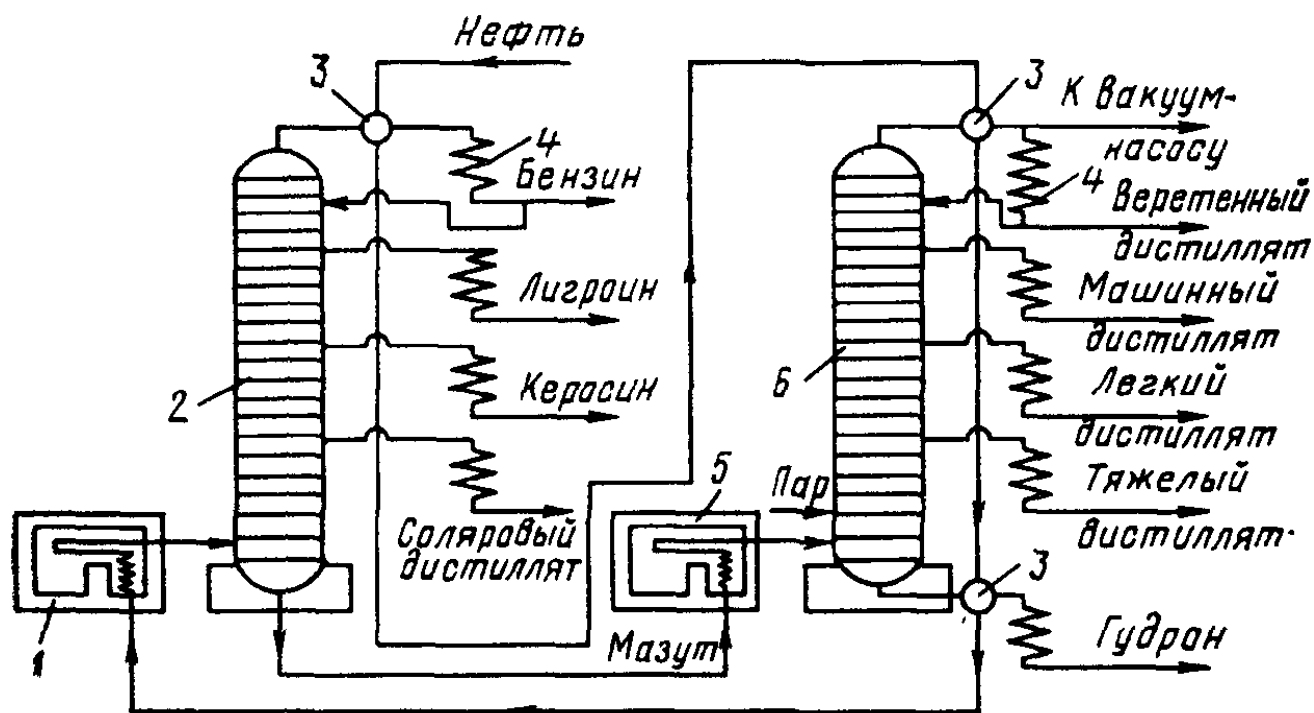


Рисунок 1.1 – Схема атмосферно-вакуумной установки для перегонки нефти:

1, 5 – трубчатые печи; 2, 6 – ректификационные колонны; 3 – теплообменники; 4 – конденсаторы

По высоте колонны отбираются дистилляты различного состава в строго определенных интервалах температур. Так, при 300–350 °С конденсируется и отбирается соляровое масло, при 200–300 °С – керосин, при 160–200 °С – лигроиновая фракция.

Из верхней части колонны выводятся пары бензина, которые охлаждаются и конденсируются в теплообменниках 3 и 4. Часть жидкого бензина подают на орошение колонны 2. В ее нижней части собирается мазут, который подвергают дальнейшей перегонке для получения из него смазочных масел во второй ректификационной колонне 6, работающей под вакуумом.

При перегонке мазута вакуум применяется с целью предотвращения расщепления углеводородов под воздействием высоких температур.

Предварительно мазут направляют во вторую трубчатую печь 5, где он нагревается до 400–420 °С.

Образовавшиеся пары поступают в ректификационную колонну 6, в которой поддерживается остаточное давление 5,3–8,0 кПа. Стекающая вниз по колонне неиспарившаяся жидкость продувается острым водяным паром для облегчения условий испарения легких компонентов и для снижения температуры в нижней части колонны.

Ассортимент продуктов вакуумной перегонки мазута зависит от варианта переработки – масляной или топливной. По масляной схеме получают несколько фракций – легкий, средний и тяжелый масляные дистилляты; по топливной схеме получают одну фракцию, называемую вакуумным газойлем, используемым как сырье каталитического крекинга или гидрокрекинга.

Дистилляты, получаемые по первой схеме, подвергают специальной очистке и затем смешивают в различных соотношениях для получения тех или иных сортов масел. Из нижней части колонны выводится гудрон – остаток перегонки нефти. Гудрон используется как сырье для термического крекинга, коксования, производства битума и высоковязких масел.

Выход продукции на установках прямой перегонки зависит от состава исходной нефти и от технологической схемы установки. На одном и том же заводе из одинакового сырья на разных перегонных установках получают различное количество товарных продуктов.

1.1.3 Деструктивные способы переработки нефти

Помимо перегонки также используются деструктивные способы переработки нефти. В результате первичной перегонки нефти из нее в виде отдельных фракций удается выделить вещества, которые в ней уже присутствовали. Применение деструктивных методов переработки нефти позволяет получать новые вещества, являющиеся товарными продуктами, необходимыми в различных отраслях народного хозяйства [37].

Термический крекинг осуществляется при 470–540 °С под давлением 2–7 МПа. Термическое разложение углеводородов начинается при 380–400 °С. С увеличением температуры скорость крекинга сильно увеличивается, поскольку процесс протекает в кинетической области. Также используется каталитический крекинг, что позволяет увеличить выход бензина до 45–50% без ухудшения других показателей процесса.

Пиролиз – наиболее жесткий процесс термической переработки нефти. Он проводится при 700–1000 °С и давлении, близком к атмосферному, и предназначается для получения высокоценных низших алкенов (олефиновых углеводородов) – сырья нефтехимического синтеза.

Коксование – процесс глубокого разложения нефтяных фракций без доступа воздуха с целью получения нефтяного кокса и дистиллята широкого фракционного состава. Коксование позволяет утилизировать с превращением в светлые нефтепродукты не только прямогонные остатки – мазуты, полугудроны, гудроны, но и такие продукты, как асфальты и экстракты масляного производства.

Каталитический риформинг используют для повышения октанового числа бензиновых фракций и для получения аренов, являющихся ценным сырьем нефтехимического синтеза. В процессе риформинга молекулы углеводородов подвергаются перестройке (рифформируются) без изменения числа углеродных атомов в молекуле. В основе процесса лежат реакции, открытые и изученные советскими учеными: дегидрирование циклоалканов (нафтен) в арены и дегидроциклизация алканов.

1.1.4 Сущность процесса ректификации

Ректификация является массообменным процессом. Массообменный процесс – это перенос вещества из одной фазы в другую без изменения химической структуры самого вещества (см. рисунок 1.2). Для получения продуктов с заданной концентрацией компонентов и высокими выходами используют процесс ректификации, который широко применяется в нефтегазопереработке,

химической, нефтехимической, кислородной, пищевой и других отраслях промышленности.

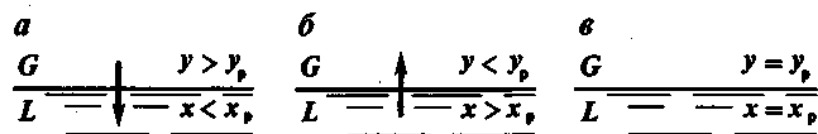


Рисунок 1.2. Схема переноса вещества между двумя фазами:

а – из фазы G в фазу L; б – из фазы L в фазу G ; в – равновесие фаз

Вступающие в контакт пары и жидкость при ректификации не находятся в равновесии, но в результате контакта фазы стремятся достичь его или приблизиться к этому состоянию. При этом происходит выравнивание температур и давлений в фазах и перераспределение компонентов между ними. Контакт пара и жидкости, при котором система достигает состояния равновесия, называется идеальным или теоретическим, а устройство, обеспечивающее такой контакт – теоретической тарелкой.

Сущность процесса ректификации смеси заключается в следующем [37]. На каждую, например, n-ю тарелку с вышележащей тарелки стекает жидкость и с нижерасположенной тарелки поднимаются пары. При теоретическом контакте на n-й тарелке система достигает состояния равновесия, при этом пары и жидкость будут иметь одинаковую температуру.

Для осуществления процесса ректификации температурный режим в колонне должен быть таким, чтобы температура убывала в направлении движения потока паров (возрастала в направлении движения потока жидкости). При контакте фаз в результате массообменных процессов температура паровой фазы снизится, часть паров конденсируется и концентрация НКК в них возрастет, а температура жидкой фазы увеличится, часть ее испарится, и концентрация НКК в ней уменьшится.

Изменение состава паров и жидкости удобно проследить по изобарным температурным кривым, приведенным на рисунке 1.3. Схема движения потоков в колонне показана на рисунке 1.4. На n-й теоретической тарелке в результате

контакта концентрация НКК в паровой фазе увеличилась, а в жидкой фазе уменьшилась, тем самым концентрация ВКК в жидкости увеличилась.

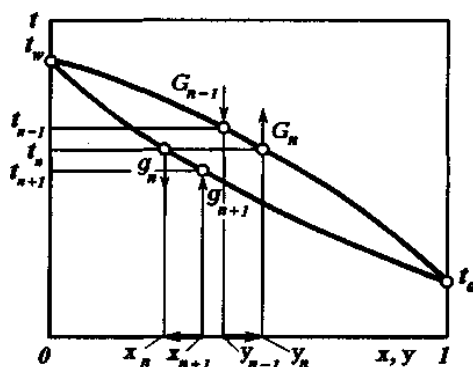


Рисунок 1.3 – Схема изменения состава пара и жидкости на тарелке

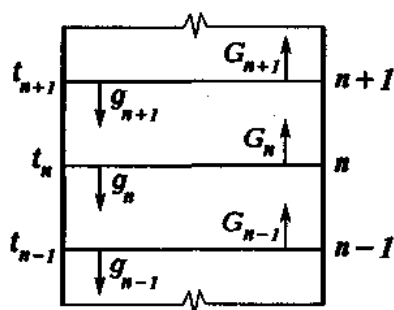


Рисунок 1.4 – Схема контактирования пара и жидкости на тарелке

При ректификации массообмен протекает в обоих направлениях. Если теплота испарения и теплоемкости разделяемых компонентов различаются незначительно, то массы парового и жидкостного потоков по высоте аппарата изменяются мало. При многократном повторении таких противоточных контактов на верху аппарата можно получить пары, обогащенные в любой степени низкокипящим компонентом, а снизу отбирать жидкость обогащенную высококипящим компонентом. Подобное контактирование осуществляется до тех пор, пока пар на верху колонны не приобретает заданного состава по НКК, а жидкость внизу колонны не достигнет состава.

1.2 Типы ректификационных аппаратов

Аппараты, в которых осуществляются ректификационные процессы, называют ректификационными колоннами. Как и другие процессы

массопередачи, ректификация протекает на поверхности раздела фаз. Поэтому ректификационные колонны должны иметь развитую поверхность соприкосновения между жидкостью и газом [35].

Ректификационные колонны могут быть классифицированы в зависимости от рабочего давления, технологического назначения и типа контактных устройств. В зависимости от применяемого давления колонные аппараты подразделяются на атмосферные, вакуумные и колонны, работающие под давлением.

По технологическому назначению колонные аппараты подразделяются на колонны атмосферных и атмосферно-вакуумных установок разделения нефти и мазута, колонны установок вторичной перегонки бензинов, каталитического крекинга, установок газоразделения, установок регенерации растворителей при депарафинизации масел и др.

По типу внутренних контактных устройств различают тарельчатые, насадочные и пленочные колонные аппараты (рисунок 1.5).

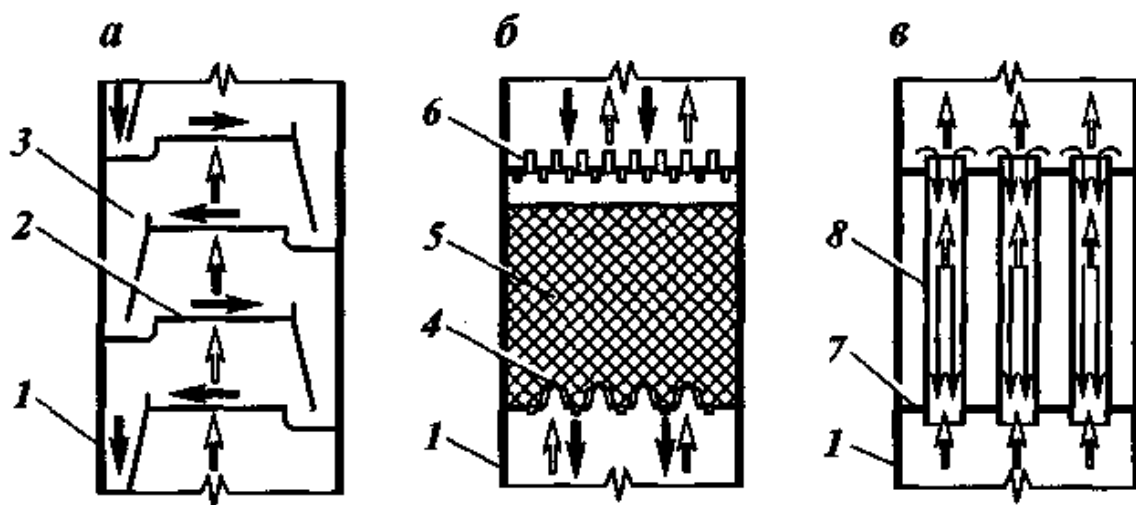


Рисунок 1.5 – Схемы основных типов колонных аппаратов:

а – тарельчатый; б – насадочный; в – пленочный; 1 – корпус колонны; 2 – полотно тарелки; 3 – переточное устройство; 4 – опорная решетка; 5 – насадка; 6 – распределитель; 7 – трубная решетка; 8 – трубка.

Области применения контактных устройств определяются свойствами разделяемых смесей, рабочим давлением в аппарате, нагрузками по пару (газу) и

жидкости и т.п. В тарельчатых аппаратах (рисунок 1.5, а) контакт между фазами происходит при прохождении пара (газа) сквозь слой жидкости, находящейся на контактном устройстве (тарелке) жидкостью осуществляется на поверхности специальных насадочных тел, а также в свободном пространстве между ними [35].

В ректификационных колоннах применяются тарелки различных конструкций (колпачковые, клапанные, струйные, провальные и т.п.), существенно различающиеся по своим рабочим характеристикам и технико-экономическим данным.

При выборе конструкции контактного устройства учитывают как их гидродинамические и массообменные характеристики, так и экономические показатели работы колонны при использовании того или иного типа контактных устройств.

1.3 Типы контактных устройств

В настоящее время в промышленной практике известны различные конструкции тарелок, которые можно классифицировать по способу передачи жидкости с тарелки на тарелку, по способу взаимодействия жидкой и паровой (газовой) фаз, по характеру диспергирования взаимодействующих фаз, по конструкции устройства для ввода пара (газа) в жидкость и др [35].

По способу передачи жидкости различают тарелки со специальными переточными устройствами и тарелки провальные.

По характеру диспергирования взаимодействующих фаз различают тарелки барботажного и струйного типов.

В зависимости от конструкции устройств для ввода пара в жидкость различают ситчатые (дырчатые), колпачковые, клапанные, язычковые (чешуйчатые) и другие типы тарелок.

Рассмотрим особенности работы барботажной тарелки на примере колпачковой тарелки с круглыми колпачками, схема которой приведена на рисунке 1.6.

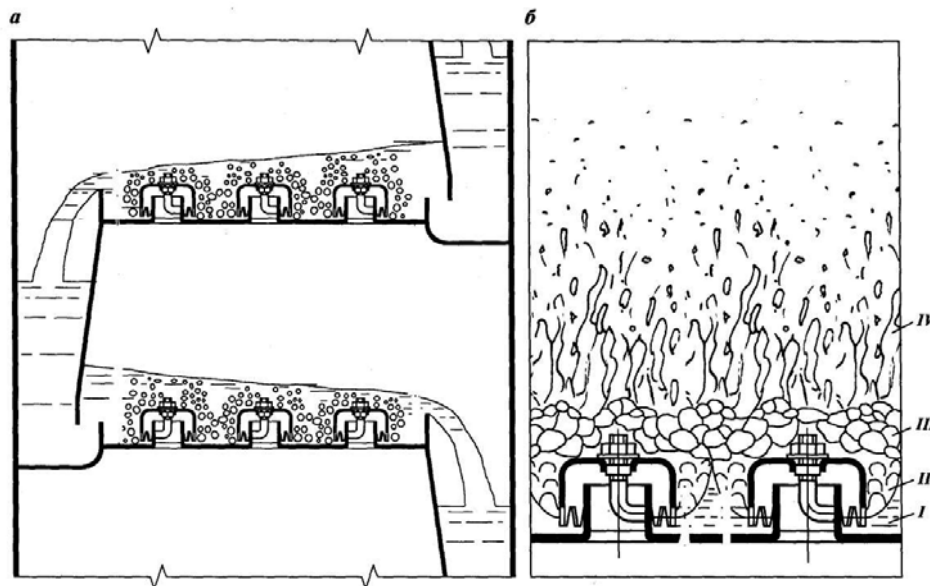


Рисунок 1.6 – Схема работы барботажной тарелки с круглыми колпачками:

а – общий вид тарелки; б – схема барботажного газа в зоне контакта. I – зона небарботируемой жидкости; II – зона недеформируемых струй; III – зона деформируемых струй — пены; IV – зона парового пространства с взвешенными каплями жидкости.

Жидкость поступает на полотно тарелки из переливного устройства и течет от приточной стороны тарелки к сточной, при этом на тарелке возникает градиент уровня жидкости. Стенка переливного устройства погружена в жидкость, находящуюся на нижележащей тарелке, что обеспечивает в колонне соответствующий гидравлический затвор, исключающий возможность прохождения паров через переливное устройство.

Уровень жидкости в переливном устройстве выше уровня жидкости на тарелке, что обеспечивает необходимый расход жидкости. Высота слоя жидкости на полотне тарелки определяется высотой сливной перегородки и подпором жидкости над гребнем слива. Изменяя высоту сливной перегородки, можно менять уровень жидкости на тарелке [35].

Поток паров при поступлении в слой жидкости прорезями колпачков разбивается на большое число отдельных струй, которые с большой скоростью входят в жидкость. В пространстве между смежными колпачками паровые и

жидкостные струи, сталкиваясь, деформируются, образуя слой газожидкостной системы (пены) с сильно развитой поверхностью контакта фаз (рисунок 1.6, б).

Бесколпачковые барботажные тарелки (из S-образных элементов, клапанные, струйные, ситчатые), снабженные переливными устройствами, по принципу работы аналогичны работе колпачковой тарелки.

Тарелки провального типа перекрывают все сечение колонны и состоят из отдельных секций, укрепленных на опорном кольце и балках каркаса. На тарелках провального типа паровая и жидкая фазы контактируют по схеме противотока. Тарелки этого типа гораздо более чувствительны к изменению нагрузок по жидкости и пару и имеют более узкий диапазон рабочих нагрузок.

Чтобы избежать этого, прибегают к различным приемам, позволяющим локализовать (скомпенсировать) прямоточное движение фаз и не допустить его распространения на всю тарелку. Примером может служить установка поперечных секционирующих перегородок; создание движения фаз в пересекающихся направлениях, когда оси соседних лепестков расположены во взаимно перпендикулярном направлении или образуют пучок прямых и т.п.

В промышленности также применяют разнообразные по форме и размерам насадки, которые в той или иной мере удовлетворяют требованиям, являющимся основными при проведении конкретного процесса абсорбции.

Насадки изготавливают из разнообразных материалов (керамика, фарфор, сталь, пластмассы и др.) выбор которых диктуется величиной удельной поверхности насадки, смачиваемостью и коррозионной стойкостью [35].

Некоторые типы насадок приведены на рисунке 1.7. В качестве насадки используют также засыпаемые навалом в колонну куски кокса или кварца размерами. Однако вследствие ряда недостатков (малая удельная поверхность, высокое гидравлическое сопротивление и т. д.) кусковую насадку в настоящее время применяют редко.

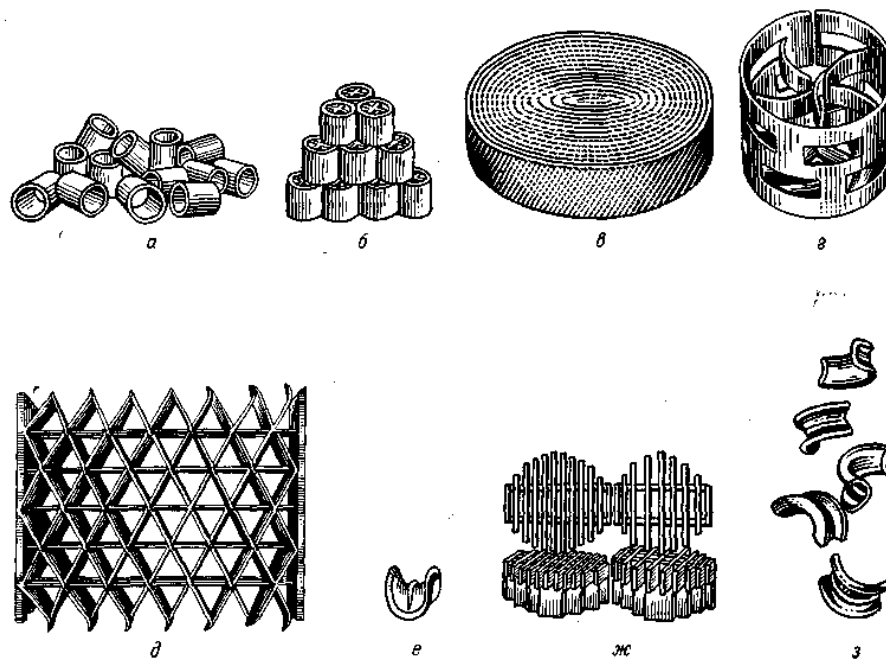


Рисунок 1.7 – Типы насадок:

а – кольца Рашига, беспорядочно уложенные (навалом); б – кольца с перегородками, правильно уложенные; в – насадка Гудлое; г – кольца Палля; д – насадка «Спрейпак»; е – седла Берля; ж – хордовая насадка; з – седла «Инталлокс».

Насадки изготавливают из разнообразных материалов (керамика, фарфор, сталь, пластмассы и др.) выбор которых диктуется величиной удельной поверхности насадки, смачиваемостью и коррозионной стойкостью.

Широко распространена насадка в виде тонкостенных керамических колец высотой, равной диаметру (кольца Рашига), который изменяется в пределах 15—150 мм. Кольца малых размеров засыпают в абсорбер навалом. Большие кольца укладывают правильными рядами, сдвинутыми друг относительно друга.

Использование насадки обусловлено простой конструкции колонны, удобством монтажа и обслуживания. Насадочная колонна обладает сравнимой эффективностью с тарельчатой. Насадка дешевле тарельчатых контактных устройств.

Вместе с тем, насадочные колонны имеют ряд недостатков. В частности, сложности с регулированием нагрузки, насадка эффективно работает только в диапазоне оптимальной смачиваемости. При снижении расхода жидкости

появляется тенденция к стеканию жидкой фазы вдоль внутренней поверхности обечайки колонны, это вынуждает ставить специальные распределительные тарелки. Увеличение паровой нагрузки вызывает захлебывание насадки, резкое увеличение гидравлического сопротивления и снижение эффективности разделения [37].

1.4 Описание технологического процесса и схемы работы установки

В атмосферной трубчатой установке (АТ) применяется технологическая схема с двумя ректификационными колоннами (отбензинивающей колонной и основной колонной) - схема с двукратным испарением и двукратной ректификацией (см. рисунок 1.8) [38].

Выбор схемы определяется содержанием в данной нефти газов, бензиновых фракций, светлых нефтепродуктов и серы. Данная схема наиболее гибкая и работоспособная при значительном содержании бензиновых фракций и растворенных газов. Коррозионно-агрессивные вещества удаляются через верх первой колонны, таким образом основная колонна защищена от коррозии. Благодаря предварительному удалению бензиновых фракций в змеевиках печи и теплообменниках не создается высокого давления, что позволяет устанавливать более дешевое оборудование без усиления его прочности. В колонне отбензинивания нефти выполняется отгонка легкой фракции НК-180, часто содержащей сероводород, который образуется из нестойких соединений серы при нагреве нефти.

До поступления в первую ректификационную колонну, называемую также стабилизационной колонной, нефть нагревается только в теплообменниках, проходя в них одним, двумя или несколькими параллельными потоками. Верхним продуктом первой колонны являются фракция НК-180, направляемая в установку вторичной перегонки широкой бензиновой фракции, и небольшое количество газа. Остальные дистилляты, выводимые с установки, а также мазут получают во второй колонне. Обе колонны обслуживаются общей трубчатой печью.

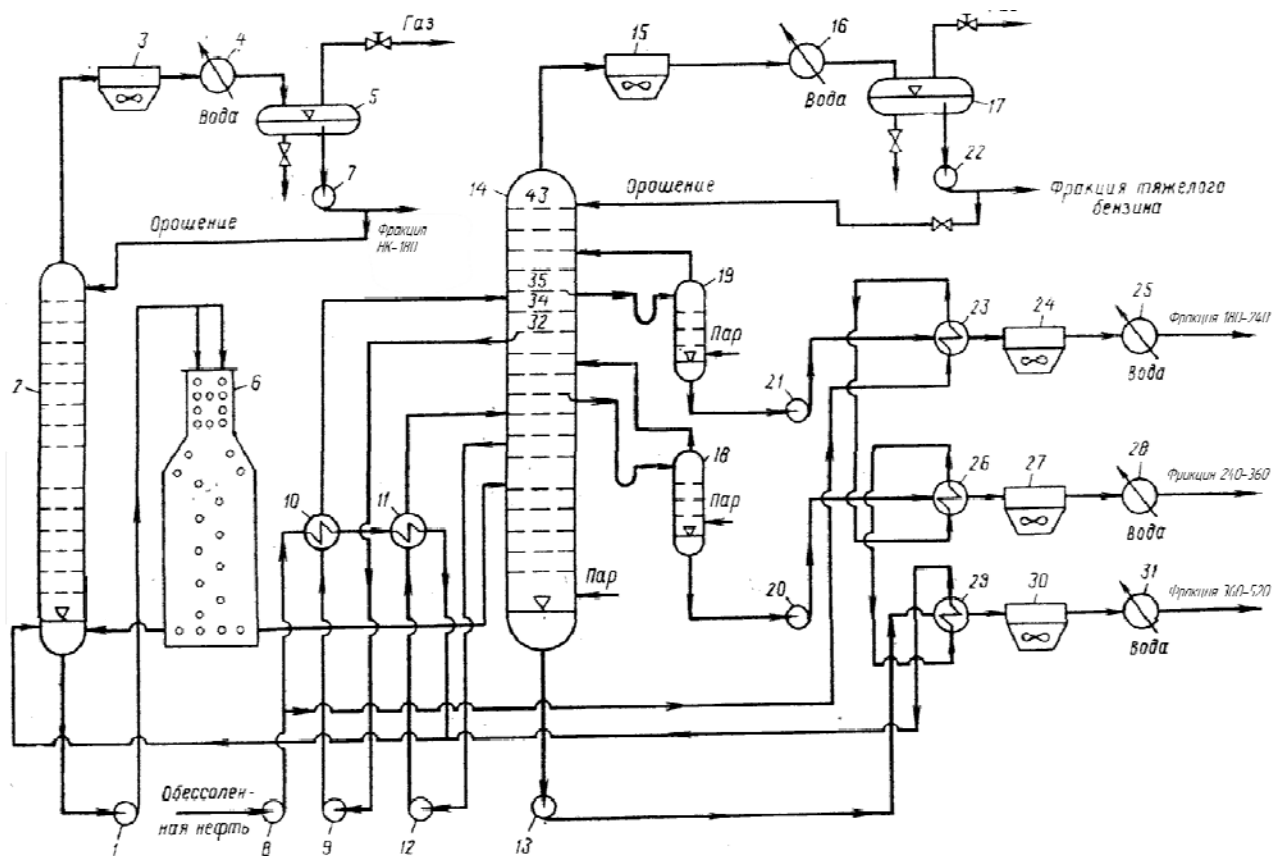


Рисунок 1.8 – Технологическая схема установки атмосферной перегонки нефти:

1, 7, 8, 9, 12, 13, 20, 21, 22 – насосы; 2, 14 – ректификационные колонны; 3, 15, 24, 27, 30 – аппараты воздушного охлаждения; 4, 16, 25, 28, 31 – холодильники; 10, 11, 23, 26, 29 – теплообменники; 5, 17 – газосепараторы-водоотделители; 6 — трубчатая печь; 18, 19 – отпарные колонны

Часть нижнего продукта стабилизационной колонны циркулирует между печью и первой колонной, этим достигается снабжение ее отгонной секции дополнительным количеством тепла.

Обессоленная нефть, нагнетаемая насосом 8 проходит двумя параллельными потоками группу теплообменников 10, 11, 23, 26, 29 и нагретая до температуры 200–220 °С поступает в кубовую часть колонны 2. Ректификационная колонна 2 работает при избыточном давлении, достигающем на некоторых установках 0,45 МПа.

Пары НК-180 по выходе из колонны 2 конденсируются в аппарате воздушного охлаждения 3. Далее конденсат и сопутствующие газы, охлажденные

в водяном холодильнике 4, разделяются в газосепараторе 5. Отсюда бензиновую фракцию насосом 7 направляется в секцию вторичной перегонки. Часть легкого бензина возвращается как орошение в колонну 2. Из колонны 2 снизу частично отбензиненная нефть забирается насосом 1 и подается в змеевик рубчатой печи 6. Нагретая в змеевиках печи нефть поступает в парожидком состоянии в основную ректификационную колонну 14. Часть же нефти после печи возвращается как рециркулят, или горячая струя на одну из нижних тарелок колонны 2.

Верхним продуктом колонны 14 является фракция 180-240, более тяжелая по сравнению с отводимой с верха испарительной колонны 2. По выходе из колонны 14 пары, а также сопровождающие их водяные пары конденсируются в аппарате воздушного охлаждения 15. Охлажденная в водяном холодильнике 16 смесь разделяется в газосепараторе 17 на газ, водный и бензиновый конденсаты. Жидкая фракция из газосепаратора 17 (или дополнительного водоотделителя, не показанного на схеме) забирается насосом 22 и подается в секцию дальнейшей перегонки. Часть бензина этим же насосом возвращается в колонну 14, на ее верхнюю тарелку, как орошение.

Фракции 180-240 и 240-360 °С выводятся из отпарных колонн 18 и 19, прокачиваются с помощью насосов 20 и 21 и охлаждаются в последовательно соединенных аппаратах. Первая – керосиновая фракция – в теплообменнике 23, аппарате воздушного охлаждения 24 и водяном кожухотрубном холодильнике 25; вторая – фракция дизельного топлива – в теплообменнике 26, холодильнике 27 и водяном холодильнике 28. Под нижние тарелки отпарных колонн вводится перегретый водяной пар. Тяжелый неиспаренный остаток нефти в смеси с жидкостью, стекающей с последней тарелки концентрационной секции колонны 14, проходя нижние шесть тарелок в колонне, продувается перегретым водяным паром. Мазут, освобожденный в значительной мере от низкокипящих фракций, с низа колонны 14 направляется насосом 13 через теплообменник 29 и холодильники 30 и 31 в резервуар. В колонне 14 имеются два циркуляционных орошения, тепло которых отдается нефти в теплообменниках 10 и 11.

1.5 Постановка проектной задачи

На протяжении 2014 года в процессе эксплуатации установки первичной переработки нефти (далее по тексту «Установка АТ») в г. Гурьевск (Кемеровская область) неоднократно отмечались отклонения технологического режима от предусмотренных Технологическим регламентам показателей.

В ходе проведенного анализа причин отклонений в работе Установки АТ (мощностью 50 000 тн сырой нефти в год) установлено, что «отбензинивающая» колонна поз. К-101 не обеспечивала стабильную работу в заданном диапазоне производительности 6 950 кг/час. Имело место обратное движение жидкости, выносимой из аппарата газовым потоком, что приводило к утрате качественных характеристик отбираемой с верха колонны поз. К-101 легкой углеводородной фракции. Наибольшую проблему в связи с неустойчивым гидродинамическим режимом, обуславливающим возникновение режима захлебывания, вызывала кавитация насосного агрегата поз. Н-102, откачивающего из куба колонные поз. К-101 отбензиненную нефть в печь нагрева сырья поз. П-101. Кроме того, принятое в тот момент проектное решение не позволяло поддерживать показатели процесса ректификации (отбензинивания сырой нефти) в допустимых пределах.

При анализе технологии существующей первичной переработки нефти мощностью 6,5 т/ч выявлено, что производительность установки можно увеличить за счет замены сложной колонны с тарельчатой и насадочными частями на более простую, содержащую только тарельчатые части.

В проекте предусмотрена замена существующего колонного оборудования, установка новых контактных устройств. Применение проектируемого колонного аппарата позволило повысить производительность установки, обеспечить четкость ректификации и выработку продукции требуемого качества.

Тарельчатые колонны допускают большой диапазон регулирования производительности установки без значительного снижения эффективности разделения. В современных экономических условиях возможность получать качественный продукт при различных количествах является важным конкурентным преимуществом. Расчет экономической эффективности от замены

существующей сложной колонны с насадочной концентрационной частью на полностью тарельчатую колонну подтверждает это предположение [37].

Массообменные колонны стабилизации нефти могут использоваться как как самостоятельные установки, так и входить в качестве составной части более сложных установок разделения нефти.

На первом этапе исследования было проанализировано соответствие предусмотренных проектом решений фактическому состоянию процесса.

Проектом предусмотрено, что в колонне поз. К101 нефть разделяется на две фракции. С верха колонны отгоняется легкая углеводородная фракция (ЛУФ), снизу забирается утяжеленная нефть (отбензиненная нефть). Температура верха колонны поз. К101 поддерживается в пределах 60-90 °С, подачей флегмы (острого орошения) в верхнюю часть колонны. Температура низа колонны 140-200 °С. Колонна поз. К101 представляет собой насадочную колонну из 8-ми царг, диаметром 600 мм. В качестве насадки применяются кольца Рашига. Уровень жидкости в кубе контролируется датчиком уровня (LIRCSA 9). Дополнительным датчиком уровня (LSAH 8) контролируется переполнение, максимальный уровень колонны поз. К101.

Колонна поз. К101 сообщена с атмосферой через воздушный конденсатор поз. ВК-102 и закрытую систему улавливания паров горючих газов. Воздушный конденсатор поз. ВК-102 марки АВГ-М-20-1,6-Б1-4В/8-1-4-УХЛ1 имеет площадь теплообмена 1 070 м², два электродвигателя вентиляторов 4 кВт каждый.

В колонну поз. К101 дополнительно вводится тепло циркуляционным орошением нефти (кубовой жидкости колонны поз. К101). Кубовая жидкость колонны поз. К101 из куба колонны с температурой (+140-+180 °С) (TIR 10) поступает на линию всасывания насосов Н102/1,2,3. Насосом поз. Н102/3 кубовая жидкость (циркуляционное орошение нефти) через рекуперативный теплообменник поз. Т103, в котором происходит нагрев её теплом промежуточного циркуляционного орошения лигроино-газойлевой фракции до температуры (+150-+200°С) (TIR 15), возвращается в колонну поз. К101 на

вышележащие царги. Расход циркуляционного орошения нефти контролируется и регулируется в зависимости от задания в пределах (0,8-3,3 м³/час) (FIRCA 27).

Насосом поз. Н102/1 кубовая жидкость с температурой (+160-+200°C) (TIR 77) подается в нагреватель углеводородов (печь) поз. П-101.

Рассмотрев и сравнив исполнительную документацию установки АТ отклонений от предусмотренных проектом решений не выявлено.

Дальнейшие изыскания информации и поиск причинной-следственных зависимостей были сосредоточены на анализе уточнения и проверки проектных расчетов колонного аппарата. Извлечение пропан-бутановых фракций и частичное отбензинивание нефти в схеме двукратного ее испарения производится в первой колонне (K101) с последующей отдельной переработкой бензинов первой и второй колонн (K101 и K102). Однако, колонна K101 обеспечивает не более 50-60% отбора целевых фракций со значительным наложением температур конца и начала кипения между бензинами K101 и K102, достигающим до 90-120 °C; в некоторых случаях начало и конец кипения их почти не различаются. В связи с этим в бензине из колонны K102 содержится много пропан-бутановых фракций.

Ознакомление с опытом проектирования и работы большинства колонн К-1 на отечественных заводах позволило выявить целый ряд схожих причин плохой работы данного аппарата. Как правило, неудачный выбор диаметра колонны, типа и конструкции контактного устройства по многим случаям является ошибкой при проектировании аппарата. Проектом предусмотрено использования в качестве К-1 малоэффективных насадочных контактных устройств. В большинстве технологических установок предусматривается что давление процесса в К-1 поддерживается равным 0,4-0,5 МПа, реже 0,15 – 0,20 МПа. Повышенное давление поддерживают для того, чтобы обеспечивать полную конденсацию верхнего продукта при наличии в нефти растворенных углеводородных газов. Однако повышение давления отрицательно сказывается на технико-экономических показателях процесса и качества продуктов, так как заметно уменьшается доля отгона паров сырья, расход «горячей» струи и относительные летучести компонентов смеси. Реализованное в данном случае проектное решение

в виде насадочной колонны и связи с атмосферой через конденсаторов и сепаратор не позволяло поддерживать заданное давление верха колонны поз. К101. Недостатки, допущенные при проектировании колонны поз. К101 не позволяли должным образом обобщить данные по оптимальному флегмовому числу, расходу «горячей» струи, типу и количеству контактных устройств. Для обеспечения высокого отбора (порядка 96 %) широкой бензиновой фракции Н.К. – 160 °С со сравнительно небольшим налеганием температур кипения $\Delta t_{\text{Н.К.-К.К.}}^{\text{ГОСТ}} = 25 - 30$ °С рекомендуется, прежде всего, тарельчатые контактные устройства, и при их числе в колонне не менее 8 иметь флегмовое число больше 5 и расход «горячей» струи больше 80 % от тепла, подводимого с сырьем.

Таким образом, неудовлетворительная работа колонны К101 объясняется многими причинами и в первую очередь – неудачным выбором технологической схемы, диаметра колонны, типа и конструкции внутреннего устройства. Не менее важной причиной является выбор неоптимальных параметров процесса разделения (отбора целевой фракции, давления, флегмового числа, расхода горячей струи). В качестве основного фактора была отмечена недооценка важности выполнения полного комплекса технологических, гидравлических и оптимизационных расчетов процессов и аппаратов.

С учетом накопленного опыта эксплуатации колонны поз. К101 был проведен повторный технологический расчет процесса извлечения широкой бензиновой фракции на первой стадии перегонки нефти. В качестве контактных устройств в укрепляющей части колонны предусмотрена установка колпачковых тарелок в количестве 7 шт., а исчерпывающая часть колонны представлена 4-мя насадочными секциями, заполненными кольцами Рашига. Расчет подтвержден диаметр Ду600 и высота аппарата 9,0 метров. Для повышения эффективности процесса разделения также был применен второй ввод питания колонны поз. К101. Так, ввод сырья 10-15 % нефти нагревается до 120 – 140 °С и подается под 1-ую насадочную секцию, основной поток нефти (90 – 85 %) нагревается до 200 °С и подается в среднее сечение колонны.

Ввод в эксплуатацию тарельчатой колонны поз. К101 с двумя потоками питания позволил:

1. увеличить производительность колонны на 1 125 кг/час;
2. стабилизировать работу насосного агрегата Н102/1;
3. обеспечить высокий отбор широкой фракции Н.К. – 160 °С и соответственно уменьшить в два раза содержание пропан-бутановой фракции в отбензиненной нефти;

2 ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ

2.1 Исходные данные к расчету

Сырая нефть представляет собой сложную смесь, поэтому для расчета ректификации в общем случае следует представлять сырьё как многокомпонентную смесь, состоящую из отдельных фракций, выкипающих каждая в своём интервале температур. Для упрощения расчетов и оценки размеров колонны примем следующие допущения [1]:

- сырьё представляем как бинарную смесь из двух фракций, выкипающую в интервале температур НКК «28-120» и ВКК «120-412», средняя температура кипения НКК и ВКК соответственно 80 °С и 250 °С;
- небольшая доля газов в ректификации не участвует и отбирается сверху колонны вместе с парами дистиллята.

Согласно Задания на выполнение выпускной квалификационной работы, исходным данным [58] и принятым допущениям, исходными данными для расчета ректификационной колонны являются:

- массовая производительность колонны по сырью $G_{Mf} = 10000$ кг/ч;
- массовая доля НКК (бензин)
 - в сырье $X_{Mf} = 8,9\%$
 - в дистилляте $Y_{Mp} = 99,0\%$
 - в остатке $X_{Mw} = 0,1\%$
- условная температура начала кипения нефти $t_n = 80$ °С;
- условная температура конца кипения НКК $t_c = 120$ °С;
- условная температура конца кипения нефти $t_k = 250$ °С;
- относительная плотность НКК и ВКК $\rho_{4_20} = 0,680$ и $0,750$;
- давление вверху колонны $P_p = 0,035$ МПа.

Расчет ректификационной колонны требует большого количества расчетов, особенно в вопросе определения составов продуктов и расчета числа тарелок [1]. Выполним расчет с использованием ЭВМ. Ниже приведен алгоритм расчетов и основные результаты.

2.2 Расчет материального баланса колонны

Схема к технологическому расчету приведена на рисунке 2.1.

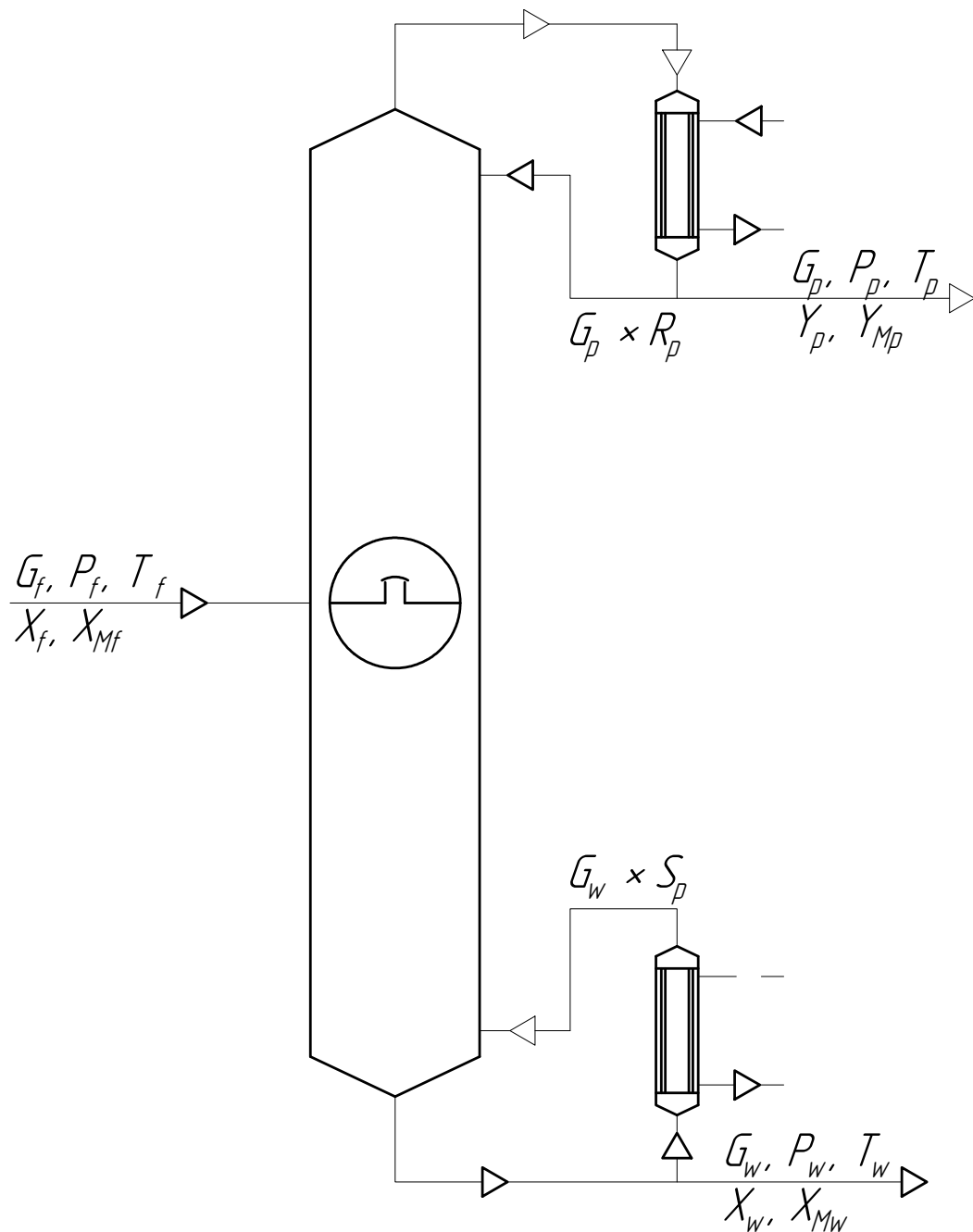


Рисунок 2.1 – Схема к расчету материального баланса:

G_f , G_p , G_w – мольный расход питания, дистиллята и остатка; P_f , P_p , P_w – давление в секции питания, наверху и в кубе колонны; T_f , T_p , T_w – температура в секции питания, наверху и в кубе колонны; X_f , Y_p , X_w – мольная доля НКК в питании, парах дистиллята и в остатке; X_{Mf} , Y_{Mp} , X_{Mw} – массовая доля НКК в питании, парах дистиллята и в остатке; R_p – флегмовое число; S_p – паровое число.

Мольная масса компонентов определяется по формуле [28]

$$M_1 = \frac{41,12 \rho_{4\ 20}}{1 - \rho_{4\ 20}} = \frac{41,12 \cdot 0,680}{1 - 0,680} = 87,38 \text{ кг/кмоль}; \quad (2.1)$$

$$M_2 = \frac{41,12 \rho_{4\ 20}}{1 - \rho_{4\ 20}} = \frac{41,12 \cdot 0,750}{1 - 0,750} = 123,60 \text{ кг/кмоль}. \quad (2.2)$$

Для расчета материального баланса выполним перерасчет массового расхода в мольный. Воспользуемся формулой

$$X_f = \frac{X_{Mf}}{M_1 \left(\frac{X_{Mf}}{M_1} + \frac{1 - X_{Mf}}{M_2} \right)} = \frac{0,0890}{87,38 \cdot \left(\frac{0,0890}{87,38} + \frac{1 - 0,0890}{123,60} \right)} = 0,1212; \quad (2.3)$$

$$Y_p = \frac{Y_{Mp}}{M_1 \left(\frac{Y_{Mp}}{M_1} + \frac{1 - Y_{Mp}}{M_2} \right)} = \frac{0,9900}{87,38 \cdot \left(\frac{0,9900}{87,38} + \frac{1 - 0,9900}{123,60} \right)} = 0,9929; \quad (2.4)$$

$$X_w = \frac{X_{Mw}}{M_1 \left(\frac{X_{Mw}}{M_1} + \frac{1 - X_{Mw}}{M_2} \right)} = \frac{0,0010}{87,38 \cdot \left(\frac{0,0010}{87,38} + \frac{1 - 0,0010}{123,60} \right)} = 0,0014. \quad (2.5)$$

Мольный расход каждого компонента исходной смеси

$$G_{f1} := \frac{G_{Mf} \cdot X_{Mf}}{M_1} = \frac{10000 \cdot 0,0890}{87,38} = 10,19 \text{ кмоль/ч}; \quad (2.6)$$

$$G_{f2} := \frac{G_{Mf} \cdot (1 - X_{Mf})}{M_2} = \frac{10000 \cdot (1 - 0,0890)}{123,60} = 73,85 \text{ кмоль/ч}. \quad (2.7)$$

Мольный расход сырья

$$G_f = G_{f1} + G_{f2} = 10,19 + 73,85 = 84,03 \text{ кмоль/ч}. \quad (2.8)$$

Количество дистиллята

$$G_p = \frac{X_f - X_w}{Y_p - X_w} G_f = \frac{0,1212 - 0,0014}{0,9929 - 0,0014} \cdot 84,03 = 10,15 \text{ кмоль/ч}. \quad (2.9)$$

Расход каждого компонента в дистилляте

$$G_{p1} = G_p Y_p = 10,15 \cdot 0,9929 = 10,08 \text{ кмоль/ч}; \quad (2.10)$$

$$G_{p2} = G_p (1 - Y_p) = 10,15 \cdot (1 - 0,9929) = 0,07 \text{ кмоль/ч}. \quad (2.11)$$

Количество остатка

$$G_w = G_f - G_p = 84,03 - 10,15 = 73,88 \text{ кмоль/ч}. \quad (2.12)$$

Расход каждого компонента

$$G_{w1} = G_w X_w = 73,88 \cdot 0,0014 = 0,10 \text{ кмоль/ч}; \quad (2.13)$$

$$G_{w2} = G_w (1 - X_w) = 73,88 \cdot (1 - 0,0014) = 73,78 \text{ кмоль/ч}. \quad (2.14)$$

Результаты расчета материального баланса в мольных единицах сведем в таблицу 2.1.

Таблица 2.1 – Материальный баланс ректификационной колонны

Компонент	Расход потоков, кмоль/ч			Мольный состав потоков		
	сырье	дистиллят	остаток	сырье	дистиллят	остаток
НК-120	10,19	10,08	0,10	0,1212	0,9929	0,0014
120-ВК	73,85	0,07	73,78	0,8788	0,0071	0,9986
Всего	84,03	10,15	73,88	1,0000	1,0000	1,0000

Массовые расходы дистиллята и остатка соответственно

$$G_{Mp} := G_{p1} \cdot M_1 + G_{p2} \cdot M_2 = \quad (2.15)$$

$$= 10,08 \cdot 87,38 + 0,07 \cdot 123,36 = 880,9 + 8,9 = 890 \text{ кг/ч};$$

$$G_{Mw} := G_{w1} \cdot M_1 + G_{w2} \cdot M_2 = \quad (2.16)$$

$$= 0,10 \cdot 87,38 + 73,78 \cdot 123,36 = 9,1 + 9101,1 = 9110 \text{ кг/ч}.$$

Суточные и годовые расходы получаем умножением полученных часовых расходов на соответствующий коэффициент. Расчет материального баланса в массовых единицах сведем в таблицу 2.2.

Таблица 2.2 – Материальный баланс в массовых единицах

Компонент	Расход потоков, т/ч			Расход потоков, т/сут			Расход потоков, т/год · 10 ⁻³		
	сырье	дистиллят	остаток	сырье	дистиллят	остаток	сырье	дистиллят	остаток
НК-120	0,890	0,881	0,009	21,36	21,14	0,22	7,120	7,047	0,073
120-ВК	9,110	0,009	9,101	218,64	0,21	218,43	72,880	0,071	72,809
Всего	10,000	0,890	9,110	240,00	21,35	218,65	80,000	7,118	72,882

2.3 Расчет температур по колонне

Температура верха колонны определяется методом последовательных приближений по условию изотермы состояния паровой фазы

$$\frac{Y_p}{k_1} + \frac{1 - Y_p}{k_2} = 1, \quad (2.17)$$

где k_1 и k_2 – константы фазового равновесия компонентов:

$$k_1 = \frac{P_{v1}}{P}; k_2 = \frac{P_{v2}}{P}, \quad (2.18)$$

P_{v1} и P_{v2} – давление насыщенных паров компонентов.

Для определения давления насыщенных паров отдельных фракций воспользуемся формулой

$$\log(P) = 2,68 \left(1 - \frac{f(T)}{f(T_k)} \right) - 1, \quad (2.19)$$

где T и T_k соответственно температура смеси и температура кипения компонента, выраженная в Кельвинах;

f – функция от температуры

$$f_p(T) := \frac{1250}{\sqrt{T^2 + 108000} - 307.6} - 1. \quad (2.20)$$

Изотерма состояния паровой и жидкой фазы для верха колонны

$$\Sigma_p(t) := P_p \cdot \left(\frac{Y_p}{P_{v1}(t)} + \frac{1 - Y_p}{P_{v2}(t)} \right); \quad (2.21)$$

$$\Sigma_r(t) := \frac{P_{v1}(t) \cdot X_p + P_{v2}(t) \cdot (1 - X_p)}{P_p}. \quad (2.22)$$

Графическое изображение изотерм состояния паровой и жидкой фаз для верха колонны при изменении температуры показано на рисунке 3.1. Температура верха колонны и максимальной температуры флегмы есть абсцисса точки пересечения графика с горизонталью $y = 1$

$$t_p = 114,2 \text{ } ^\circ\text{C}; t_r = 111,4 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

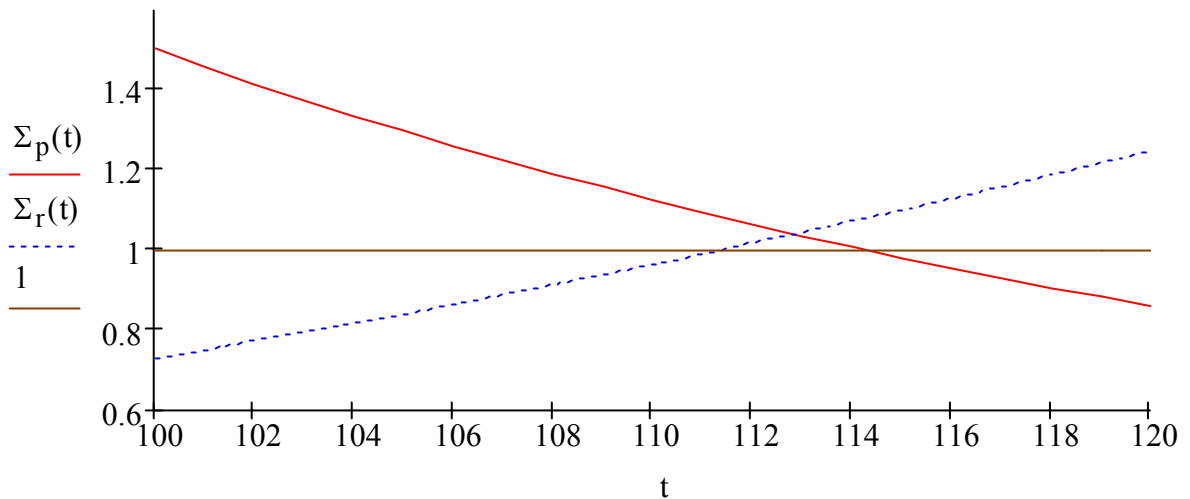


Рисунок 2.2 – Изотерма состояния фаз для верха колонны

Расчет температуры куба колонны. Принимаем ориентировочно величину гидравлических сопротивлений колонны

$$\Delta P_2 = 0,0050 \text{ МПа.}$$

Определяем давление внизу колонны

$$P_w = P_p + \Delta P_2 = 0,0350 + 0,0050 = 0,0400 \text{ МПа.} \quad (2.23)$$

Температура куба колонны определяется методом последовательных приближений по условию изотермы состояния жидкой фазы

$$k_1 X_w + k_2 (1 - X_w) = 1. \quad (2.24)$$

Уравнение для определения температуры низа колонны

$$\Sigma_w(t) := \frac{P_{v1}(t) \cdot X_w + P_{v2}(t) \cdot (1 - X_w)}{P_w}; \quad (2.25)$$

$$\Sigma_s(t) := P_w \cdot \left(\frac{Y_w}{P_{v1}(t)} + \frac{1 - Y_w}{P_{v2}(t)} \right). \quad (2.26)$$

Графическое изображение зависимости изотермы состояния жидкой фазы для низа колонны показано на рисунке 3.2.

Температура низа колонны есть абсцисса точки пересечения графика с горизонталью $y = 1$. Температура горячего орошения – аналогично, для изотермы паровой фазы

$$t_w = 199,3 \text{ }^\circ\text{C}; t_s = 199,5 \text{ }^\circ\text{C}.$$

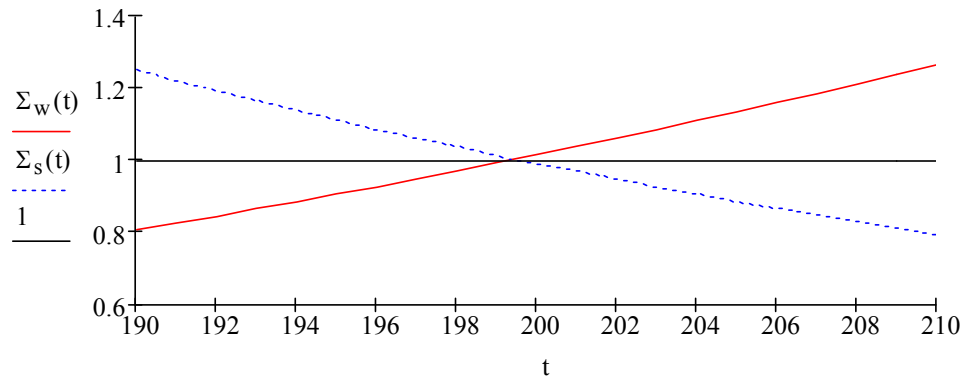


Рисунок 2.3 – Изотерма состояния фаз для низа колонны

Расчет температуры в секции питания. Принимаем долю отгона $e = 0,05$. Давление в секции питания принимаем равным среднему арифметическому давлений вверху и внизу колонны

$$P_f := \frac{P_w + P_p}{2} = (0,0400 + 0,0350) / 2 = 0,0375 \text{ МПа.} \quad (2.27)$$

Для определения температуры воспользуемся уравнением состояния изотермы парожидкой смеси

$$\Sigma_f(t) := \frac{X_f}{1 + e \cdot \left(\frac{P_{v1}(t)}{P_f} - 1 \right)} + \frac{1 - X_f}{1 + e \cdot \left(\frac{P_{v2}(t)}{P_f} - 1 \right)} \quad (2.28)$$

Графическое изображение изотермы состояния парожидкой смеси для питательной секции показано на рисунке 2.4.

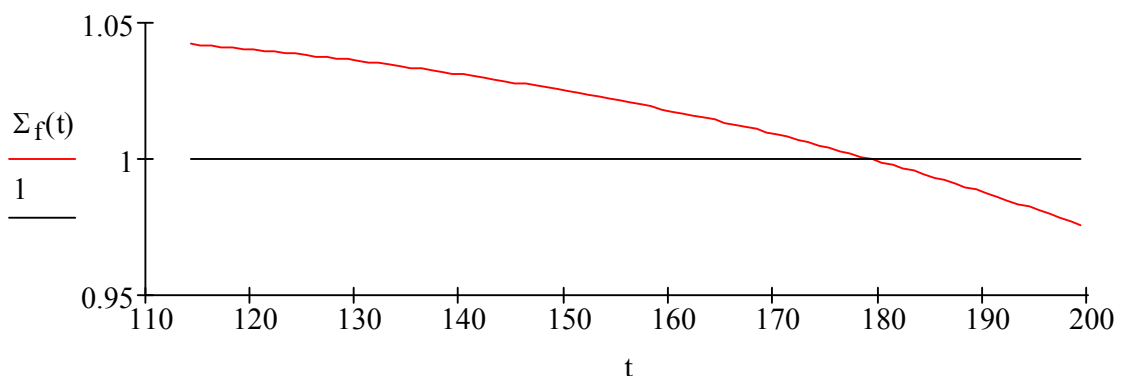


Рисунок 2.4 – Изотерма состояния парожидкой смеси для питательной секции

Температура в питательной секции есть абсцисса точки пересечения графика с горизонталью $y = 1$

$$t_f = 178,8 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

2.4 Расчет флегмового числа

Построим кривую равновесного состояния бинарной смеси при давлении в секции питания. Минимальная и максимальная температура определяется по изотерме парового и жидкого состояния смеси

$$t_{\min} := \text{root}(P_{v1}(t) - P, t); t_{\min} = 111,9 \text{ }^{\circ}\text{C}; \quad (2.29)$$

$$t_{\max} := \text{root}(P_{v2}(t) - P, t); t_{\max} = 198,8 \text{ }^{\circ}\text{C}. \quad (2.30)$$

Разобьем интервал изменения температуры на несколько участков и определим равновесный состав смеси при каждой температуре. Давления насыщенных паров при различных температурах, определенные по формуле (3.1)

$$t^T = (111.9 \ 121.5 \ 131.2 \ 140.9 \ 150.5 \ 160.2 \ 169.8 \ 179.5 \ 189.2 \ 198.8) \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$P_{v1}(t) =$		0	$\text{МПа}; P_{v2}(t) =$		0	МПа
	0	0.139		0	0.011	
	1	0.178		1	0.015	
	2	0.225		2	0.021	
	3	0.281		3	0.029	
	4	0.345		4	0.039	
	5	0.420		5	0.052	
	6	0.506		6	0.068	
	7	0.602		7	0.087	
	8	0.711		8	0.111	
	9	0.832		9	0.139	

Графическое изображение равновесной кривой бинарной смеси при режимных параметрах секции питания приведено на рисунке 3.4.

Для дальнейших расчетов определим интерполяционную функцию расчета равновесной концентрации компонента в паре по известной концентрации в жидкости (подробности см. в приложении А)

$$\text{fit}(x) := \text{interp}(vs, vx, vy, x). \quad (2.31)$$

Для расчета флегмового числа определим $B_{\max}$

$$B_{\max} := Y_p - \frac{Y_p - \text{fit}(X_f)}{X_p - X_f} \cdot X_p = 0,9929 - \frac{0,9929 - 0,6926}{0,9929 - 0,1212} \cdot 0,9929 = 0,6508. \quad (2.32)$$

Минимальное флегмовое число

$$R_{\min} := \frac{X_p - B_{\max}}{B_{\max}} = \frac{0,9929 - 0,6508}{0,6508} = 0,526. \quad (2.33)$$

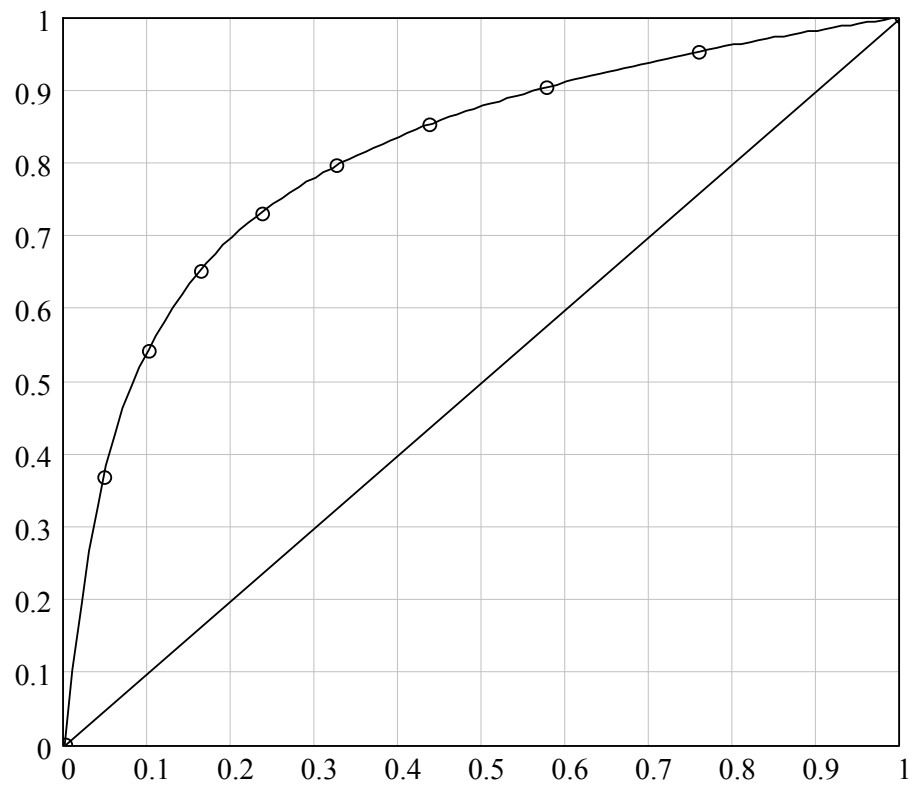


Рисунок 2.5 – Равновесная кривая бинарной смеси

Рабочая линия в режиме полного орошения приведена на рисунке 3.5.

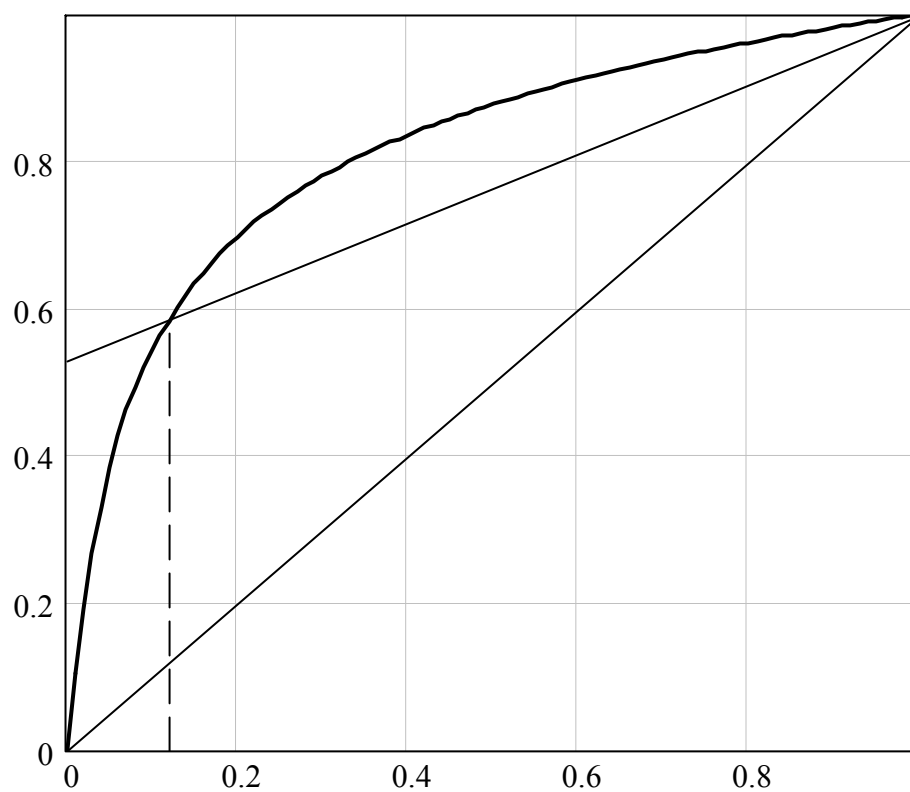


Рисунок 2.6 – Рабочая линия в режиме полного орошения

Для определения оптимального флегмового числа построим несколько рабочих линий, соответствующих различным флегмовым числам (см. рисунок 3.6)

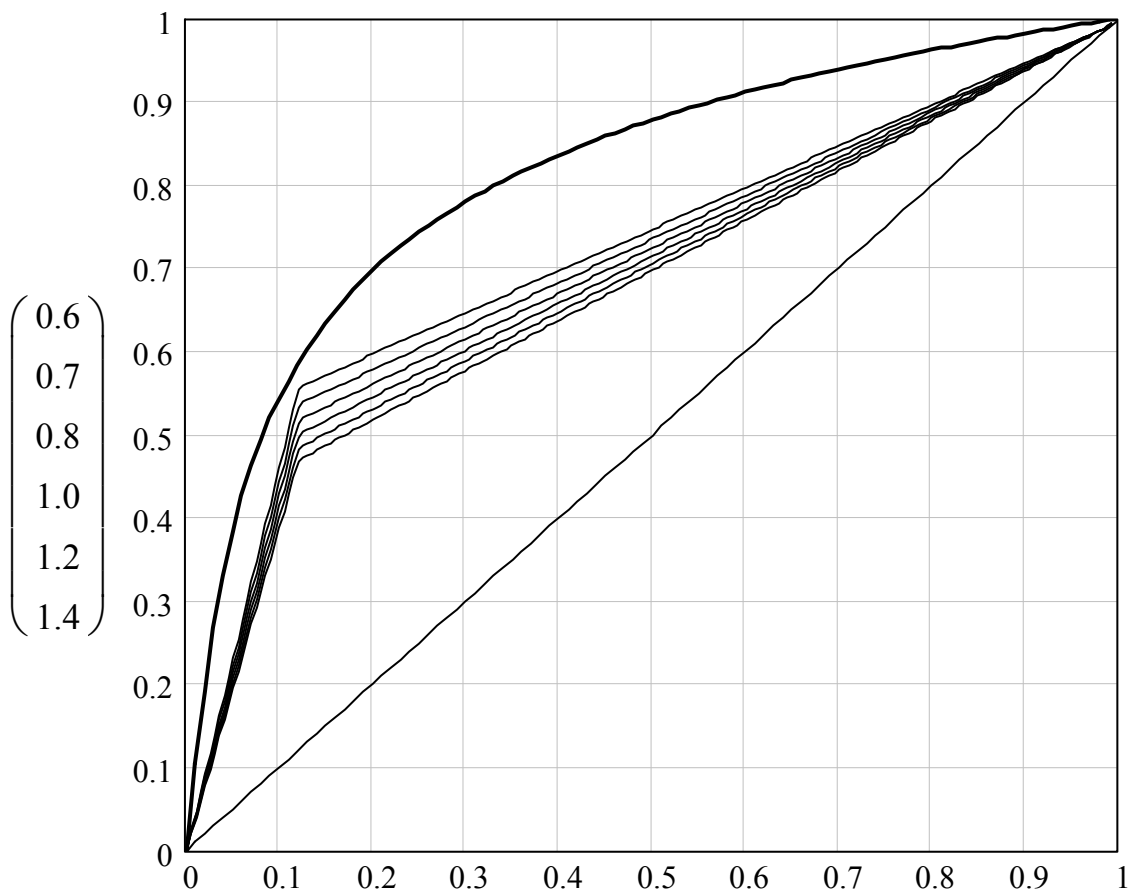


Рисунок 2.7 – Несколько рабочих линий для различных флегмовых чисел

Для определения числа единиц переноса необходимо построить график функции, приведенный на рисунке 3.7.

По графику видно, что чем больше выбранное значение флегмового числа, тем меньшая площадь под графиком, следовательно, требуется меньшее число единиц переноса. Одновременно возрастают затраты на ведение процесса: конденсация и перекачивание флегмы, испарение остатка для получения горячего орошения, диаметр колонны и нагрузка на контактные устройства.

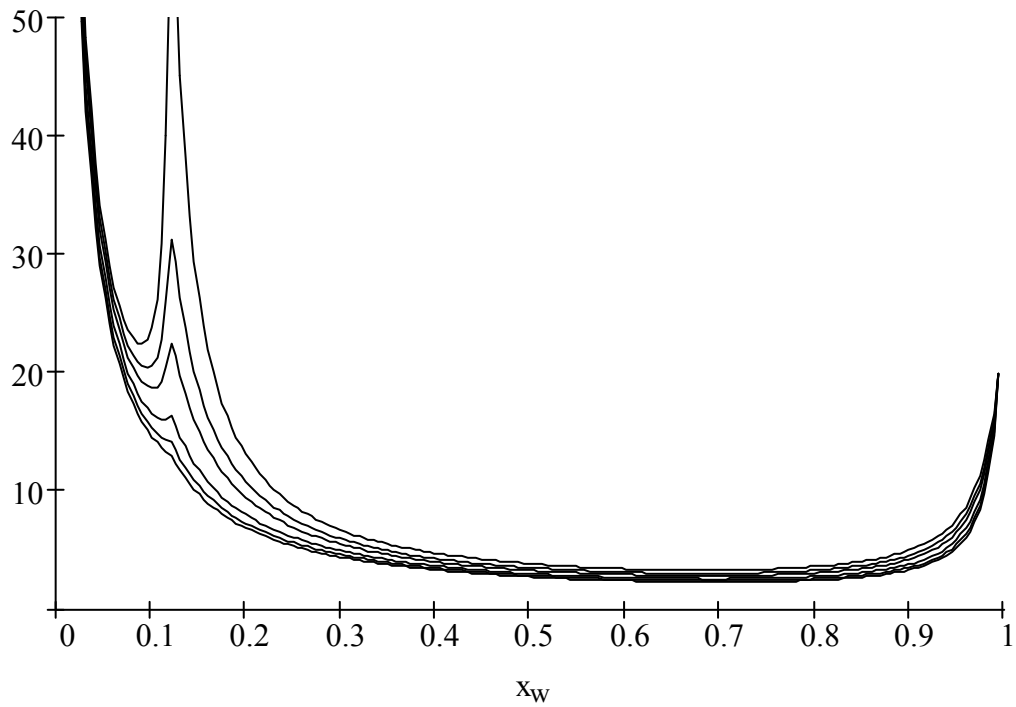


Рисунок 2.8 – К определению ЧЕП колонны при различных флегмовых числах

Для определения оптимального размера колонны необходимо дополнительно построить график, приведенный на рисунке 3.8. Минимум этого графика будет соответствовать оптимальному флегмовому числу.

$$m_x(R) := \int_{X_w}^{X_p} F(R, x) dx \quad (2.34)$$

$$F(R) := m_x(R) \cdot (R + 1) \quad (2.35)$$

Графическое изображение полученных данных функции $F(R)$

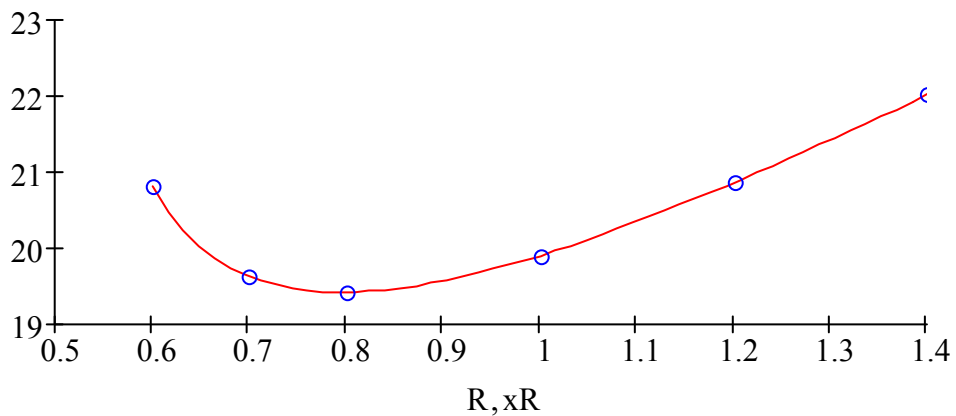


Рисунок 2.9 – К определению оптимального флемового числа

Оптимальное флегмовое число по минимуму функции

$$R = 0,795.$$

Расчетный коэффициент избытка флегмы

$$R / R_{\min} = 0,795 / 0,526 = 1,513. \quad (2.36)$$

Принимаем рабочее флегмовое число

$$R = 0,8.$$

Тогда число единиц переноса для колонны в нижней и верхней части соответственно

$$m_w := \int_{X_w}^{X_f} F(R, x) dx = 6,210; \quad m_p := \int_{X_f}^{X_p} F(R, x) dx = 4,574. \quad (2.37)$$

Проверка расчётов

$$\int_{X_w}^{X_p} F(R, x) dx = 10,783 \quad ; \quad m_w + m_p = 6,210 + 4,574 = 10,783.$$

Расчеты выполнены верно.

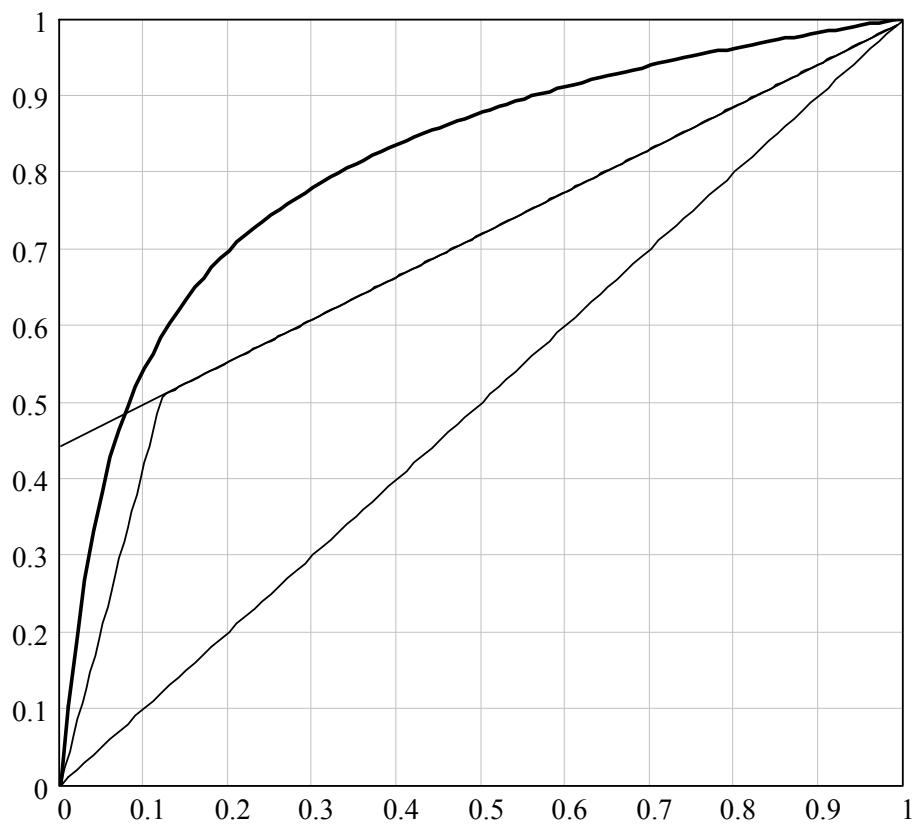


Рисунок 2.10 – Рабочая линия ректификационной колонны

2.5 Определение потоков по колонне

Схема к расчёту потоков по колонне показана на рисунке 3.10

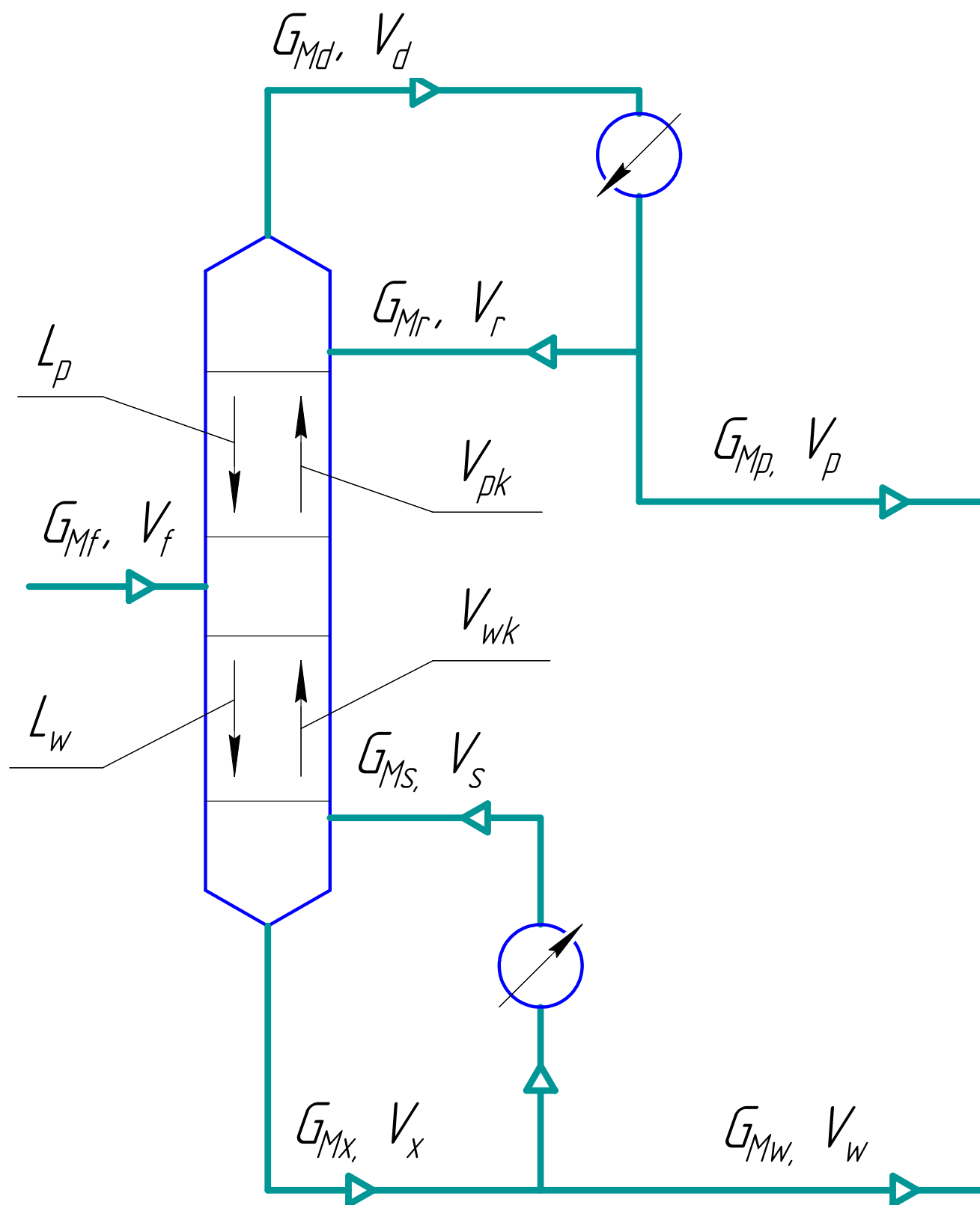


Рисунок 2.11 – Схема к расчету потоков колонны

Расход флегмы

$$G_r := G_p \cdot R = 10,15 \cdot 0,80 = 8,123 \text{ кмоль/ч};$$

$$G_{Mr} := G_{Mp} \cdot R = 890 \cdot 0,80 = 712 \text{ кг/ч}.$$

Расход пара на верху колонны

$$G_{Md} := G_{Mp} + G_{Mr} = 890 + 712 = 1602 \text{ кг/ч}.$$

Расход горячего орошения

$$G_{Ms} := G_{Md} - G_{Mc} = 1602 - 500 = 1102 \text{ кг/ч}.$$

Расход жидкости внизу колонны

$$G_{Mx} := G_{Mw} + G_{Ms} = 9110 + 1102 = 10212 \text{ кг/ч}.$$

Проверка баланса по жидкости в колонне

$$G_{Mr} + G_{Mk} - G_{Mx} = 0,000 \frac{\text{кг}}{\text{ч}} = 712 + 9500 - 10212 = 0 \text{ кг/ч}.$$

Плотность отдельных компонентов из относительной плотности

$$\rho_1 = 1000\rho_{4_20} = 1000 \cdot 0,680 = 680 \text{ кг/м}^3; \quad (2.38)$$

$$\rho_2 = 1000\rho_{4_20} = 1000 \cdot 0,750 = 750 \text{ кг/м}^3. \quad (2.39)$$

Плотность определяем флегмы по принципу аддитивности

$$\rho_{xp} := \frac{1}{\frac{Y_{Mp}}{\rho_1} + \frac{1 - Y_{Mp}}{\rho_2}} = \frac{1}{\frac{0,9900}{680} + \frac{1 - 0,9900}{750}} = 681 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}. \quad (2.40)$$

Плотность остатка

$$\rho_{xw} := \frac{1}{\frac{X_{Mw}}{\rho_1} + \frac{1 - X_{Mw}}{\rho_2}} = \frac{1}{\frac{0,0010}{680} + \frac{1 - 0,0010}{750}} = 750 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}. \quad (2.41)$$

Плотность питания

$$\begin{aligned} \rho_{xf} &:= \frac{1}{\frac{X_{Mf}}{\rho_1} + \frac{1 - X_{Mf}}{\rho_2}} = \\ &= \frac{1}{\frac{0,0890}{680} + \frac{1 - 0,0890}{750}} = 743 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}. \end{aligned} \quad (2.42)$$

Пересчитаем температуру по колонне в Кельвинах

$$T_p = t_p + 273,2 = 114,2 + 273,2 = 387,2 \text{ К}; \quad (2.43)$$

$$T_w = t_w + 273,2 = 199,3 + 273,2 = 472,3 \text{ К}; \quad (2.44)$$

$$T_f = t_f + 273,2 = 178,9 + 273,2 = 451,9 \text{ К}. \quad (2.45)$$

Мольная масса дистиллята

$$\begin{aligned} M_p &:= M_1 \cdot Y_{Mp} + M_2 \cdot (1 - Y_{Mp}) = \\ &= 87,4 \cdot 0,9900 + 123,4 \cdot (1 - 0,9900) = 87,7 \text{ кг/кмоль}. \end{aligned} \quad (2.46)$$

Мольная масса остатка

$$\begin{aligned} M_w &:= M_1 \cdot X_{Mw} + M_2 \cdot (1 - X_{Mw}) = \\ &= 87,4 \cdot 0,0010 + 123,4 \cdot (1 - 0,0010) = 123,3 \text{ кг/кмоль}. \end{aligned}$$

Мольная масса питания

$$\begin{aligned} M_f &:= M_1 \cdot X_{Mf} + M_2 \cdot (1 - X_{Mf}) = \\ &= 87,4 \cdot 0,0890 + 123,4 \cdot (1 - 0,0890) = 120,2 \text{ кг/кмоль}. \end{aligned}$$

Мольная газовая постоянная $R_f = 8314 \text{ Дж / (кмоль} \cdot \text{К)}$. Плотность паров дистиллята

$$\rho_{yp} := \frac{M_p \cdot P_p}{R_f \cdot T_p} = \frac{87,7 \cdot 0,0350}{8314 \cdot 387,2} = 1,072 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}. \quad (2.47)$$

Плотность паров остатка

$$\rho_{yw} := \frac{M_w \cdot P_w}{R_f \cdot T_w} = \frac{123,3 \cdot 0,0400}{8314 \cdot 472,3} = 1,400 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}. \quad (2.48)$$

Плотность паров питания

$$\rho_{yf} := \frac{M_f \cdot P_f}{R_f \cdot T_f} = \frac{120,2 \cdot 0,0375}{8314 \cdot 451,9} = 1,352 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}. \quad (2.49)$$

Объемный расход паров в верхней части колонны при рабочих условиях

$$V_{pk} := \frac{2 \cdot G_{Md}}{\rho_{yp} + \rho_{yf}} = \frac{2 \cdot 1602}{1,072 + 1,352} = 1321 \text{ м}^3/\text{ч} = 0,367 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Объемный расход паров в нижней части колонны при рабочих условиях

$$V_{wk} := \frac{2 G_{Ms}}{\rho_{yw} + \rho_{yf}} = \frac{2 \cdot 1102}{1,400 + 1,352} = 801 \text{ м}^3/\text{ч} = 0,222 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Объемный расход дистиллята

$$V_p := \frac{G_{Mp}}{\rho_{xp}} = 890 / 681 = 1,307 \text{ м}^3/\text{ч} = 3,631 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{с}.$$

Объемный расход кубового остатка

$$V_w := \frac{G_{Mw}}{\rho_{xw}} = 9110 / 750 = 12,148 \text{ м}^3/\text{ч} = 3,375 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}.$$

Объемный расход флегмы

$$V_r := \frac{G_{Mr}}{\rho_{xp}} = 712 / 681 = 1,046 \text{ м}^3/\text{ч} = 2,905 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{с}.$$

Объемный расход паров дистиллята на выходе из колонны

$$V_d := \frac{G_{Md}}{\rho_{yp}} = 1602 / 1,072 = 1494 \text{ м}^3/\text{ч} = 0,415 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Объемный расход горячего орошения

$$V_s := \frac{G_{Ms}}{\rho_{yw}} = 1102 / 1,400 = 787 \text{ м}^3/\text{ч} = 0,219 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Объемный расход жидкости в кубе колонны

$$V_x := \frac{G_{Mx}}{\rho_{xw}} = 10212 / 750 = 13,62 \text{ м}^3/\text{ч} = 3,783 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}.$$

Объемный расход пара в питательной секции после однократного испарения

$$V_c := \frac{G_{Mc}}{\rho_{yf}} = 500 / 1,352 = 369,8 \text{ м}^3/\text{ч} = 0,103 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Объемный расход жидкости в питательной секции

$$V_k := \frac{G_{Mk}}{\rho_{xf}} = 9500 / 743 = 12,78 \text{ м}^3/\text{ч} = 3,551 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}.$$

Проверка баланса по жидкости (объемный расход паров значительно меняется в зависимости от режимных параметров)

$$V_r + V_k - V_x = 1,05 + 12,78 - 13,62 = 0,21 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Баланс сходится с допустимой точностью.

2.6 Расчет теплового баланса колонны

Схема к расчету теплового баланса приведена на рисунке 3.11.

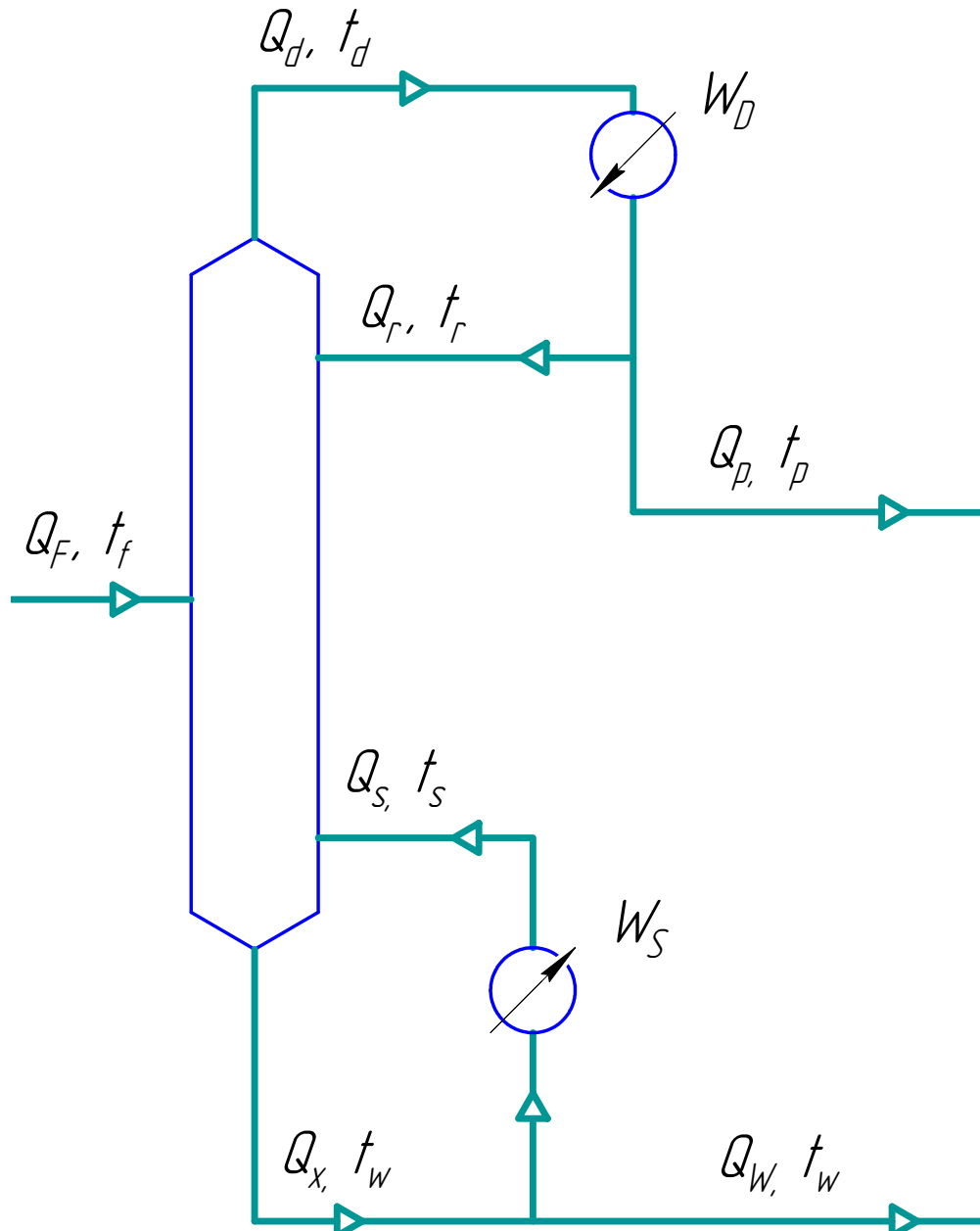


Рисунок 2.12 – Схема к тепловому расчету колонны

Средняя удельная теплоемкость нефти из справочных данных

$$c_{\phi} := 2.9 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}. \quad (2.50)$$

Теплота испарения нефти из справочных данных

$$r_{\phi} := 300 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}. \quad (2.51)$$

Теплота испарения смеси и теплоёмкость в питательной секции

$$l_f = r_\phi = 300 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}; c_f = c_\phi = 2,900 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}.$$

Количество теплоты, вносимое в колонну с питанием

$$Q_F := G_{Mf} \cdot [t_f c_f (1 - e) + (t_f c_f + l_f) \cdot e] = \\ = 2,778 \cdot (178,9 \cdot 2,900 \cdot (1 - 0,050) + (178,9 \cdot 2,900 + 300) \cdot 0,050) = 1072 \text{ кДж/с}.$$

Количество теплоты, вносимое в колонну с горячим орошением

$$l_s = r_\phi = 300 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}; c_s = c_\phi = 2,900 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}; \\ Q_S := G_{Ms} \cdot (c_s \cdot t_s + l_s) = 0,306 \cdot (2,900 \cdot 199,6 + 300) = 375 \text{ кДж/с}.$$

Количество теплоты, вносимое в колонну с флегмой

$$l_r = r_\phi = 300 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}; c_r = c_\phi = 2,900 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}; \\ Q_R := G_{Mr} \cdot t_r \cdot c_r = 0,198 \cdot 114,2 \cdot 2,900 = 39 \text{ кВт}.$$

Общий приход тепла в колонну

$$Q_{\text{прих}} := Q_F + Q_S + Q_R = 1072 + 375 + 39 = 1486 \text{ кВт}.$$

Принимаем потери 5% от прихода

$$Q_{\text{пот}} := 1\% \cdot Q_{\text{прих}} = 0,01 \cdot 1486 = 15 \text{ кВт}.$$

Расход тепла с парами дистиллята

$$l_p = r_\phi = 300 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}; c_p = c_\phi = 2,900 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}; \\ Q_D := G_{Md} \cdot (c_p \cdot t_p + l_p) = 0,445 \cdot (2,900 \cdot 71,5 + 300) = 226 \text{ кВт}.$$

Расход тепла с кубовым остатком

$$l_x = r_\phi = 300 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}; c_x = c_\phi = 2,900 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}; \\ Q_X := G_{Mx} \cdot c_x \cdot t_x = 2,837 \cdot 2,900 \cdot 150,9 = 1241 \text{ кВт}.$$

Общий расход тепла

$$Q_{\text{расх}} := Q_D + Q_X + Q_{\text{пот}} = 226 + 1241 + 15 = 1482 \text{ кВт}.$$

Для баланса снижаем температуру флегмы. Расчетная температура флегмы

$$Q_R := Q_{\text{расх}} - Q_F - Q_S = 1482 - 1072 - 375 = 35 \text{ кВт}.$$

Расчётная температура флегмы

$$t_{\phi} := \frac{Q_R}{G_{Mf} \cdot c_r} = \frac{35}{0,198 \cdot 2,900} = 97,5 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Общий приход тепла в колонну с учетом новой температуры флегмы

$$Q_{\text{прих}} := Q_F + Q_S + Q_R = 1072 + 375 + 35 = 1482 \text{ кВт}.$$

Расход тепла с дистиллятом

$$Q_R := G_{Mp} \cdot c_r \cdot t_{\phi} = 0,247 \cdot 2,900 \cdot 97,5 = 44 \text{ кВт}.$$

Расход тепла с остатком

$$Q_W := G_{Mw} \cdot c_w \cdot t_w = 2,531 \cdot 2,900 \cdot 199,3 = 1107 \text{ кВт}.$$

Тепловая нагрузка дефлегматора

$$W_D := G_{Md} \cdot [l_p + c_r \cdot (t_p - t_{\phi})] = 0,445 \cdot (300 + 2,900 \cdot (114,2 - 97,5)) = 146 \text{ кВт}.$$

Общий баланс установки

$$Q_{\text{вх}} := Q_F + W_S = 1072 + 241 = 1313 \text{ кВт}.$$

$$Q_{\text{вых}} := Q_R + Q_W + Q_{\text{пот}} + W_D = 44 + 1107 + 16 + 146 = 1313 \text{ кВт}.$$

Тепловой баланс установки сходится в пределах допустимой погрешности, сводные результаты приведены в таблице 3.1.

Таблица 2.3 – Тепловой баланс ректификационной установки

Приход, кВт		Расход, кВт	
Приход с питанием	1072	Расход с дистиллятом	44
Нагрузка кипятильника	241	Расход с остатком	1107
		Нагрузка дефлегматора	146
		Потери	16
Всего	1313	Всего	1313

3 КОНСТРУКТИВНЫЙ РАСЧЕТ

3.1 Определение диаметра колонны и характеристик тарелки

Расчет диаметра для верхней части колонны (колпачковые тарелки). Основываясь на литературных данных [22, с.630-633], выбираем расстояние между тарелками

$$h_p = 450 \text{ мм.}$$

На основании рисунка 7.2. [34, с. 323] выбираем для принятого расстояния между тарелками значение коэффициента C для ректификационной колонны, работающей при атмосферном давлении

$$C = 0,05.$$

Скорость движения пара в свободном сечении колонны [34, с. 322]

$$\omega_{\text{раб}} = C \sqrt{\frac{\rho_{\text{xp}} + \rho_{\text{xf}}}{\rho_{\text{yp}} + \rho_{\text{yf}}}} = 0,05 \cdot \sqrt{\frac{680,6 + 743,2}{1,072 + 1,352}} = 1,212 \text{ м/с.}$$

Расчетный диаметр верхней секции (укрепляющей части) колонны

$$D_p := \sqrt{\frac{4 \cdot V_{\text{pk}}}{\pi \cdot \omega_{\text{раб}}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,3670}{3,14 \cdot 1,212}} = 0,596 \text{ м.} \quad (3.1)$$

Принимаем диаметр верхней секции колонны

$$D_p = 0,6 \text{ м.} \quad (3.2)$$

Действительная скорость движения газа

$$\omega_p := \frac{4V_{\text{pk}}}{\pi \cdot D_p^2} = \frac{4 \cdot 0,3670}{3,14 \cdot 0,6^2} = 1,298 \text{ м/с.} \quad (3.3)$$

Расчет диаметра для нижней части колонны (колпачковые тарелки). Основываясь на литературных данных [22, с.630-633], выбираем расстояние между тарелками

$$h_w = 450 \text{ мм.}$$

Скорость движения пара в свободном сечении колонны [34, с. 322]

$$\omega_{\text{раб}} = C \sqrt{\frac{\rho_{\text{xw}} + \rho_{\text{xf}}}{\rho_{\text{yw}} + \rho_{\text{yf}}}} = 0,05 \cdot \sqrt{\frac{749,9 + 743,2}{1,400 + 1,352}} = 1,164 \text{ м/с.}$$

Расчетный диаметр нижней секции (исчерпывающей части) колонны

$$D_w := \sqrt{\frac{4V_{wk}}{\pi \cdot \omega_{\text{раб}}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,2224}{3,14 \cdot 1,164}} = 0,493 \text{ м.} \quad (3.4)$$

Принимаем диаметр колонны

$$D_w = 0,6 \text{ м.} \quad (3.5)$$

Действительная скорость движения газа

$$\omega_w := \frac{4V_{wk}}{\pi \cdot D_w^2} = \frac{4 \cdot 0,2224}{3,14 \cdot 0,6^2} = 0,7866 \text{ м/с.} \quad (3.6)$$

3.2 Расчет числа тарелок

Рабочая линия ректификационной колонны приведена на рисунке 4.2. На этой же схеме графически выполнен расчет числа тарелок верхней секции.

Для определения числа теоретических тарелок необходимо от точки, соответствующей составу в питательной секции, построить ломаную линию между равновесной кривой и рабочей линией до точек, соответствующих составу дистиллята и остатка. Количество шагов будет равно числу теоретических тарелок.

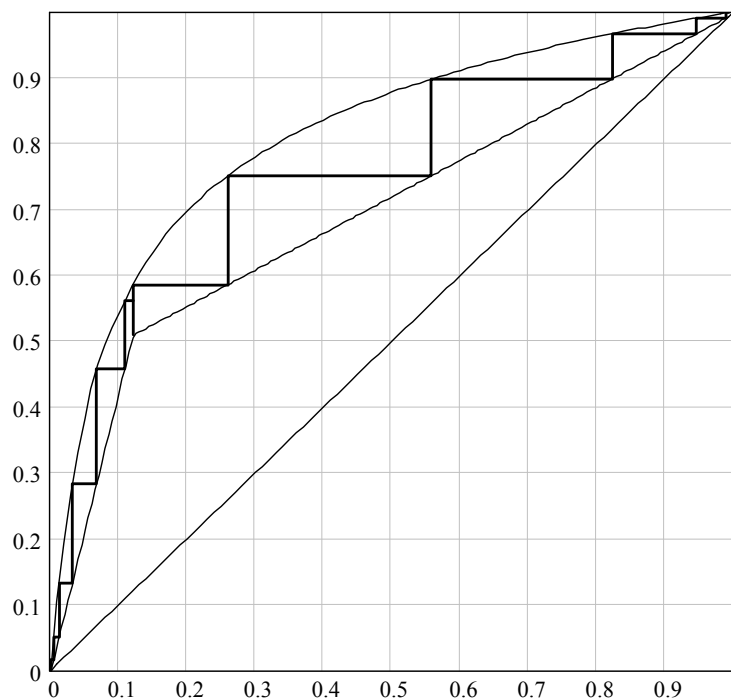


Рисунок 3.1 – Схема к определению числа тарелок ректификационной колонны

Общее число теоретических тарелок в колонне в соответствии с рисунком

$$n_p = 6; n_w = 6.$$

Принимаем КПД тарелок (для нижней секции тарелки работают в неоптимальном режиме)

$$\eta_p := 75\%; \eta_w := 65\%;$$

$$N_p = n_p / \eta_p = 6 / 0,75 = 8; N_w = n_w / \eta_w = 6 / 0,65 = 10.$$

Высота тарельчатой части секций

$$H_p = h_p (n_p - 1) = 0,450 \cdot (8 - 1) = 3,150 \text{ м};$$

$$H_w = h_w (n_w - 1) = 0,450 \cdot (10 - 1) = 4,050 \text{ м}.$$

Действительное гидравлическое сопротивление секций

$$\Delta P_p := n_p \cdot \Delta p_T = 8 \cdot 233,1 = 0,0019 \text{ МПа};$$

$$\Delta P_w := n_w \cdot \Delta p_T = 10 \cdot 233,1 = 0,0023 \text{ МПа}.$$

Общее гидравлическое сопротивление колонны

$$\Delta P_K := \Delta P_p + \Delta P_w = 0,0019 + 0,0023 = 0,0042 \text{ МПа}.$$

Фактическое давление в питательной секции и в кубе колонны

$$P'_f := P_p + \Delta P_p = 0,0350 + 0,0019 = 0,0369 \text{ МПа}; P_f = 0,0375 \text{ МПа};$$

$$P'_w := P_f + \Delta P_w = 0,0369 + 0,0023 = 0,0398 \text{ МПа}; P_w = 0,0400 \text{ МПа}.$$

Фактическое давление существенно не отличается от ранее принятого.

3.3 Расчет высоты колонны

Схема к расчёту ориентировочной высоты колонны показана на рисунке 4.3.

Полная высота колонны вычисляется по формуле

$$H_K = H_{оп} + H_{куб} + H_1 + H_{отг} + H_{п} + H_{кон} + H_2 + H_{дн} + H_{шт}, \quad (3.7)$$

где $H_{оп}$ – высота опорной части (мантии), $H_{оп} = 1,10 \text{ м}$;

$H_{куб}$ – высота кубовой части, $H_{куб} = 1,25 \text{ м}$;

H_1 – высота от уровня жидкости в кубе до нижней тарелки, $H_1 = 0,30 \text{ м}$;

$H_{отг}$ – высота нижней секции, $H_w = 4,05 \text{ м}$;

$H_{кон}$ – высота секции питания, $H_{п} = 0,80 \text{ м}$;

H_p – высота, верхней секции, $H_p = 3,15 \text{ м}$;

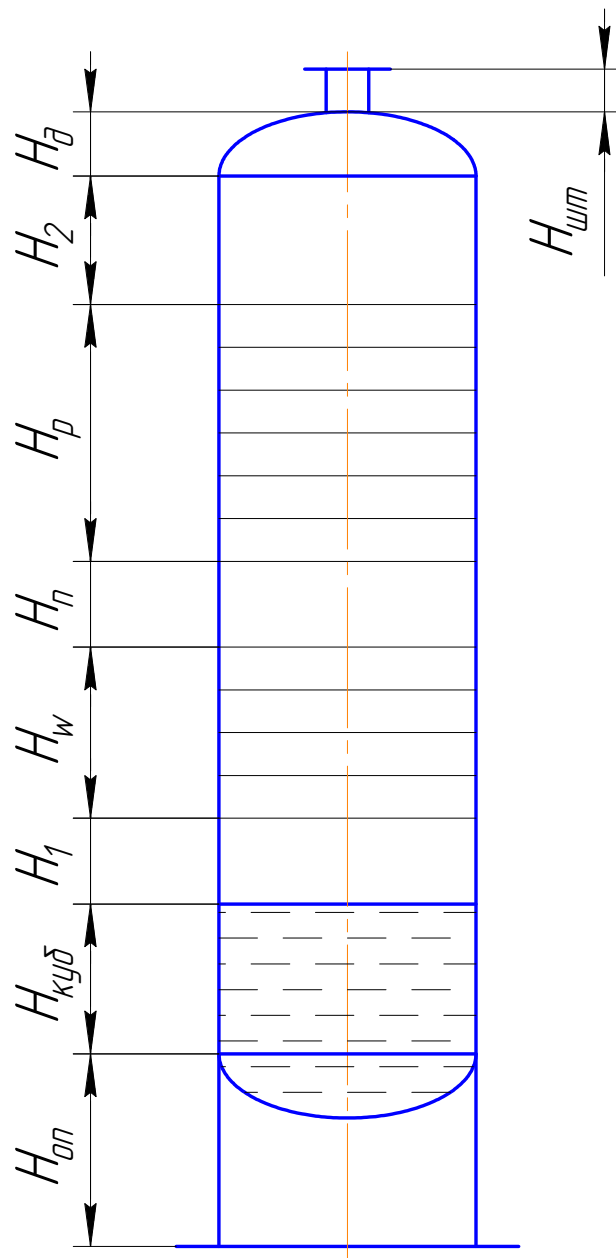


Рисунок 3.2 – Схема к определению высоты колонны

H_2 – высота от верхней тарелки, до верхнего днища, 0,45 м;

$H_{дн}$ – высота верхней крышки (выбираем заглушку 610×12,5 09Г2С ГОСТ 17379-2001, эту же заглушку принимаем для днища колонны), $H_{дн} = 0,305$ м;

$H_{шт}$ – высота штуцера вывода дистиллята, $H_{шт} = 0,20$ мм.

Итого ориентировочная высота колонны

$$H = 1,1 + 1,25 + 0,30 + 4,05 + 0,80 + 3,15 + 0,45 + 0,305 + 0,20 = 11,605 \text{ м.}$$

Принимаем

$$H = 11,65 \text{ м.}$$

3.4 Расчет штуцеров аппарата

Штуцер ввода питания. Скорость движения жидкости в нагнетающем трубопроводе при перекачивании насосами рекомендуется принимать 0,5 ... 2,0 м/с [37]

$$\omega_{fж} = 1,5 \text{ м/с.}$$

Тогда расчетный диаметр штуцера ввода сырья

$$D_{fж} := \sqrt{\frac{4 \cdot V_{fж}}{\pi \cdot \omega_{fж}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 3,738 \cdot 10^{-3}}{3,14 \cdot 1,5}} = 0,056 \text{ м.}$$

Принимаем стандартный диаметр $D_f = 0,050$ м. Тогда действительная скорость движения потока в штуцере

$$\omega_f := \frac{4V_{fж}}{\pi \cdot D_f^2} = \frac{4 \cdot 3,738 \cdot 10^{-3}}{3,14 \cdot 0,050^2} = 1,903 \text{ м/с.}$$

Штуцер вывода остатка. Скорость движения маловязкой жидкости самотеком рекомендуется принимать 0,5 ... 1,0 м/с

$$\omega_{wж} := 1,0 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Тогда расчетный диаметр штуцера вывода кубового остатка

$$D_{wж} := \sqrt{\frac{4 \cdot V_w}{\pi \cdot \omega_{wж}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 3,375 \cdot 10^{-3}}{3,14 \cdot 1,0}} = 0,067 \text{ м.}$$

Принимаем стандартный диаметр

$$D_w = 0,080 \text{ м.}$$

Тогда действительная скорость движения потока в штуцере

$$\omega_w := \frac{4V_w}{\pi \cdot D_w^2} = \frac{4 \cdot 3,375 \cdot 10^{-3}}{3,14 \cdot 0,080^2} = 0,671 \text{ м/с.}$$

Штуцер ввода холодного орошения (флегмы). Скорость движения жидкости

$$\omega_r = 1,0 \text{ м/с.}$$

Тогда расчетный диаметр штуцера ввода флегмы

$$D_{pж} := \sqrt{\frac{4 \cdot V_r}{\pi \cdot \omega_{pж}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 2,905 \cdot 10^{-4}}{3,14 \cdot 1,0}} = 0,019 \text{ м.}$$

Принимаем стандартный диаметр

$$D_r = 0,025 \text{ м.}$$

Тогда действительная скорость движения потока в штуцере

$$\omega_{pж} := \frac{4V_p \cdot R}{\pi \cdot D_p^2} = \frac{4 \cdot 2,905 \cdot 10^{-4}}{3,14 \cdot 0,025^2} = 0,592 \text{ м/с.}$$

Штуцер вывода паров дистиллята. Скорость движения газов при небольшом давлении принимать 10,0 ... 20,0 м/с

$$\omega_p := 18,0 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Тогда расчетный диаметр штуцера вывода паров дистиллята

$$D_p := \sqrt{\frac{4V_p}{\pi \cdot \omega_p}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,415}{3,14 \cdot 18,0}} = 0,171 \text{ м.}$$

Принимаем стандартный диаметр

$$D_p = 0,200 \text{ м.}$$

Тогда действительная скорость движения потока в штуцере

$$\omega_p := \frac{4V_{pk}}{\pi \cdot D_p^2} = \frac{4 \cdot 0,415}{3,14 \cdot 0,200^2} = 13,2 \text{ м/с.}$$

Штуцер ввода горячего орошения. Скорость движения газов при небольшом давлении принимать 10,0 ... 20,0 м/с

$$\omega_w := 15,0 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Тогда расчетный диаметр штуцера ввода горячего орошения

$$D_w := \sqrt{\frac{4 \cdot V_s}{\pi \cdot \omega_w}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,219}{3,14 \cdot 15,0}} = 0,136 \text{ м.}$$

Принимаем стандартный диаметр

$$D_s = 0,150 \text{ м.}$$

Тогда действительная скорость движения потока в штуцере

$$\omega_w := \frac{4V_{wk}}{\pi \cdot D_{wT}^2} = \frac{4 \cdot 0,150}{3,14 \cdot 0,200^2} = 12,6 \text{ м/с.}$$

3.5 Определение толщины тепловой изоляции

Выбираем в качестве материала для тепловой изоляции совелит (85% магнезии + 15% асбеста), имеющий коэффициент теплопроводности [34]

$$\lambda_{и} := 0,09 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$$

Принимаем температуру изоляции со стороны окружающей среды (воздуха)

$$t_{ст2} = 40 \text{ }^{\circ}\text{C.}$$

Коэффициент теплопередачи от внешней поверхности изоляционного материала в окружающую среду

$$\alpha_B := \left(9,3 + 0,058 \frac{t_{ст2}}{\text{grC}} \right) \cdot \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}; \alpha_B = 11,620 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}. \quad (3.8)$$

Принимаем температуру окружающей среды (воздуха)

$$t_B = 20 \text{ }^{\circ}\text{C.}$$

Тогда расчетная толщина тепловой изоляции

$$\delta_{и} = \frac{\lambda_{и} (t_w - t_{ст2})}{\alpha_B (t_{ст2} - t_B)} = \frac{0,09 (200 - 40)}{11,6 (40 - 20)} = 0,062 \text{ м.} \quad (3.9)$$

Принимаем толщину изоляции

$$\delta_{и} = 70 \text{ мм.}$$

3.6 Расчет колпачковой тарелки

Принимаем колпачковые тарелки по аналогии с существующим промышленным объектом. Выполним расчет колпачковой тарелки диаметром 600 мм [37]. Схема к расчету тарелки приведена на рисунке 4.1. Площадь сечения колонны

$$S := \frac{\pi \cdot D^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,6^2}{4} = 0,283 \text{ м}^2. \quad (3.10)$$

Общая площадь сечения патрубков и число колпачков для выбранной тарелки диаметром 600 мм из справочных данных

$$S_{\Pi} = 0,027 \text{ м}^2; n_{\kappa} = 13. \quad (3.11)$$

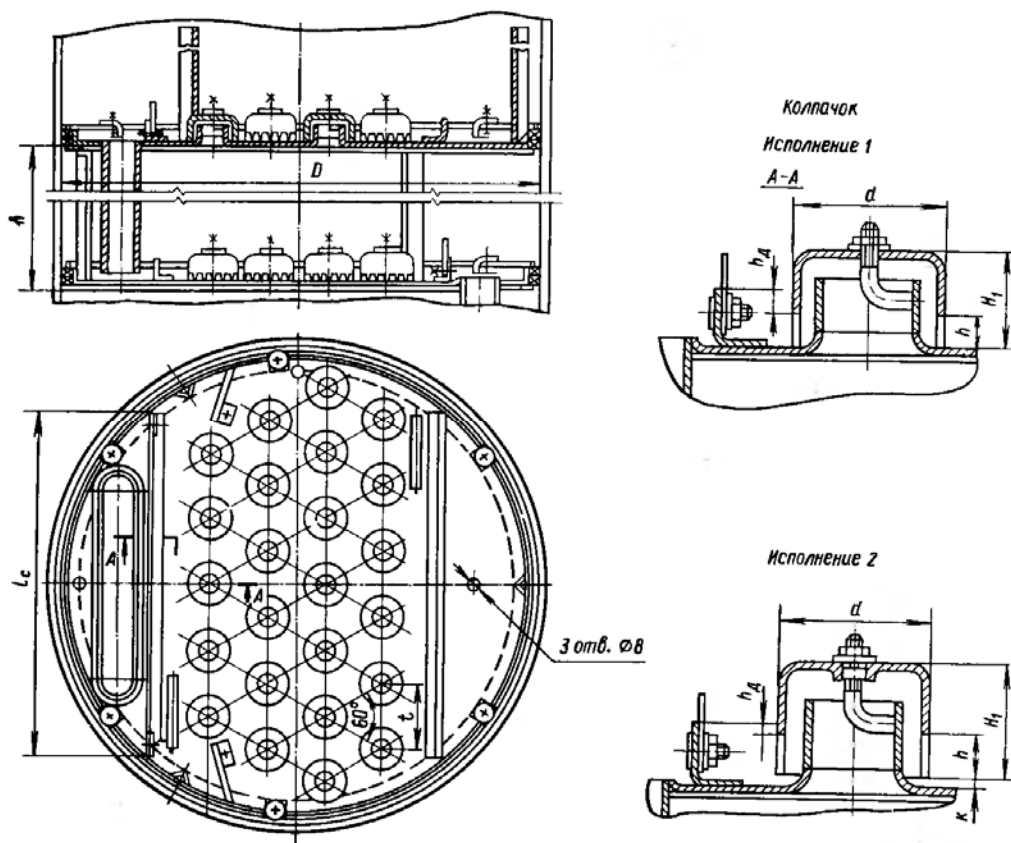


Рисунок 3.3 – Схема к расчету колпачковой тарелки

Площадь сечения одного патрубка

$$s_1 := \frac{S_{\Pi}}{n_{\kappa}} = 0,027 / 13 = 2,077 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2. \quad (3.12)$$

Внутренний диаметр патрубков

$$d_{\Pi} := \sqrt{\frac{4 \cdot s_1}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 2,077 \cdot 10^{-3}}{3,14}} = 51,4 \text{ мм}. \quad (3.13)$$

Принимаем стандартное значение

$$d_{\Pi} = 52 \text{ мм}. \quad (3.14)$$

Определение размеров колпачка. Расчетная высота прорези колпачка

$$h := \frac{s_1}{\pi \cdot d_{\Pi}} = \frac{2,077 \cdot 10^{-3}}{3,14 \cdot 0,052} = 12,7 \text{ мм.} \quad (3.15)$$

Принимаем стандартную высоту

$$h = 15 \text{ мм.} \quad (3.16)$$

Наружный диаметр патрубка

$$D_{\Pi} := d_{\Pi} + 1 \text{ мм} = 52 + 1 = 53 \text{ мм.} \quad (3.17)$$

Минимальный расчетный диаметр колпачка из условия скорости потока

$$d_k := \sqrt{D_{\Pi}^2 + \frac{4s_1}{\pi}} = \sqrt{0,0532^2 + \frac{4 \cdot 2,077 \cdot 10^{-3}}{3,14}} = 73,8 \text{ мм.} \quad (3.18)$$

Принимаем внутренний диаметр колпачка

$$d_k = 80 \text{ мм.} \quad (3.19)$$

Принимаем прорези размером

$$b_{\text{пр}} \times l_{\text{пр}} = 8 \times 15 \text{ мм.} \quad (3.20)$$

Площадь сечения одной прорези

$$s_{\text{пр}} := b_{\text{пр}} \cdot l_{\text{пр}} = 8 \cdot 15 = 1,2 \cdot 10^{-4} \text{ мм}^2. \quad (3.21)$$

Количество прорезей в колпачке

$$n_{\text{пр}} := \frac{s_1}{s_{\text{пр}}} = 2,077 \cdot 10^{-3} / 1,2 \cdot 10^{-4} = 17,3 \quad (3.22)$$

Принимаем число прорезей $n_{\text{пр}} = 20$. Расстояние между прорезями

$$\delta_{\text{пр}} := \frac{\pi \cdot D_k - n_{\text{пр}} \cdot b_{\text{пр}}}{n_{\text{пр}}} = \frac{3,14 \cdot 0,082 - 15 \cdot 0,008}{20} = 4,6 \text{ мм.} \quad (3.23)$$

Определение скорости газа в прорезях. Фактическое живое сечение в прорезях колпачков

$$S_0 := n_k \cdot n_{\text{пр}} \cdot s_{\text{пр}} = 13 \cdot 20,0 \cdot 1,2 \cdot 10^{-4} = 0,062 \text{ м}^2. \quad (3.24)$$

Действительное живое сечение

$$\varphi := \frac{S_0}{S} = 0,062 / 0,283 = 0,221. \quad (3.25)$$

Скорость газа в прорезях колпачков

$$\omega_{\text{пр}} := \frac{\omega}{\varphi} = 0,7866 / 0,221 = 3,564 \text{ м/с.} \quad (3.26)$$

Характеристики колпачковой тарелки из справочных данных [28]:

- коэффициент $a = 1$;
- коэффициент сопротивления $\zeta = 4,75$;
- периметр сливной перегородки $\Pi = 480 \text{ мм}$;
- расстояние от верхнего края прорезей до сливного порога $h_e = 20 \text{ мм}$;

Средние плотности жидкости и пара

$$\rho_{\text{ж}} = \frac{\rho_{\text{xw}} + \rho_{\text{xf}}}{2} = \frac{749,9 + 743,2}{2} = 746,6 \text{ кг/м}^3.$$

$$\rho_{\text{п}} = \frac{\rho_{\text{yw}} + \rho_{\text{yf}}}{2} = \frac{1,400 + 1,352}{2} = 1,376 \text{ кг/м}^3.$$

Скорость, соответствующая полному открытию прорезей

$$\omega_0 := a \cdot \sqrt{\frac{g}{\zeta} \cdot \frac{\rho_{\text{ж}}}{\rho_{\text{г}}} \cdot l_{\text{пр}}} = 1,0 \cdot \sqrt{\frac{9,81}{4,75} \cdot \frac{746,6}{1,376} \cdot 0,015} = 4,099 \text{ м/с.} \quad (3.27)$$

Гидравлическое сопротивление колпачковой тарелки. Сопротивление сухой тарелки

$$\Delta p_1 := \zeta \cdot \frac{\rho_{\text{г}} \cdot \omega_0^2}{2} = 4,75 \cdot \frac{1,376 \cdot 4,099^2}{2} = 54,9 \text{ Па.} \quad (3.28)$$

Отношение плотности пены к плотности чистой жидкости (ориентировочно)

$$k = 0,5. \quad (3.29)$$

Объемный расход жидкости

$$V_{\text{ж}} = V_{\text{г}} = 1,046 \text{ м}^3/\text{ч.} \quad (3.30)$$

Высота уровня жидкости над сливным порогом

$$\Delta h = \left(\frac{V_{\text{ж}}}{1,85 \Pi k} \right)^{2/3} = \left(\frac{1,046}{1,85 \cdot 0,480 \cdot 0,5} \right)^{2/3} = 7,54 \text{ мм.} \quad (3.31)$$

Сопротивление столба жидкости на колпачковой тарелке (при полном открытии прорезей)

$$\Delta p_2 := 1,3 \cdot g \cdot k \cdot \rho_{\text{ж}} \cdot \left(h_e + \frac{l_{\text{пр}}}{2} + \Delta h \right) = \quad (3.32)$$

$$= 1,3 \cdot 9,81 \cdot 0,5 \cdot 746,6 \cdot (0,020 + 0,015/2 + 7,74) = 166,7 \text{ Па.}$$

Эквивалентный диаметр прорезей в колпачках

$$d_{\text{экв}} := \frac{4b_{\text{пр}} \cdot l_{\text{пр}}}{2 \cdot (b_{\text{пр}} + l_{\text{пр}})} = \frac{4 \cdot 0,008 \cdot 0,015}{2 \cdot (0,008 + 0,015)} = 10,4 \text{ мм.} \quad (3.33)$$

Сопротивление, обусловленное силами поверхностным натяжением

$$\Delta p_3 := \frac{4 \cdot \sigma}{d_{\text{экв}}} = \frac{4 \cdot 73 \cdot 10^{-3}}{0,0104} = 11,5 \text{ Па.} \quad (3.34)$$

Общее сопротивление тарелок

$$\Delta p := \Delta p_1 + \Delta p_2 + \Delta p_3 = 54,9 + 166,7 + 11,5 = 233,1 \text{ Па.} \quad (3.35)$$

Проверка минимального расстояния между тарелками

$$H_{\text{min}} := 1,8 \cdot \frac{\Delta p}{\rho_{\text{ж}} \cdot g} = 1,8 \cdot \frac{254,7}{746,6 \cdot 9,81} = 57,3 \text{ мм.} \quad (3.36)$$

Фактическое расстояние превышает минимально допустимое.

3.7 Описание конструкции аппарата

Проектируемая колонна показана на рисунке 5.1 [41]. Колонна представляет собой вертикальный цилиндрический аппарат колонного типа постоянного сечения диаметром 600 мм и высотой 12000 мм. Колонна состоит из двух царг, по одной на каждую секцию, кубовой части и крышки. Колонна работает максимальным избыточным давлением $p_t = 0,040$ МПа при температуре до 200 °С в кубе колонны. В соответствии [4] аппарат относится к группе 5а (расчётное давление от вакуума до 0,07 МПа, независимо от температуры стенки, рабочая среда взрывоопасная, пожароопасная).

Корпус колонны является цельносварным [28, прил. 5.1] и состоит из обечайки и двух эллиптических днищ [4]. В корпусе колонны установлено 18 колпачковых тарелок. Для ввода и вывода потоков предусмотрены штуцеры. Обслуживание колонны выполняется через съёмное верхнее днище. Аппарат устанавливается на открытом воздухе, на цилиндрической опоре.

Монтаж выполняется за монтажные штуцеры. Проектом не предусмотрено установка обслуживающих площадок, монтаж производится в существующую этажерку с отметками 4,0 м, 9,0 м

Механический расчет колонны выполняется в соответствии с [4, 25].

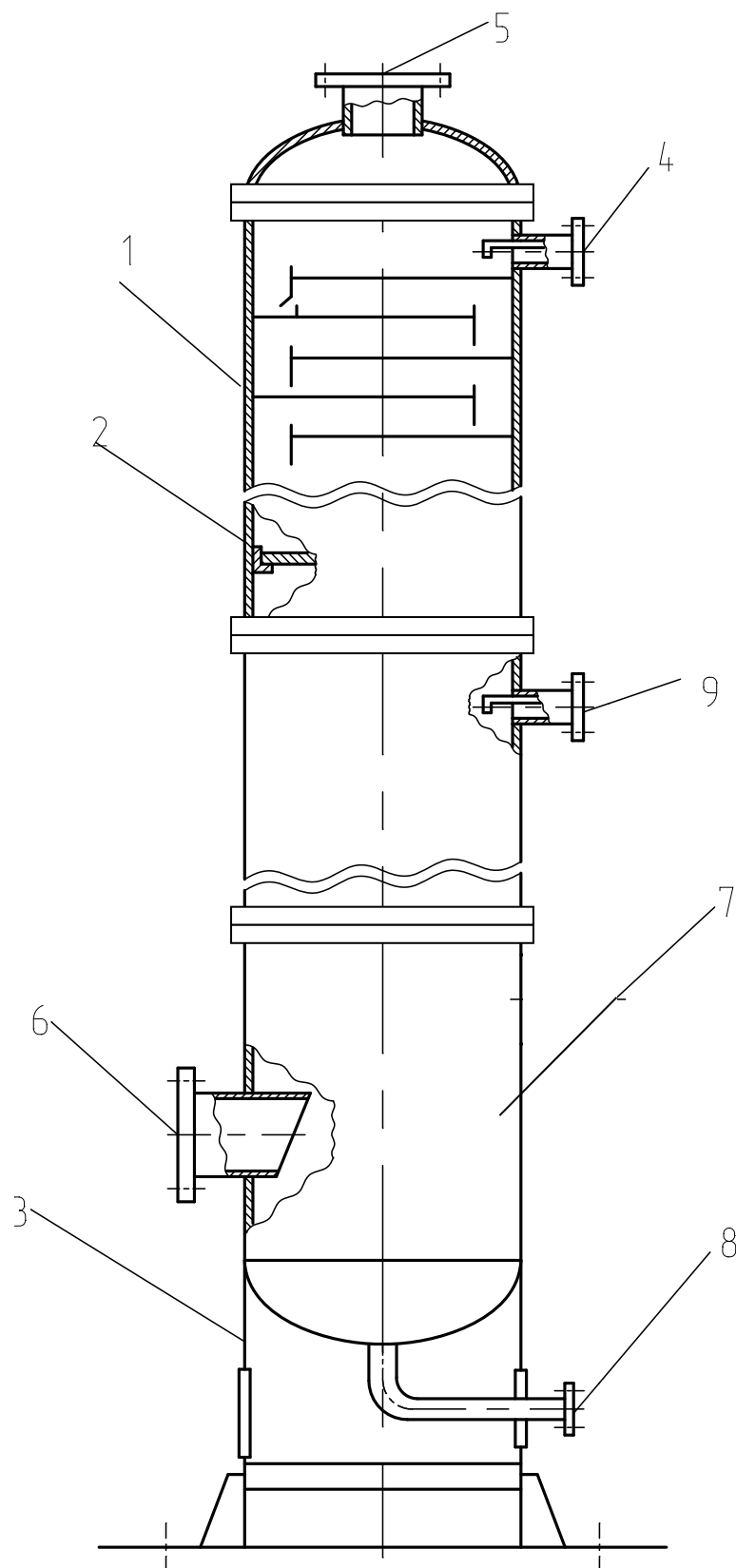


Рисунок 3.4 – Конструкция колонны отбензинивания нефти:

1 – корпус колонны; 2 – тарелка; 3 – опора; 4 – штуцер ввода холодного орошения; 5 – штуцер отвода дистиллята; 6 – штуцер ввода горячего орошения; 7 – куб; 8 – штуцер отвода остатка; 9 – штуцер ввода исходного сырья.

4 МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ

4.1 Выбор материала

Согласно [25] для обечайки и днищ принимаем сталь 09Г2С. Сталь предназначена для изготовления обечаек, днищ, фланцев корпусов аппаратов, штуцеров и трубопроводов и других деталей аппаратов ответственного назначения без ярко выраженных коррозионных свойств. В качестве расчётной принимаем температуру немного выше рабочей для куба колонны $t = 220\text{ }^{\circ}\text{C}$. Характеристики материала при расчётной температуре определяем интерполированием табличных данных при $t_1 = 200\text{ }^{\circ}\text{C}$ и при $t_2 = 300\text{ }^{\circ}\text{C}$ [25, табл. 2.18]

$$\sigma_{B20} = 484\text{ МПа}; \sigma_{B1} = 431\text{ МПа}; \sigma_{B2} = 457\text{ МПа};$$

$$\sigma_{T20} = 328\text{ МПа}; \sigma_{T1} = 253\text{ МПа}; \sigma_{T2} = 214\text{ МПа}.$$

$$\sigma_B = \sigma_{B1} + (t - t_1) \frac{\sigma_{B2} - \sigma_{B1}}{t_2 - t_1} = 431 + (220 - 200) \cdot \frac{457 - 431}{300 - 200} = 454,2\text{ МПа}; \quad (4.1)$$

$$\sigma_T = \sigma_{T1} + (t - t_1) \frac{\sigma_{T2} - \sigma_{T1}}{t_2 - t_1} = 328 + (220 - 200) \cdot \frac{214 - 253}{300 - 200} = 245,2\text{ МПа}. \quad (4.2)$$

Согласно [25, табл. 14.5] для низколегированной стали при рабочей температуре менее $420\text{ }^{\circ}\text{C}$ номинальное допускаемое напряжение

$$\sigma^* = \min \left(\frac{\sigma_B}{n_B}; \frac{\sigma_T}{n_T} \right), \quad (4.3)$$

где n_B – запас прочности по пределу прочности, для стального проката из легированной стали при рабочем давлении до $0,5\text{ МПа}$ $n_B = 2,6$ [25, табл. 14.6];

n_T – запас прочности по пределу текучести, для стального проката из легированной стали при давлении в аппарате не более $0,5\text{ МПа}$ $n_T = 1,65$ [25, табл. 14.6].

Соответственно нормативное допускаемое напряжение при расчётной температуре и при $20\text{ }^{\circ}\text{C}$:

$$\sigma^* = \min \left(\frac{454,2}{2,6}; \frac{245,2}{1,65} \right) = \min(174,7; 148,6) = 148,6\text{ МПа}; \quad (4.4)$$

$$\sigma_{20}^* = \min\left(\frac{484,0}{2,6}; \frac{328,0}{1,65}\right) = \min(186,2; 218,7) = 186,2 \text{ МПа.} \quad (4.5)$$

Допускаемое напряжение при статических однократных нагрузках для рабочего состояния выбранного материала составляют

$$[\sigma] = \eta \sigma^*; [\sigma]_{20} = \eta \sigma_{20}^*, \quad (4.6)$$

где η – поправочный коэффициент, учитывающий вид заготовки, для листового проката $\eta = 1,0$ [25]. Подставляя числовые значения, получим

$$[\sigma] = 1,0 \cdot 163,5 = 163,5 \text{ МПа}; [\sigma]_{20} = 1,0 \cdot 186,2 = 186,2 \text{ МПа.}$$

Допускаемое напряжение при гидроиспытаниях

$$[\sigma]_{\text{и}} = \sigma_{\text{T20}} / 1,1 = 328,0 / 1,1 = 298,2 \text{ МПа.}$$

4.2 Определение расчетных давлений

Технологическое давление в ректификационной колонне

$$p_{\text{т}} = p_{\text{тг}} + p_{\text{с}}, \quad (4.7)$$

где $p_{\text{с}}$ – давление среды в аппарате, $p_{\text{с}} = 0,040$ МПа;

$p_{\text{т}}$ – гидростатическое давление столба жидкости.

При аварийном заполнении колонны или при гидроиспытании

$$p_{\text{тг}} = \rho_{\text{т}} g H; p_{\text{иг}} = \rho_{\text{и}} g H, \quad (4.8)$$

где g – ускорение свободного падения, $g = 9,81 \text{ м/с}^2$;

H – высота столба жидкости в аппарате, $H = 11,0 \text{ м}$;

$\rho_{\text{т}}$ – плотность среды в рабочем режиме, $\rho_{\text{т}} = \rho_{\text{хв}} = 750 \text{ кг/м}^3$;

$\rho_{\text{и}}$ – плотность воды при испытании, $\rho_{\text{и}} = 1000 \text{ кг/м}^3$.

Соответственно

$$p_{\text{тг}} = 750 \cdot 9,81 \cdot 11,0 = 0,0809 \text{ МПа};$$

$$p_{\text{иг}} = 1000 \cdot 9,81 \cdot 11,0 = 0,1079 \text{ МПа};$$

Технологическое давление в аппарате

$$p_{\text{т}} = 0,0809 + 0,040 = 0,1209 \text{ МПа.}$$

Согласно [25, табл. 14.1], для аппаратов, предназначенных для хранения и переработки пожаро-взрывоопасных сред под избыточным давлением от 0,07 МПа до 0,3 МПа расчетное давление в аппарате

$$p_p = \max(1,2p_T; 0,300) = \max(1,2 \cdot 0,1209; 0,3000) = \quad (4.9)$$

$$= \max(0,1451; 0,3000) = 0,3000 \text{ МПа.}$$

Давление пробного гидравлического испытания для сварных аппаратов с расчетным давлением от 0,07 МПа до 0,5 МПа [25, табл. 14.1]

$$p_{и} = \max \left(\frac{1,25p_p [\sigma]_{20}}{[\sigma]} \right) = \max \left(\frac{1,25 \cdot 0,3000 \cdot 186,2}{163,5} \right) = \quad (4.10)$$

$$= \max \left(\frac{0,4271}{0,3000} \right) = 0,4271 \text{ МПа.}$$

Технологическое давление при испытании

$$p_{ит} = p_{и} - p_{иг} = 0,4271 - 0,1079 = 0,3192 \text{ МПа.}$$

4.3 Расчет цилиндрической обечайки, нагруженной внутренним избыточным давлением

Схема к расчету обечайки приведена на рисунке 4.1.

Исполнительную толщину стенки s цилиндрической обечайки определяют по формуле [25]

$$s_p = \max \left(\frac{p_p D}{2\varphi[\sigma] - p_p}; \frac{p_{и} D}{2\varphi[\sigma]_{и} - p_{и}} \right); \quad (4.11)$$

$$s = s_p + c, \quad (4.12)$$

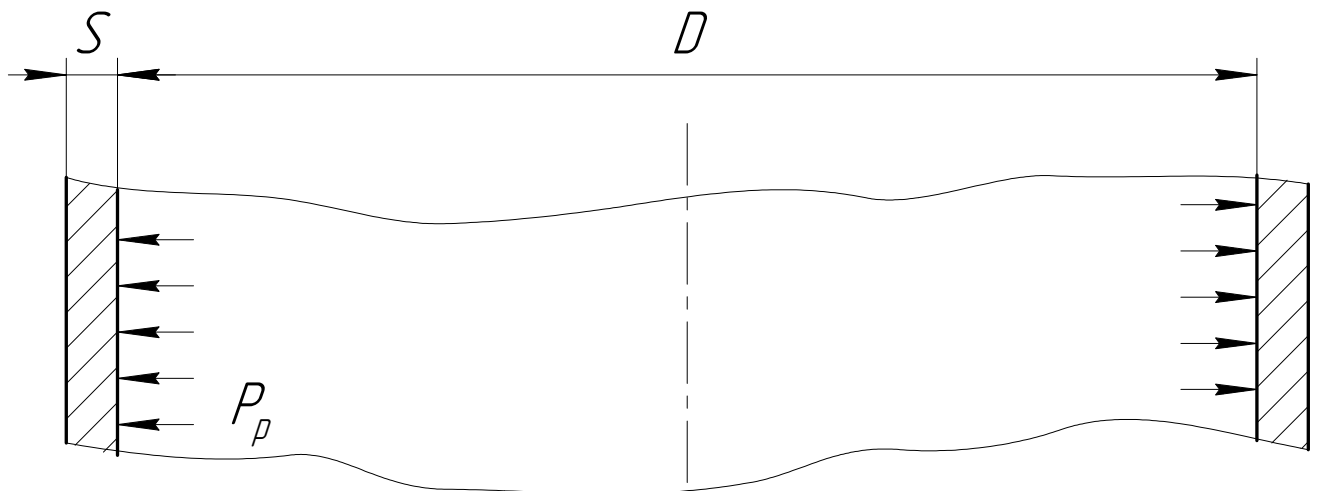


Рисунок 4.1 – К расчету обечайки колонны:

где φ – коэффициент прочности сварных швов стальных аппаратов, для автоматической сварки под слоем флюса $\varphi = 1,00$ [36];

$$s_p = \max \left(\frac{0,3000 \cdot 600}{2 \cdot 1,00 \cdot 163,5 - 0,3000}, \frac{0,4271 \cdot 600}{2 \cdot 1,00 \cdot 298,2 - 0,4271} \right) = \max \begin{pmatrix} 0,55 \\ 0,43 \end{pmatrix} = 0,55 \text{ мм};$$

Общая прибавка на коррозию определяется по формуле

$$c = c_1 + c_2 + c_3, \quad (4.13)$$

где c_1 – прибавка на коррозию;

c_2 – прибавка на минусовой допуск листа, $c_2 = 0,4 \div 0,8$ мм;

c_3 – конструктивная прибавка, $c_3 = 0,0$ мм.

Прибавка на коррозию зависит от срока эксплуатации аппарата ϑ и скорости коррозии τ

$$c_1 = \vartheta \tau, \quad (4.14)$$

Обычно $\vartheta = 10 \div 15$ лет, а $\tau = 0,1 \div 0,2$ мм/год, следовательно

$$\vartheta = 15 \text{ лет}; \quad \tau = 0,1 \text{ мм/год};$$

$$c_1 = 15 \cdot 0,1 = 1,5 \text{ мм}.$$

Прибавку на минусовой допуск листа принимаем

$$c_2 = 0,8 \text{ мм}.$$

Итого получаем

$$c = 1,5 + 0,8 + 0,0 = 2,30 \text{ мм}.$$

Исполнительная толщина стенки цилиндрической обечайки составит

$$s = 0,55 + 2,30 = 2,85 \text{ мм}.$$

В соответствии с требованиями [24] принимаем исполнительную толщину стенки цилиндрической обечайки

$$s = 10,00 \text{ мм}.$$

Допускаемое давление в рабочем состоянии и при испытаниях

$$[p] = \frac{2 \varphi [\sigma](s - c)}{D + s - c} = \frac{2 \cdot 1,00 \cdot 163,5 \cdot (10,00 - 2,85)}{600 + 10,00 - 2,85} = 4,142 \text{ МПа}; \quad (4.15)$$

$$[p]_{\text{и}} = \frac{2 \varphi [\sigma]_{\text{и}}(s - c)}{D + s - c} = \frac{2 \cdot 1,00 \cdot 298,2 \cdot (10,00 - 2,85)}{600 + 10,00 - 2,85} = 7,556 \text{ МПа}. \quad (4.16)$$

Проверка прочности обечайки из условий давления

$$p_r \leq [p]; 0,1209 \leq 4,964; \quad (4.17)$$

$$p_n \leq [p]_n; 0,4271 \leq 9,054. \quad (4.18)$$

Обечайка с исполнительной толщиной стенки $s = 10$ мм удовлетворяет условию прочности.

4.4 Расчет эллиптического днища, нагруженного внутренним избыточным давлением

Выполним расчет нижнего днища колонны. Схема к расчету приведена на рисунке 4.2.

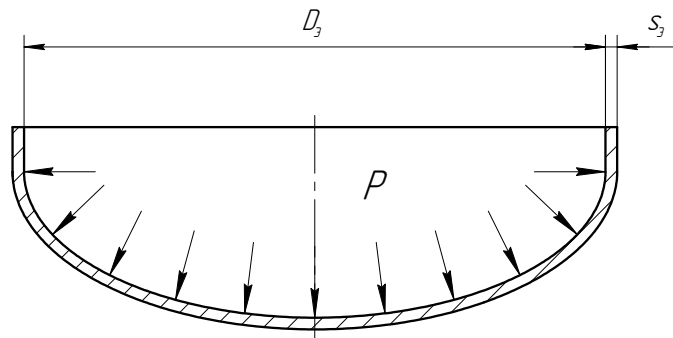


Рисунок 4.2 – Схема к расчету эллиптического днища

Исполнительную толщину стенки стандартного эллиптического днища рассчитывают по формуле [25]

$$s_{эп} = \max \left(\frac{\frac{pR}{2\varphi[\sigma] - 0,5p_p}}{\frac{p_n R}{2\varphi[\sigma]_n - 0,5p_n}} \right), \quad (4.19)$$

где R – условный радиус днища, для эллиптических днищ $R = D$;

$$s_{эп} = \max \left(\frac{\frac{0,3000 \cdot 600}{2 \cdot 1,00 \cdot 163,5 - 0,5 \cdot 0,3000}}{\frac{0,4271 \cdot 600}{2 \cdot 1,00 \cdot 298,2 - 0,5 \cdot 0,4271}} \right) = \max \left(\frac{0,55}{0,43} \right) = 0,55 \text{ мм};$$

$$s_э = s_{эп} + c = 0,55 + 2,30 = 2,85 \text{ мм}. \quad (4.20)$$

Толщина стенки эллиптического днища не должна быть меньше толщины стенки обечайки, поэтому $s_э = 10$ мм. Допускаемое давление в рабочем состоянии и при испытаниях

$$[p] = \frac{2 \varphi [\sigma](s - c)}{D + 0,5(s - c)} = \frac{2 \cdot 1,00 \cdot 163,5 \cdot (10,00 - 2,85)}{600 + 0,5 \cdot (10,00 - 2,85)} = 4,169 \text{ МПа}; \quad (4.21)$$

$$[p]_{\text{и}} = \frac{2\phi[\sigma]_{\text{и}}(s - c)}{D + 0,5(s - c)} = \frac{2 \cdot 1,00 \cdot 298,2 \cdot (10,00 - 2,85)}{600 + 0,5 \cdot (10,00 - 2,85)} = 7,605 \text{ МПа}. \quad (4.22)$$

Проверка прочности днища из условий давления

$$p_{\text{г}} \leq [p]; 0,1209 \leq 5,002; p_{\text{и}} \leq [p]_{\text{и}}; 0,4271 \leq 9,124. \quad (4.23)$$

Толщина стенки эллиптического днища удовлетворяет условию прочности.

4.5 Определение весовых характеристик корпуса колонны

Плотность материала аппарата из справочных данных

$$\rho = 7850 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}.$$

Ориентировочный вес обечайки

$$G_{\text{об}} := \frac{\pi \cdot [(D + 2s)^2 - D^2]}{4} \cdot H \cdot \rho \cdot g = \quad (4.24)$$

$$= \frac{3,14 \cdot [(0,600 + 2 \cdot 0,010)^2 - 0,600^2]}{4} \cdot 11,0 \cdot 7,850 \cdot 9,81 = 0,0162 \text{ МН}.$$

Вес тарелок

$$G_{\text{Т}} := m_{\text{Т}} \cdot N_{\text{Т}} \cdot g = 0,014 \cdot 18 \cdot 9,81 = 0,0025 \text{ МН}. \quad (4.25)$$

Суммарная масса вспомогательных устройств, днищ, опоры аппарата

$$G_{\text{ВУ}} := 0,1 G_{\text{об}} = 0,1 \cdot 0,0162 = 0,0016 \text{ МН}. \quad (4.26)$$

Монтажный вес аппарата

$$G_{\text{МОНТ}} := G_{\text{ВУ}} + G_{\text{об}} = 0,0016 + 0,0162 = 0,0179 \text{ МН}. \quad (4.27)$$

Масса аппарата в работе увеличивается на массу жидкости в аппарате.

Высота слоя жидкости из технологического расчёта

$$h_{\text{ж}} := 30 \cdot \text{мм}.$$

Вес жидкости на тарелках

$$G_{\text{ж}} := N_{\text{Т}} \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot h_{\text{ж}} \cdot \rho_{\text{ж}} \cdot g = \quad (4.28)$$

$$= 18 \cdot \frac{3,14 \cdot 0,600^2}{4} = 0,030 \cdot 0,750 \cdot 9,81 = 0,0011 \text{ МН.}$$

Рабочий вес аппарата

$$G_{\text{раб}} := G_{\text{монт}} + G_{\text{ж}} = 0,0179 + 0,0011 = 0,0190 \text{ МН.} \quad (4.29)$$

4.6 Расчет аппарата на ветровую и сейсмическую нагрузки

4.6.1 Исходные данные для расчета на ветровую нагрузку

Все расчётные формулы и зависимости взяты из [4.1, 25]. Исходными данными для расчета на ветровую нагрузку являются:

- высота аппарата $H = 11000 \text{ м}$;
- диаметр аппарата $D = 600 \text{ мм}$;
- толщина стенки $s = 10 \text{ мм}$;
- число тарелок $N_T = 18 \text{ шт}$;

Выбираем из справочных данных массу одной тарелки [28, прил. 5.2]

$$m_T = 14 \text{ кг.}$$

Плотность жидкости на тарелках определена в технологическом расчёте

$$\rho_{\text{ж}} := 750 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}.$$

4.6.2 Определение периода свободных колебаний аппарата

Момент инерции сечения аппарата

$$J := \frac{\pi}{8} \cdot (D + 2s)^3 \cdot s = \frac{3,14}{8} \cdot (0,600 + 2 \cdot 0,010)^3 = 9,359 \cdot 10^{-4} \text{ м}^4. \quad (4.30)$$

Модуль нормальной упругости материала корпуса аппарата

$$E_t := 2 \cdot 10^5 \text{ МПа.}$$

Период свободных колебаний аппаратов постоянного сечения при монтаже и при рабочих условиях

$$H / D = 11,0 / 0,6 = 18,3 > 15;$$

$$T_{\text{монт}} := 1.79 \cdot H \cdot \sqrt{\frac{G_{\text{монт}} \cdot H}{E_t \cdot J \cdot g}} =$$

$$= 1,79 \cdot 11,0 \cdot \sqrt{\frac{0,0179 \cdot 11,0}{2,0 \cdot 10^5 \cdot 9,359 \cdot 10^{-4} \cdot 9,81}} = 0,204 \text{ с};$$

$$T_{\text{раб}} := 1.79 \cdot H \cdot \sqrt{\frac{G_{\text{раб}} \cdot H}{E_t \cdot J \cdot g}} =$$

$$1,79 \cdot 11,0 \cdot \sqrt{\frac{0,0190 \cdot 11,0}{2,0 \cdot 10^5 \cdot 9,359 \cdot 10^{-4} \cdot 9,81}} = 0,210 \text{ с}.$$

4.6.3 Определение изгибающего момента от ветровой нагрузки

Разбиваем аппарат равномерно по высоте на участки, количество участков

$$n := 10.$$

Высота каждого участка

$$\Delta h := \frac{H}{n} = 11,0 / 10 = 1,1 \text{ м}.$$

Высоты центров тяжести каждого участка

$$h_i := \left(i + \frac{1}{2}\right) \cdot \Delta h$$

$$h^T =$$

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
0	0.55	1.65	2.75	3.85	4.95	6.05	7.15	8.25	9.35	10.45	м

Нормативный скоростной напор ветра на высоте 10м для III географического района в соответствии со справочными данными [25, табл. 29.14]

$$q_0 := 0.045 \cdot 10^{-2} \frac{\text{МН}}{\text{м}^2}.$$

График для определения коэффициента динамичности в зависимости от периода свободных колебаний приведен на рисунке 5.4.

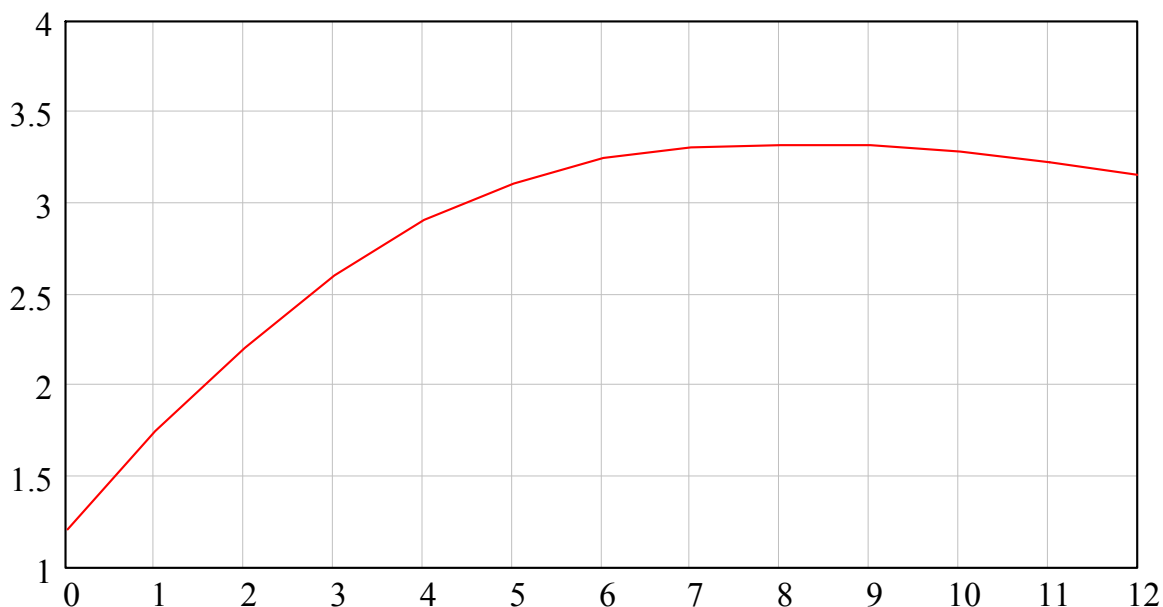


Рисунок 4.3 – График для определения коэффициента динамичности

Тогда коэффициенты динамичности при монтаже и эксплуатации аппарата

$$\varepsilon_{\text{монт}} := \varepsilon(T_{\text{монт}}) = \varepsilon(0,204) = 1,312; \quad (4.34)$$

$$\varepsilon_{\text{раб}} := \varepsilon(T_{\text{раб}}) = \varepsilon(0,210) = 1,315. \quad (4.35)$$

График для определения коэффициента пульсаций скоростного напора ветра в зависимости от высоты центра масс участка приведен на рисунке 5.5.

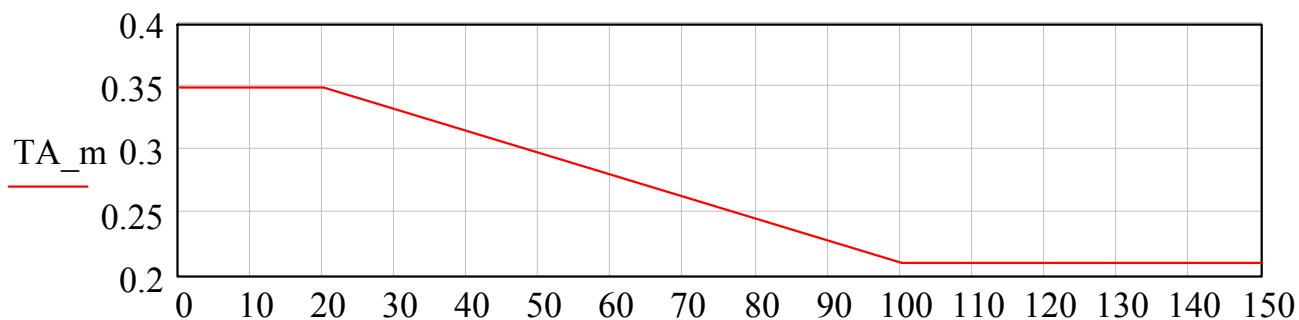


Рисунок 4.4 – График для определения коэффициента пульсаций ветра

Тогда коэффициенты пульсации скоростного напора ветра для каждого участка в соответствии с этим графиком

$$m := \Omega m(h); \quad (4.36)$$

$$m^T =$$

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	0.350	0.350	0.350	0.350	0.350	0.350	0.350	0.350	0.350	0.350

Коэффициент увеличения скоростного напора ветра при монтаже и эксплуатации аппарата для каждой секции

$$\beta_{\text{монт}} := 1 + \varepsilon_{\text{монт}} \cdot m; \quad (4.37)$$

$$\beta_{\text{монт}}^T =$$

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	1.459	1.459	1.459	1.459	1.459	1.459	1.459	1.459	1.459	1.459

$$\beta_{\text{раб}} := 1 + \varepsilon_{\text{раб}} \cdot m; \quad (4.38)$$

$$\beta_{\text{раб}}^T =$$

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	1.46	1.46	1.46	1.46	1.46	1.46	1.46	1.46	1.46	1.46

График для определения поправочного коэффициента на увеличение скоростного напора ветра в зависимости от высоты приведен на рисунке 5.6.

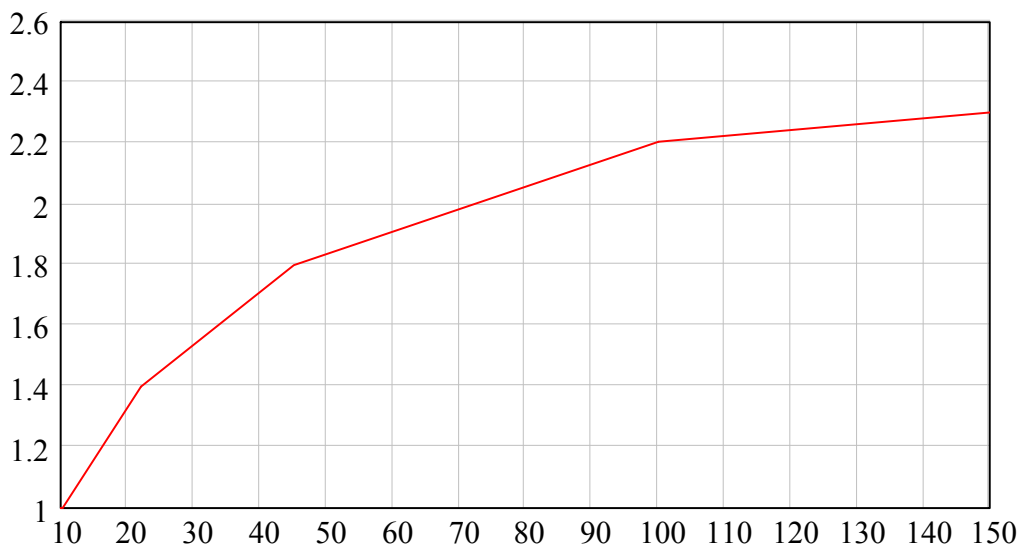


Рисунок 4.5 – График для определения коэффициента пульсаций ветра

Поправочный коэффициент на увеличение скоростного напора ветра для проектируемого аппарата в соответствии с этим графиком

$$\theta := \Omega_{\theta}(h); \quad (4.39)$$

$$\theta^T =$$

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1.015

Нормативный скоростной напор ветра для участков аппарата

$$q := q_0 \cdot \theta; \quad (4.40)$$

$$q^T =$$

	0	1	2	3	4	5
0	$4.5 \cdot 10^{-4}$	$4.5 \cdot 10^{-4}$	$4.5 \cdot 10^{-4}$	$4.5 \cdot 10^{-4}$	$4.5 \cdot 10^{-4}$	$4.5 \cdot 10^{-4}$

$\frac{\text{МН}}{\text{м}^2}$

Сила, действующая на участок аппарата

$$P_{\text{МОНТ}} := \overrightarrow{(0.6 \cdot \beta_{\text{МОНТ}} \cdot q \cdot D \cdot h)}; P_{\text{раб}} := \overrightarrow{(0.6 \cdot \beta_{\text{раб}} \cdot q \cdot D \cdot h)}. \quad (4.41)$$

Результаты расчета в графическом виде приведены на рисунке 5.7.

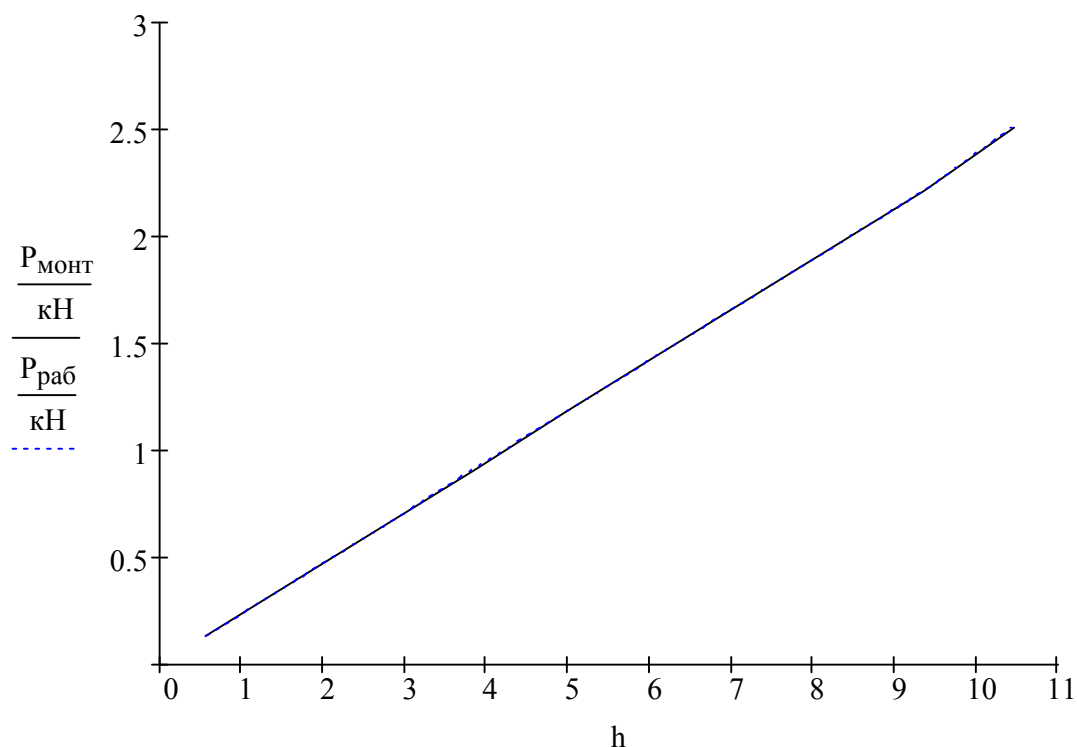


Рисунок 4.6 – Действующая сила от ветровой нагрузки

Оба графика сливаются в одну линию по причине незначительного отличия рабочих условий от монтажа. Изгибающий момент от ветровой нагрузки относительно основания аппарата есть произведение векторов действующей силы и высоты

$$M_{\text{В_МОНТ}} := P_{\text{МОНТ}} \cdot h = 0,0955 \text{ МН} \cdot \text{м}; \quad (4.42)$$

$$M_{\text{В_раб}} := P_{\text{раб}} \cdot h = 0,0956 \text{ МН} \cdot \text{м}. \quad (4.43)$$

4.6.4 Определение изгибающего момента от сейсмической нагрузки

Сейсмический коэффициент для расчётной сейсмичности 7 в соответствии со справочными данными [25, табл. 29.15]

$$K_c := 0.025$$

График для определения коэффициента динамичности при $H/D > 15$ приведен на рисунке 5.8 [25, рис. 29.23].

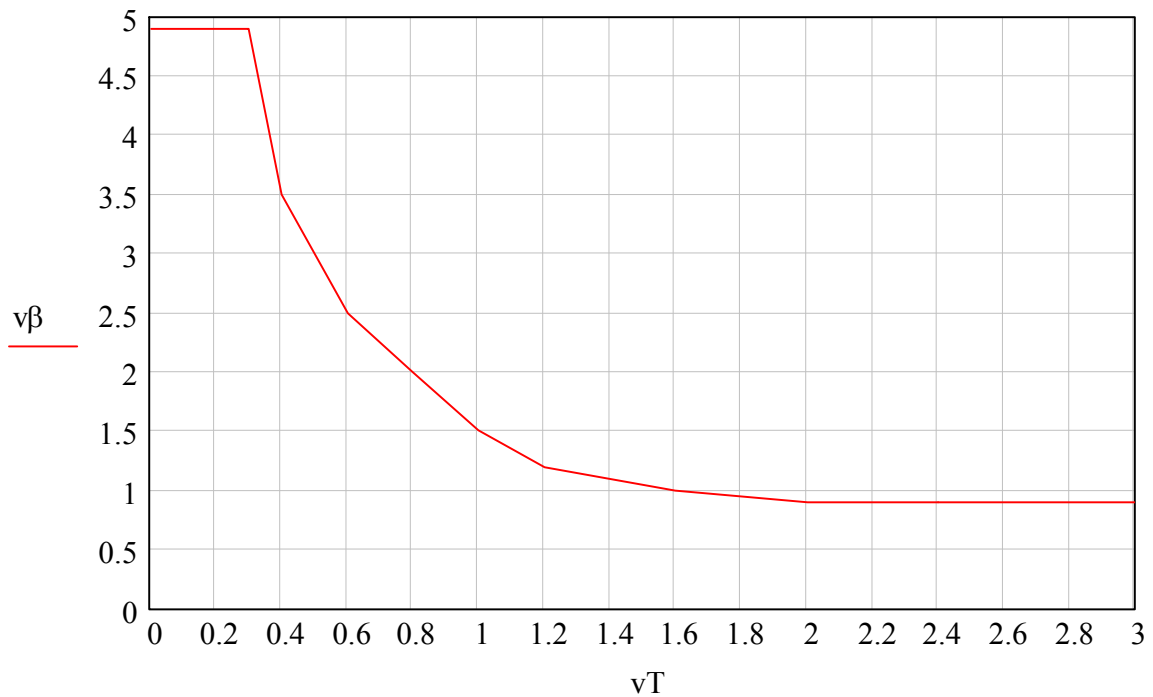


Рисунок 4.7 – Действующая сила от ветровой нагрузки

Коэффициент динамичности при монтаже и для рабочих условий

$$\beta_{\text{монт}} := f_{\beta}(T_{\text{раб}}) = f_{\beta}(0,204) = 4,9 \text{ МН}; \quad (4.44)$$

$$\beta_{\text{монт}} := f_{\beta}(T_{\text{раб}}) = f_{\beta}(0,210) = 4,9 \text{ МН}. \quad (4.45)$$

Момент считается сверху колонны, расстояние от верха колонны до центра масс каждого сегмента

$$x := H - h \quad (4.46)$$

Колонну считаем равномерно нагруженной, вес каждого сегмента

$$Q_{\text{раб}_i} := \frac{G_{\text{раб}}}{n}; \quad Q_{\text{монт}_i} := \frac{G_{\text{монт}}}{n}. \quad (4.47)$$

Величина сейсмической силы в середине i -го участка для $H/D > 15$.

$$\sum_i \left[Q_{\text{раб}_i} \cdot (x_i)^2 \right] = 0.763 \text{ МН} \cdot \text{м}^2; \quad \sum_i \left[Q_{\text{раб}_i} \cdot (x_i)^2 \right] = 0.763 \text{ МН} \cdot \text{м}^2 \quad (4.48)$$

$$\sum_i \left[Q_{\text{раб}_i} \cdot (x_i)^4 \right] = 55.097 \text{ МН} \cdot \text{м}^4; \quad \sum_i \left[Q_{\text{монт}_i} \cdot (x_i)^4 \right] = 51.836 \text{ МН} \cdot \text{м}^4 \quad (4.49)$$

$$P_{c_paб_i} := K_c \cdot \beta_{paб} \cdot Q_{paб_i} \cdot (x_i)^2 \cdot \frac{\sum_i [Q_{paб_i} \cdot (x_i)^2]}{\sum_i [Q_{paб_i} \cdot (x_i)^4]}; \quad (4.50)$$

$$P_{c_монт_i} := K_c \cdot \beta_{монт} \cdot Q_{монт_i} \cdot (x_i)^2 \cdot \frac{\sum_i [Q_{монт_i} \cdot (x_i)^2]}{\sum_i [Q_{монт_i} \cdot (x_i)^4]}. \quad (4.51)$$

В графическом виде результаты расчёта момента приведены на рисунке 5.9.

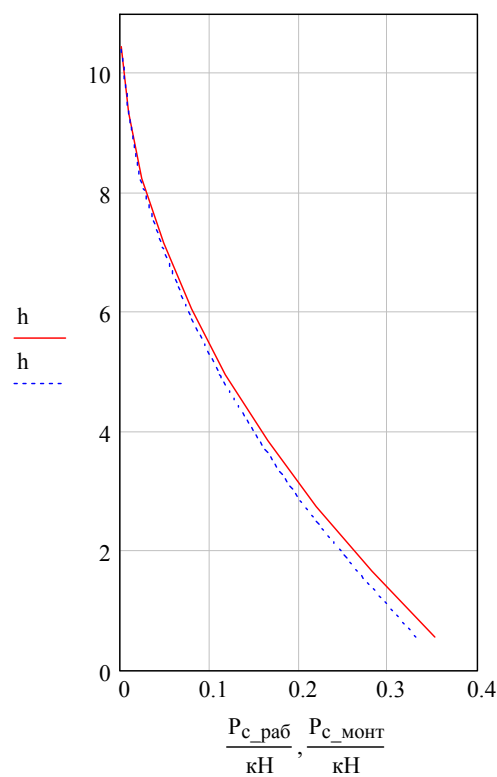


Рисунок 4.8 – Действующая сила от ветровой нагрузки

Изгибающий момент от действия сейсмической нагрузки при монтаже и в рабочих условиях

$$M_{c_монт} := \sum_i P_{c_монт_i} \cdot x_i = 0,0100 \text{ МН} \cdot \text{м};$$

$$M_{c_paб} := \sum_i P_{c_paб_i} \cdot x_i = 0,0107 \text{ МН} \cdot \text{м}.$$

4.7 Подбор и расчет опоры

Для проектируемого аппарата выбираем опору тип 1 по ОСТ 26-467-84. Конструкция опоры приведена на рисунке 5.10.

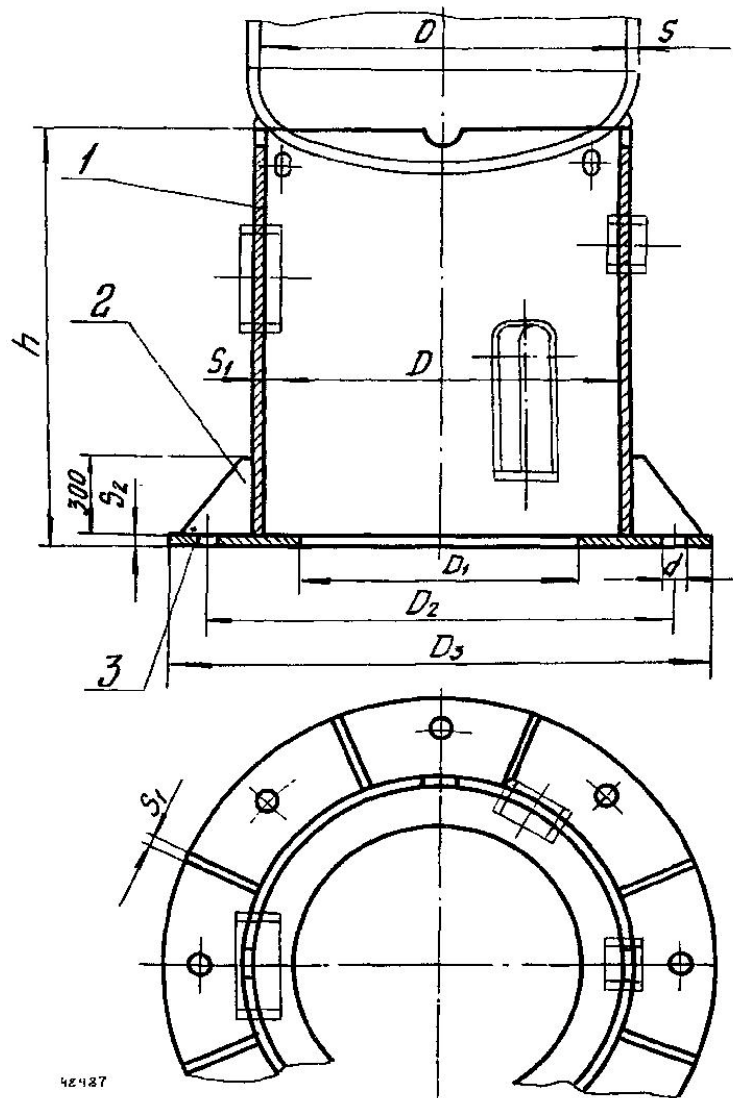


Рисунок 4.9 – Опора цилиндрическая с местными косынками:

1 – обечайка; 2 – косынка; 3 – кольцо нижнее

Суммарный изгибающий момент от действия ветровой и сейсмической нагрузки

$$M_{\text{монт}} := M_{\text{в_монт}} + M_{\text{с_монт}} = 0,0955 + 0,0100 = 0,1055 \text{ МН}\cdot\text{м}; \quad (4.52)$$

$$M_{\text{раб}} := M_{\text{в_раб}} + M_{\text{с_раб}} = 0,0956 + 0,0107 = 0,1062 \text{ МН}\cdot\text{м}. \quad (4.53)$$

Максимальный изгибающий момент

$$M_{\max} := \max(M_{\text{монт}}, M_{\text{раб}}) = \max(0,1055; 0,1062) = 0,1062 \text{ МН}\cdot\text{м}. \quad (4.54)$$

Минимальный изгибающий момент

$$M_{\min} := \min(M_{\text{монт}}, M_{\text{раб}}) = \min(0,1055; 0,1062) = 0,1055 \text{ МН}\cdot\text{м}. \quad (4.55)$$

Максимальный вес аппарата

$$G_{\max} := \max(G_{\text{монт}}, G_{\text{раб}}) = \max(0,0179; 0,0190) = 0,0190 \text{ МН}. \quad (4.56)$$

Минимальный изгибающий момент

$$G_{\min} := \min(G_{\text{монт}}, G_{\text{раб}}) = \min(0,0179; 0,0190) = 0,0179 \text{ МН}. \quad (4.57)$$

Условный диаметр опоры равен диаметру аппарата. Остальные размеры выбранной опоры в соответствии с ОСТ:

- внутренний диаметр опорного кольца $D_2 = 550 \text{ мм}$;
- наружный диаметр опорного кольца $D_1 = 800 \text{ мм}$;
- диаметр болтовой окружности $D_6 = 720 \text{ мм}$;
- толщина обечайки опоры $s_{\text{оп}} = 6 \text{ мм}$;
- толщина опорного кольца $s_k = 20 \text{ мм}$.

Ширина внутреннего ребра

$$l_{\text{вн}} = \frac{D_{\text{оп}} - D_2}{2} = \frac{0,600 - 0,550}{2} = 0,025 \text{ м}. \quad (4.58)$$

Ширина наружного ребра

$$l_{\text{нар}} = \frac{D_1 - D_{\text{оп}} - 2s_{\text{оп}}}{2} = \frac{0,800 - 0,600 - 2 \cdot 0,006}{2} = 0,094 \text{ м}. \quad (4.59)$$

Опорная площадь кольца

$$F := \frac{\pi}{4} \cdot (D_1^2 - D_2^2) = \frac{3,14}{2} (0,800^2 - 0,550^2) = 1,991 \text{ м}^2. \quad (4.60)$$

Момент сопротивления опорной площади кольца

$$W := \frac{\pi}{32} \cdot \frac{D_1^4 - D_2^4}{D_1} = \frac{3,14}{32} \frac{0,800^4 - 0,550^4}{0,800} = 0,417 \text{ м}^3. \quad (4.61)$$

Максимальное напряжение сжатия на опорной поверхности кольца

$$\sigma := \frac{G_{\max}}{F} + \frac{M_{\max}}{W} = \frac{0,0190}{1,991} + \frac{0,1062}{0,417} = 0,264 \text{ МПа.} \quad (4.62)$$

Следовательно, фундамент для аппарата должен быть изготовлен бетона марки 200, для которого допускаемое напряжение [25]

$$\sigma_{\text{дф}} := 14 \text{ МПа.}$$

Допускаемое напряжение на изгиб для материала опоры

$$\sigma_{\text{ид}} := 450 \text{ МПа.}$$

Номинальная расчетная толщина опорного кольца

$$s_k := 1,73 \cdot l_{\text{нар}} \cdot \sqrt{\frac{\sigma}{\sigma_{\text{ид}}}} = 1,73 \cdot 0,094 \cdot \sqrt{\frac{0,264}{450}} = 18,6 \text{ мм.} \quad (4.63)$$

Опора изготавливается с толщиной кольца $s_k = 20$ мм, следовательно, она удовлетворяет условию прочности. Наибольшее напряжение на опорной поверхности кольца

$$\sigma_{x1} := \frac{G_{\max}}{F} - \frac{M_{\max}}{W} = \frac{0,0190}{1,991} - \frac{0,1062}{0,417} = -2,650 \text{ МПа;} \quad (4.64)$$

$$\sigma_{x2} := \frac{G_{\min}}{F} - \frac{M_{\min}}{W} = \frac{0,0179}{1,991} - \frac{0,1055}{0,417} = -2,636 \text{ МПа.} \quad (4.65)$$

Поскольку расчетные значения меньше 0, то аппарат является неустойчивым, необходима установка фундаментных болтов. Расчетное напряжение для болтов

$$\sigma_{\text{б}} := \max(|\sigma_{x1}|, |\sigma_{x2}|) = \max(|-2,650|; |-2,636|) = 2,650 \text{ МПа.} \quad (4.66)$$

Общая условная расчетная нагрузка на фундаментные болты

$$P_{\text{б}} := \frac{\pi}{4} \cdot (D_1^2 - D_2^2) \cdot \sigma_{\text{б}} = \frac{3,14}{4} (0,800^2 - 0,550^2) \cdot 2,650 = 0,702 \text{ МН.} \quad (4.67)$$

Количество болтов определяется конструктивно

$$z_{\text{б}} = 6.$$

Нагрузка на один болт

$$P_{\text{б1}} := \frac{P_{\text{б}}}{z} = 0,702 / 6 = 0,117 \text{ МН.} \quad (4.68)$$

Допускаемое напряжение для материала болтов

$$[\sigma]_{\text{б}} = 350 \text{ МПа.}$$

Прибавка на коррозию для болтов

$$c_{кб} = 2 \text{ мм.}$$

Расчетный диаметр резьбы болта

$$d_6 := \sqrt{\frac{4P_{61}}{\pi \sigma_{6д}}} + c_{кб} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,117}{3,14 \cdot 350}} + 2,0 = 22,6 \text{ мм.} \quad (4.69)$$

Принимаем диаметр фундаментных болтов $d_6 = 24$ мм. Расчетный диаметр болтовой окружности при $d_6 > 20$ мм

$$D_6 := D + 2s + 4d_6 = 0,600 + 2 \cdot 0,006 + 4 \cdot 0,024 = 0,708 \text{ мм.} \quad (4.70)$$

Фактический диаметр болтовой окружности удовлетворяет условию установки опоры $D_6 = 720$ мм. Минимальный наружный диаметр опоры

$$D_1 := D_6 + 3d_6 = 0,720 + 3 \cdot 0,024 = 0,792 \text{ мм.} \quad (4.71)$$

Фактический диаметр опоры удовлетворяет условию устойчивости.

4.8 Расчет характеристик опасных сечений

Опора приваривается к корпусу аппарата. Прочность сварных швов должна удовлетворять условию [25]

$$\max(G_{\text{раб}}, G_{\text{монт}}) \leq 0,7 L_{\text{ш}} h_{\text{ш}} \tau_{\text{сд}}, \quad (4.72)$$

где $L_{\text{ш}}$ – общая длина сварного шва

$$L_{\text{ш}} = \pi D = 3,14 \cdot 0,600 = 1,88 \text{ м;} \quad (4.73)$$

$h_{\text{ш}}$ – катет сварного шва, принимаем равным толщине стенки опоры

$$h_{\text{ш}} = s_{\text{оп}} = 6 \text{ мм;}$$

$\tau_{\text{сд}}$ – допустимое напряжение сдвига, $\tau_{\text{сд}} = 120$ МПа.

Допустимая нагрузка на опору

$$G_{\text{д}} = 0,7 \cdot 1,88 \cdot 0,006 \cdot 120 = 0,950 \text{ МН.}$$

Фактическая нагрузка на опору

$$G_{\text{ф}} = \max(G_{\text{монт}}, G_{\text{раб}}) = \max(0,0179; 0,0190) = 0,0190 \text{ МН.} \quad (4.74)$$

Условие прочности сварного шва

$$G_{\text{ф}} < G_{\text{д}} = 0,0190 < 0,9500. \quad (4.75)$$

Сварной шов удовлетворяет условию прочности.

Расчет поперечного сечения корпуса в месте присоединения опорной обечайки. Приведенное напряжение от внутреннего давления

$$\sigma_n := \frac{p_p \cdot [D_B + (s - c)]}{2 \cdot \varphi \cdot (s - c)} = \frac{0,300 \cdot [0,600 + (10,00 - 2,30)]}{2 \cdot 1,0 \cdot (10,00 - 2,30)} = 11,8 \text{ МПа.} \quad (4.76)$$

Допускаемое напряжение из условия устойчивости обечайки, работающей под совместным действием внутреннего давления, осевой силы, изгибающего и крутящего момента

$$\sigma_{\max} := 0,87 \cdot \sigma_d \cdot \sqrt{1,2 - \left(\frac{\sigma_n}{\sigma_d} \right)^2} = 0,87 \cdot 163,5 \cdot \sqrt{1,2 - \left(\frac{11,8}{163,5} \right)^2} = 155,4 \text{ МПа.} \quad (4.77)$$

Осевой момент сопротивления сечения колонны

$$W_{об} := \frac{\pi \cdot (D_B + s)^2 \cdot (s - c)}{4} = \frac{3,14 \cdot (0,600 + 10,00)^2 \cdot (10,00 - 2,30)}{4} = 2,250 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3. \quad (4.78)$$

Напряжение изгиба от внешнего изгибающего момента

$$\sigma_{и} := \frac{M_{\max}}{W} = \frac{0,1062}{2,250 \cdot 10^{-3}} = 47,209 \text{ МПа.} \quad (4.79)$$

Напряжение кручения в обечайке от внешнего крутящего момента

$$\tau_k := \frac{2M_k}{W}, \quad (4.80)$$

где M_k – крутящий момент, принимаем $M_k = 0$, соответственно $\tau_k = 0$.

Напряжение сжатия в обечайке от внешней осевой силы

$$\begin{aligned} \sigma_{сж} &:= \frac{G_{\max}}{\pi \cdot (D_B + s) \cdot (s - c)} = \\ &= \frac{0,0190}{3,14 \cdot (0,600 + 10,00) \cdot (10,00 - 2,30)} = 1,286 \text{ МПа.} \end{aligned} \quad (4.81)$$

Эквивалентное напряжение в самом нагруженном сечении обечайки (куб колонны)

$$\begin{aligned} \sigma_{\text{э}} &:= \sqrt{(\sigma_{сж} + 0,8\sigma_{и})^2 + 3\tau_k^2} = \\ &= \sqrt{(1,286 + 0,8 \cdot 47,209)^2 + 3 \cdot 0,0^2} = 39,053 \text{ МПа.} \end{aligned} \quad (4.82)$$

Условие устойчивости сечения обечайки

$$\sigma_3 < \sigma_{\max} = 39,053 < 155,4. \quad (4.83)$$

Условие устойчивости выполняется.

Расчет поперечного сечения опорной обечайки в месте присоединения нижнего опорного кольца. Приведенное напряжение от внутреннего давления

$$\sigma_n := \frac{p_p \cdot [D_B + (s - c)]}{2 \cdot \varphi \cdot (s - c)} = \frac{0,000 \cdot [0,600 + (6,00 - 0,50)]}{2 \cdot 1,0 \cdot (6,00 - 0,50)} = 0,0 \text{ МПа}. \quad (4.84)$$

Допускаемое напряжение из условия устойчивости обечайки, работающей под совместным действием внутреннего давления, осевой силы, изгибающего и крутящего момента

$$\sigma_{\max} := 0,87 \cdot \sigma_d \cdot \sqrt{1,2 - \left(\frac{\sigma_n}{\sigma_d} \right)^2} = 0,87 \cdot 163,5 \cdot \sqrt{1,2 - \left(\frac{0}{163,5} \right)^2} = 155,8 \text{ МПа}. \quad (4.85)$$

Осевой момент сопротивления сечения обечайки опоры

$$\begin{aligned} W_{об} &:= \frac{\pi \cdot (D_B + s)^2 \cdot (s - c)}{4} = \\ &= \frac{3,14 \cdot (0,600 + 6,00)^2 \cdot (6,00 - 0,50)}{4} = 1,586 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3. \end{aligned} \quad (4.86)$$

Напряжение изгиба от внешнего изгибающего момента

$$\sigma_{и} := \frac{M_{\max}}{W} = \frac{0,1062}{1,586 \cdot 10^{-3}} = 66,97 \text{ МПа}. \quad (4.87)$$

Напряжение кручения в обечайке от внешнего крутящего момента

$$\tau_K := \frac{2M_K}{W}, \quad (4.88)$$

где M_K – крутящий момент, принимаем $M_K = 0$, соответственно $\tau_K = 0$.

Напряжение сжатия в обечайке от внешней осевой силы

$$\begin{aligned} \sigma_{сж} &:= \frac{G_{\max}}{\pi \cdot (D_B + s) \cdot (s - c)} = \\ &= \frac{0,0190}{3,14 \cdot (0,600 + 10,00) \cdot (10,00 - 2,30)} = 1,286 \text{ МПа}. \end{aligned} \quad (4.89)$$

Эквивалентное напряжение в самом нагруженном сечении обечайки (куб колонны)

$$\sigma_{\Sigma} := \sqrt{(\sigma_{сж} + 0.8\sigma_{и})^2 + 3\tau_{к}^2} = \quad (4.90)$$

$$= \sqrt{(1,286 + 0,8 \cdot 66,97)^2 + 3 \cdot 0,0^2} = 55,39 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{\Sigma} < \sigma_{\max} = 55,39 < 155,8. \quad (4.91)$$

Условие устойчивости сечения обечайки опоры выполняется.

4.9 Расчет укрепления отверстий

Отверстия в корпусе колонны ослабляют прочность аппарата, поэтому отверстия необходимо укреплять. Выполним расчет укрепления отверстия в обечайке аппарата [25]. Исходные данные к расчёту:

- диаметр обечайки $D_B = 600$ мм, толщина стенки $s = 10$ мм;
- расчетная толщина обечайки $s = 0,55$ мм, $c_K = 1,5$ мм;
- диаметр укрепляемого отверстия $d = 200$ мм.

Проверка применимости методики [25, ф. 18.1]

$$\frac{d}{D_B} = \frac{200}{600} = 0,333 < 0,6; \quad \frac{s}{D_B} = \frac{10}{600} = 0,017 < 0,05. \quad (4.92)$$

Оба условия выполняются, поэтому методику [25] можно применять. Наибольший допустимый диаметр одиночного отверстия в стенке, не требующий дополнительного укрепления

$$d_{\max} := 2 \cdot \left[\left(\frac{s - c_K}{s_p} - 0,8 \right) \cdot \sqrt{D_B \cdot (s - c_K)} - c_K \right] = \quad (4.93)$$

$$= 2 \cdot \left(\left(\frac{10,00 - 1,50}{0,55} - 0,8 \right) \sqrt{600 \cdot (10,00 - 1,50)} - 1,50 \right) = 2090 \text{ мм}.$$

Следовательно, укреплять отверстия нет необходимости.

4.10 Расчет фланцевого соединения

Принимаем фланцы по ГОСТ 12821-80 «Фланцы стальные приварные встык» на P_y от 0,1 до 20,0 МПа [25]. Схема к расчету приведена на рисунке 4.10

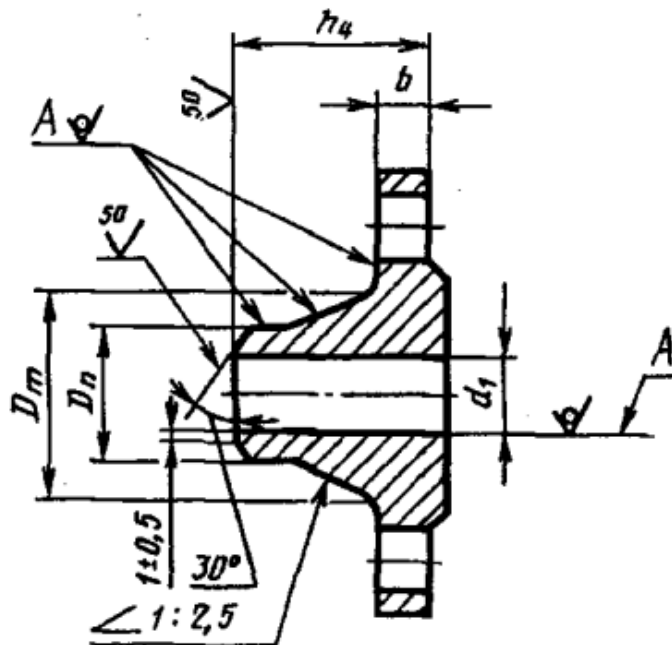


Рисунок 4.10 – Расчетная схема фланца стального приварного встык

Для уплотнения фланцевых соединений используется различная обтюрация. В соответствии с [25, табл. 20.1] для всех штуцеров выбираем однотипное соединение типа III-A с прокладкой прямоугольного сечения в конструкции «шип-паз». Обтюрация предназначена для агрессивных, токсичных, взрывопожароопасных сред при давлении до 40 МПа и температуре до 540 °С. Прокладки типа I, изготавливаем из паронита, допускающего работу до 10 МПа и при температуре от -200 °С до 400 °С [25, табл. 20.2].

Рассчитаем подробно штуцер ввода флегмы. Исходные данные для расчета:

- расчётное давление среды в аппарате $p_p = 0,300$ МПа;
- максимальная температура среды $t_c = 220$ °С;
- условный диаметр штуцера 25 мм.

Для обтюрации выбираем ширину прокладки для уплотнения типа 1 при давлении до 10 МПа $b = 5$ мм.

Эффективная ширина уплотнения для прокладки прямоугольного сечения (тип 1) при конструктивной ширине прокладки до 15 мм [25, табл. 20.27]

$$b_9 := b = 5 \text{ мм.} \quad (4.94)$$

Удельная нагрузка и коэффициент, зависящий от материала и конструкции прокладки (для плоской неметаллической прокладки из паронита) [25, табл. 20.28]

$$q := 20 \text{ МПа}; k := 2.5. \quad (4.95)$$

Патрубок изготавливается из трубы

$$d_{\text{п}} = 25 \text{ мм}; s_{\text{п}} = 2,5 \text{ мм}.$$

Наружный диаметр патрубка

$$d_{\text{нп}} := d_{\text{п}} + 2s_{\text{п}} = 25 + 2 \cdot 2,5 = 30 \text{ мм}. \quad (4.96)$$

Принимаем внутренний диаметр фланца

$$D_{\text{в}} := d_{\text{нп}} + 1 \text{ мм} = 30 + 1 = 31 \text{ мм}. \quad (4.97)$$

Конструктивная прибавка для размещения уплотнительной поверхности для обтюрации типа III при внутреннем диаметре фланца до 50 мм [25, табл. 20.22]

$$a = 4 \text{ мм}.$$

Внутренний диаметр прокладки

$$D_{\text{пв}} := D_{\text{в}} + 2a = 31 + 4 = 35 \text{ мм}. \quad (4.98)$$

Наружный диаметр прокладки

$$D_{\text{нп}} := D_{\text{пв}} + 2b = 35 + 2 \cdot 5 = 45 \text{ мм}. \quad (4.99)$$

Средний диаметр уплотнения

$$D_{\text{н}} := D_{\text{нп}} - b = 45 - 5 = 40 \text{ мм}. \quad (4.100)$$

Расчетная сила осевого сжатия для прокладки типа 1 в обтюрации типа III при давлении менее 10 МПа [25, ф. 20.1]

$$\begin{aligned} P_{\text{н}} &:= \pi \cdot D_{\text{н}} \cdot b_{\text{э}} \cdot k \cdot p_{\text{р}} = \\ &= 3,14 \cdot 40 \cdot 0,005 \cdot 2,5 \cdot 0,300 = 5,419 \cdot 10^{-4} \text{ МН}. \end{aligned} \quad (4.101)$$

Расчетная сила от давления среды в круглых фланцевых соединениях

$$P_{\text{с}} := \frac{\pi}{4} \cdot D_{\text{н}}^2 \cdot p_{\text{р}} = \frac{3,14}{4} \cdot 40^2 \cdot 0,300 = 4,986 \cdot 10^{-4} \text{ МН}. \quad (4.102)$$

Константа жесткости соединения, из справочных данных при плоской неметаллической прокладке [25, ф. 21.3] $\alpha = 1,45$. Изгибающий момент от действия внешних нагрузок отсутствует

$$M_{\text{н}} = 0 \text{ МН} \cdot \text{м}.$$

Болтовая нагрузка при затяжке соединения для наружного фланцевого соединения при давлении среды до 10 МПа без самоуплотнения [25, ф. 21.1, 21.2]

$$P_{\delta 1} := \left(\frac{\alpha \cdot P_c + P_n + \frac{4M_{\text{и}}}{D_n}}{\frac{\pi \cdot D_n \cdot b_{\text{э}} \cdot q}{2}} \right) = \quad (4.103)$$

$$= \left(\frac{1,45 \cdot 4,986 \cdot 10^{-4} + 5,419 \cdot 10^{-4} \frac{4 \cdot 0}{0,046}}{\frac{3,14 \cdot 0,046 \cdot 0,005 \cdot 20,0}{2}} \right) = \left(\frac{1,265 \cdot 10^{-3}}{7,226 \cdot 10^{-3}} \right) \text{ МН};$$

$$P_{\delta 1} := \max(P_{\delta 1}) = \max \left(\frac{1,265 \cdot 10^{-3}}{7,226 \cdot 10^{-3}} \right) = 7,226 \cdot 10^{-3} \text{ МН}. \quad (4.104)$$

Болтовая нагрузка при рабочих условиях [25, ф. 21.3]

$$P_{\delta 2} := P_c + P_n + \frac{4M_{\text{и}}}{D_n} = \quad (4.105)$$

$$= 4,986 \cdot 10^{-4} + 5,419 \cdot 10^{-4} + \frac{4 \cdot 0}{0,046} = 1,040 \cdot 10^{-3} \text{ МН}.$$

Максимальная болтовая нагрузка

$$P_{\delta} := \left(\begin{matrix} P_{\delta 1} \\ P_{\delta 2} \end{matrix} \right) = \max \left(\begin{matrix} 7,226 \cdot 10^{-3} \\ 1,040 \cdot 10^{-3} \end{matrix} \right) = 7,226 \cdot 10^{-3} \text{ МН}. \quad (4.106)$$

Рабочая температура болтов в соединениях, работающих при температуре выше окружающей среды для сквозных шпилек в соединении с цельными фланцами [25, табл. 21.5]

$$t_{\delta} := 0,95t_c = 0,95 \cdot 220 = 209 \text{ }^{\circ}\text{C}. \quad (4.107)$$

Допускаемое напряжение на растяжение материала болтов из стали 35 при рабочей температуре определяем по графику [25, рис. 21.3]

$$\sigma_{\delta} := 120 \text{ МПа}; \sigma_{\delta 20} := 130 \text{ МПа}.$$

При известном диаметре уплотнения для круглых наружных фланцев определяем условие

$$x_1 := \frac{P_{\delta}}{\sigma_{\delta}} \cdot \frac{\text{МПа}}{\text{МН}} = 7,226 \cdot 10^{-3} / 120 = 6,021 \cdot 10^{-5}; \quad (4.108)$$

$$x_2 := 0,0192 \cdot \frac{D_n}{m} + 9,2 \cdot 10^{-4} = 0,0192 \cdot 0,046 + 9,2 \cdot 10^{-4} = 1,803 \cdot 10^{-3}. \quad (4.109)$$

Проверка условия выбора формулы

$$x_1 < x_2 = 1.$$

Выбираем диаметр болтов по таблице [25, табл. 21.6]

$$x_2 / x_1 = 1,803 \cdot 10^{-3} / 6,021 \cdot 10^{-5} = 29,9 > 8,3;$$

$$d_6 = 10 \text{ мм.}$$

Коэффициент, учитывающий дополнительные напряжения в болтах диаметром менее 24 мм на кручение при затяжке соединения из таблицы [25, табл. 21.6] $K = 0,3$.

Площадь поперечного сечения болта M10×1,5 по таблице [25, табл. 21.1]

$$F_6 = 0,509 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2.$$

Расчетное количество болтов исходя из затяжки соединения

$$z := \frac{P_6}{K \cdot \sigma_6 \cdot F_6} = \frac{7,226 \cdot 10^{-3}}{0,3 \cdot 120 \cdot 0,509 \cdot 10^{-4}} = 3,9. \quad (4.110)$$

Принимаем число болтов кратное четырем $z = 4$. Диаметр болтовой окружности для круглых наружных фланцев со сквозными болтами

$$a_6 := 15 \text{ мм}; D_6 := D_{\text{нп}} + d_6 + a_6 = 51 + 10 + 15 = 76 \text{ мм.} \quad (4.111)$$

Принимаем $D_6 = 75$ мм. Расчёт других штуцеров выполняется аналогично.

4.11 Расчет тарелки на прочность и жесткость

Тарелки аппарата испытывают вертикальную нагрузку от собственного веса и от веса находящейся на них жидкости.

Определим расчетную толщину тарелки и необходимость установки укрепляющего каркаса.

Выбираем предварительно тарелку облегченной конструкции [25, табл. 24.1]:

- диаметр тарелки $D_T = 580$ мм;
- масса пустой тарелки с колпачками $m_T = 17,5$ кг;
- толщина полотна тарелки $s_T = 2,5$ мм;

- диаметр отверстий под патрубки колпачков $d = 52$ мм;
- расстояние между центрами отверстий $t = 110$ мм;
- плотность жидкости на тарелке $\rho_{\text{ж}} = 750$ кг/м³;
- высота слоя жидкости на тарелке $h_{\text{ж}} = 30$ мм.

Вес жидкости, которая находится на тарелке

$$Q_{\text{ж}} := \frac{\pi \cdot D_{\text{T}}^2}{4} \cdot h_{\text{ж}} \cdot \rho_{\text{ж}} \cdot g = \frac{3,14 \cdot 0,580^2}{4} \cdot 0,030 \cdot 750 \cdot 9,81 = 58,3 \text{ Н.} \quad (4.112)$$

Вес полотна тарелки

$$Q_{\text{T}} := m_{\text{T}} \cdot g = 17,5 \cdot 9,81 = 171,6 \text{ Н.} \quad (4.113)$$

Нагрузка на полотно тарелки

$$Q := Q_{\text{T}} + Q_{\text{ж}} = 171,6 + 58,3 = 229,9 \text{ Н.} \quad (4.114)$$

Равномерная нагрузка на единицу площади тарелки

$$p := \frac{4Q}{\pi \cdot D_{\text{T}}^2} = \frac{4 \cdot 229,9}{3,14 \cdot 0,580^2} = 870 \text{ Па.} \quad (4.115)$$

Коэффициент ослабления тарелки отверстиями

$$\varphi := \frac{t - d}{t} = \frac{110 - 52}{110} = 0,527. \quad (4.116)$$

Допускаемое напряжение на изгиб для материала тарелки $\sigma_{\text{ид}} = 200$ МПа. Номинальная расчётная толщина плоской цельной круглой тарелки, опирающейся по окружности на опорное устройство и не имеющей дополнительных опор в виде ребер, балок определяется по формуле [25, ф. 24.1]

$$\begin{aligned} s_{\text{тр}} &:= 0,45 D_{\text{T}} \cdot \sqrt{\frac{p}{\sigma_{\text{ид}} \cdot \varphi}} = \\ &= 0,45 \cdot 580 \cdot \sqrt{\frac{870}{200 \cdot 10^5 \cdot 0,527}} = 0,75 \text{ мм.} \end{aligned} \quad (4.117)$$

Выбранная облегченная тарелка толщиной $s_{\text{T}} = 2,5$ удовлетворяет условию прочности.

Определим фактический прогиб тарелки. Коэффициент Пуассона, для стали

$$\mu = 0,3.$$

Модуль продольной упругости, принимаем для стали

$$E = 2,1 \cdot 10^5 \text{ МПа.}$$

Цилиндрическая жесткость

$$N := \frac{E \cdot s_T^3}{12 \cdot (1 - \mu^2)} = \frac{2,1 \cdot 10^5 \cdot 0,0025^3}{12 \cdot (1 - 0,3^2)} = 1,502 \cdot 10^3 \text{ Нм.} \quad (4.118)$$

Радиус пластины тарелки, для тарелки из одного полотна

$$R := \frac{D_T}{2} = 0,580 / 2 = 0,290 \text{ м.} \quad (4.119)$$

Фактический прогиб в центре тарелки

$$\omega := 4,08 \cdot \frac{p \cdot R^4}{64N} = 4,08 \cdot \frac{870 \cdot 0,290^4}{64 \cdot 1,502 \cdot 10^3} = 0,261 \text{ мм.} \quad (4.120)$$

Максимально допустимый прогиб тарелки

$$D_T / 2000 = 580 / 2000 = 0,290 \text{ мм.} \quad (4.121)$$

Отношение диаметра к прогибу

$$D_T / \omega = 580 / 0,261 = 2221. \quad (4.122)$$

Установка дополнительных ребер не требуется.

4.12 Расчет фланца царги

4.12.1 Определение геометрических размеров

Для соединения элементов корпуса между собой выбираем фланцы, приварные встык (см. рисунок 5.12). Тип обтюрации – «выступ-впадина». Расчет выполнен с использованием программы MathCAD. Далее приводится алгоритм расчета и основные результаты. Программа приведена в приложении Б.

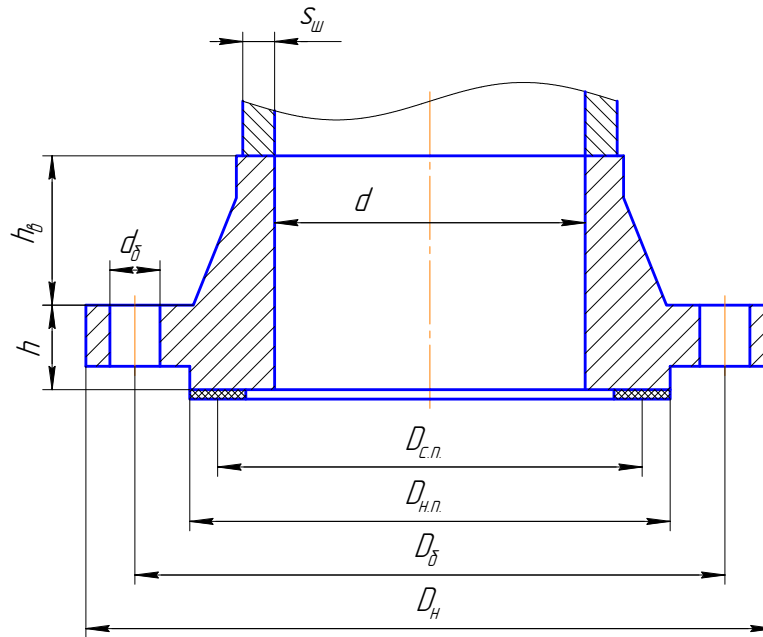


Рисунок 4.11 – Рисунок к прочностному расчету фланца царги

Расчетная температура фланцев

$$t_{\phi} := 0.96 \cdot t; t_{\phi} = 211.20 \text{ K} .$$

Расчетная температура болтов фланцев

$$t_b := 0.95 \cdot t; t_b = 209.00 \text{ K} .$$

Допускаемое напряжение болтов при такой температуре составит

$$\sigma_{D_b} := 126 \text{ МПа}.$$

Толщина втулки фланца s_0 (не меньше, чем толщина стенки обечайки)

$$s_0 := 12 \text{ мм}.$$

Высота втулки фланца

$$h_b := 0.5 \cdot \sqrt{D \cdot (s_0 - c)}; h_b = 38.14 \text{ мм}.$$

Принятая высота втулки фланца

$$h_b := 35 \text{ мм}.$$

Рекомендуемый наружный диаметр болтов для проектируемого фланца

$$d_b := 22 \text{ мм}.$$

Нормативный зазор между гайкой и втулкой

$$u := 15 \text{ мм}.$$

Диаметр болтовой окружности фланцев

$$D_{\text{б}} := D + 2 \cdot (s_0 + d_{\text{б}} + u); D_{\text{б}} = 698 \text{ мм}$$

Принимаем диаметр болтовой окружности

$$D_{\text{б}} := 700 \text{ мм.}$$

Конструктивная добавка для размещения гаек по периметру

$$a := 40 \text{ мм.}$$

Наружный диаметр фланца

$$D_{\text{н}} := D_{\text{б}} + a; D_{\text{н}} = 740.00 \text{ мм.}$$

Нормативный параметр, зависящий от типа прокладки, для плоских прокладок и принятого диаметра болтов

$$e := 35 \text{ мм.}$$

Наружный диаметр прокладки

$$D_{\text{нп}} := D_{\text{б}} - e; D_{\text{нп}} = 665.00 \text{ мм.}$$

Принимаем для зазора обтюрации

$$D_{\text{нп}} := 663 \text{ мм.}$$

Ширина прокладки обтюрации для плоских металлических прокладок

$$b := 13 \text{ мм.}$$

Средний диаметр прокладки

$$D_{\text{сп}} := D_{\text{нп}} - b; D_{\text{сп}} = 650.00 \text{ мм.}$$

Рекомендуемый шаг расположения болтов

$$t_{\text{ш}} := 75 \text{ мм.}$$

Минимальное количество болтов, необходимое для обеспечения герметичности соединения

$$n_{\text{б}} := \frac{\pi \cdot D_{\text{б}}}{t_{\text{ш}}}; n_{\text{б}} = 29.32 .$$

Принимаем число болтов, кратное четырём $n_{\text{б}} = 32$. Коэффициенты для определения ориентировочной высоты фланца

$$\lambda_{\text{ф}} := 0.47; \beta_1 := 1.51;$$

Эквивалентная толщина втулки

$$s_{\text{ЭК}} := s_0 \cdot \left[1 + \frac{h_B \cdot (\beta_1 - 1)}{h_B + 0.25 \cdot (\beta_1 + 1) \cdot \sqrt{D \cdot s_0}} \right]; s_{\text{ЭК}} = 14.43 \text{ мм}$$

Ориентировочная высота фланца

$$h_{\text{Ф}} := \lambda_{\text{Ф}} \cdot \sqrt{D \cdot s_{\text{ЭК}}}; h_{\text{Ф}} = 43.73 \text{ мм.}$$

Принятая высота фланца

$$h_{\text{Ф}} := 45 \cdot \text{мм.}$$

4.12.2 Определение болтовой нагрузки в условиях монтажа

Эквивалентная ширина прокладки

$$b_0 := b; b_0 = 13.00 \text{ мм.}$$

Коэффициент жесткости прокладки

$$K_{\text{пр}} := 4.0.$$

Равнодействующая внутреннего давления

$$F_{\text{д}} := p_{\text{р}} \cdot \pi \cdot \frac{D_{\text{сп}}^2}{4}; F_{\text{д}} = 0.10 \text{ МН.}$$

Реакция прокладки

$$R_{\text{п}} := \pi \cdot D_{\text{сп}} \cdot b_0 \cdot K_{\text{пр}} \cdot p_{\text{р}}; R_{\text{п}} = 0.03 \text{ МН.}$$

Коэффициент линейности прокладки

$$k_{\text{п}} := 1.0.$$

Высота прокладки

$$h_{\text{п}} := 1.2 \cdot \text{мм.}$$

Модуль Юнга для материала прокладки

$$E_{\text{п}} := 0.694 \text{ МПа.}$$

Линейная податливость неметаллической прокладки

$$y_{\text{п}} := \frac{k_{\text{п}} \cdot h_{\text{п}}}{\pi \cdot E_{\text{п}} \cdot D_{\text{сп}} \cdot b}; y_{\text{п}} = 65.14 \frac{\text{мм}}{\text{МН.}}$$

Определение угловой податливости фланца. Коэффициенты отношения диаметра аппарата и наружного диаметра фланца

$$\psi_1 := 1.28 \cdot \log\left(\frac{D_H}{D}\right); \psi_1 = 0.12 ;$$

$$\psi_2 := \frac{D_H + D}{D_H - D}; \psi_2 = 9.57 ;$$

$$\lambda_{\phi 2} := \frac{h_{\phi}}{\sqrt{D \cdot s_{\text{ЭК}}}}; \lambda_{\phi 2} = 0.48 ;$$

$$\nu := \frac{1}{1 + 0.9 \cdot \lambda_{\phi 2} \cdot \left[1 + \psi_1 \cdot \left(\frac{h_{\phi}}{s_{\text{ЭК}}} \right)^2 \right]}; \nu = 0.52 .$$

Модуль упругости материала фланца

$$E_{\phi} := 2 \cdot 10^5 \text{ МПа.}$$

Угловая податливость фланца

$$y_{\phi} := \frac{1 + \nu \cdot (1 + 0.9 \cdot \lambda_{\phi 2}) \cdot \psi_2}{h_{\phi}^3 \cdot E_{\phi}}; y_{\phi} = 4.46 \times 10^{-4} \frac{1}{\text{МН} \cdot \text{мм}}.$$

Определение линейной податливости болтов. Расчетная длина болтов

$$l_{\text{б0}} := 2 \cdot (h_{\phi} + h_{\text{п}}); l_{\text{б0}} = 92.40 \text{ мм.}$$

Принятая длина болтов $l_{\text{б0}} = 100$ мм. Расчетная длина болтов с учетом длины свинчивания

$$l_{\text{б}} := l_{\text{б0}} + 0.28 \cdot d_{\text{б}}; l_{\text{б}} = 106.16 \text{ мм.}$$

Принятая длина болтов с учетом длины свинчивания

$$l_{\text{б}} := 110 \text{ мм.}$$

Модуль упругости материала болтов

$$E_{\text{б}} := 1.91 \cdot 10^5 \text{ МПа.}$$

Площадь поперечного сечения болтов

$$f_{\text{б}} := \pi \frac{d_{\text{б}}^2}{4}; f_{\text{б}} = 380.13 \text{ мм}^2.$$

Линейная податливость болтов

$$y_{\text{б}} := \frac{l_{\text{б}}}{E_{\text{б}} \cdot f_{\text{б}} \cdot n_{\text{б}}}; y_{\text{б}} = 0.05 \frac{\text{мм}}{\text{МН}}.$$

Коэффициент жесткости фланцевого соединения

$$K_{\text{ж}} := \frac{y_{\text{б}} + 0.5 \cdot y_{\text{ф}} \cdot (D_{\text{б}} - D - s_{\text{эк}}) \cdot (D_{\text{б}} - D_{\text{сп}})}{y_{\text{п}} + y_{\text{б}} + 0.5 \cdot y_{\text{ф}} \cdot (D_{\text{б}} - D_{\text{сп}})^2}; K_{\text{ж}} = 0.02.$$

Внешняя осевая сила и внешний изгибающий момент для самого нагруженного нижнего фланца из расчета на ветровую нагрузку

$$F := -0.0190 \text{ МН}; M := 0.1062 \text{ МН} \cdot \text{м}.$$

Допускаемое давление на прокладку. Значение болтовой нагрузки в условиях монтажа (максимальное из двух)

$$F_{\text{б1}} := \left[\begin{array}{l} K_{\text{ж}} \cdot (F_{\text{д}} + F) + R_{\text{п}} + \frac{4 \cdot M}{D_{\text{сп}}} \\ 0.5 \cdot \pi \cdot D_{\text{сп}} \cdot b_0 \cdot p_{\text{пр}} \end{array} \right]; F_{\text{б1}} = \left(\begin{array}{l} 0.69 \\ 0.19 \end{array} \right) \text{ МН}; F_{\text{б1}} = 0.69 \text{ МН}.$$

4.12.3 Определение болтовой нагрузки в рабочих условиях

Коэффициент линейного расширения материала фланца и болтов

$$\alpha_{\text{ф}} := 1.2 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}; \alpha_{\text{б}} := 1.18 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}.$$

Тангенциальная составляющая усилия болтовой нагрузки в рабочих условиях

$$F_{\text{т}} := \frac{y_{\text{б}} \cdot n_{\text{б}} \cdot f_{\text{б}} \cdot E_{\text{б}} \cdot (\alpha_{\text{ф}} \cdot t_{\text{ф}} - \alpha_{\text{б}} \cdot t_{\text{б}})}{y_{\text{п}} + y_{\text{б}} + 0.5 \cdot y_{\text{ф}} \cdot (D_{\text{б}} - D_{\text{сп}})^2}; F_{\text{т}} = 1.14 \times 10^{-4} \text{ МН}.$$

Болтовая нагрузка в рабочих условиях.

$$F_{\text{б2}} := F_{\text{б1}} + (1 - K_{\text{ж}}) \cdot (F_{\text{д}} + F) + F_{\text{т}}; F_{\text{б2}} = 0.77 \text{ МН}.$$

4.12.4 Условие прочности болтов

Допускаемое напряжение материала болтов при рабочей температуре

$$\sigma_{D_{\text{б}}} := 142 \text{ МПа}; \sigma_{D_{\text{б20}}} := 147 \text{ МПа}.$$

Расчетное напряжение материала болтов при рабочей температуре

$$\sigma_6 := \frac{F_{62}}{n_6 \cdot f_6}; \sigma_6 = 62.98 \text{ МПа.}$$

Расчетное напряжение материала болтов при монтаже

$$\sigma_{620} := \frac{F_{61}}{n_6 \cdot f_6}; \sigma_{620} = 56.45 \text{ МПа.}$$

Проверка условия прочности болтов при рабочих условиях

$$\frac{\sigma_6}{\sigma_{D6}} = 44.35 \% - \text{выполняется;}$$

$$\frac{\sigma_{620}}{\sigma_{D620}} = 38.40 \% - \text{выполняется.}$$

4.12.5 Условие герметичности.

Приведенный изгибающий момент (максимальный из двух)

$$M_0 := \left[\begin{array}{c} 0.05 \cdot (D_6 - D_{сп}) \cdot F_{61} \\ 0.05 \cdot [(D_6 - D_{сп}) \cdot F_{62} + (D_{сп} - D - s_{эк}) \cdot F_d] \cdot \frac{\sigma_{D20}}{\sigma_D} \end{array} \right];$$

$$M_0 = \left(\begin{array}{c} 1.72 \\ 2.38 \end{array} \right) \text{ МН} \cdot \text{мм}; M_0 = 2.38 \text{ МН} \cdot \text{мм.}$$

Кольцевые напряжения фланца

$$\sigma_k := M_0 \cdot \left[1 - \nu \cdot (1 + 0.9 \cdot \lambda_{\phi 2}) \right] \cdot \frac{\psi_2}{D \cdot h_{\phi}^2}; \sigma_k = 4.80 \text{ МПа.}$$

Угловое перемещение фланца

$$\theta := \frac{\sigma_k \cdot D}{E_{\phi} \cdot h_{\phi}}; \theta = 3.20 \times 10^{-4} .$$

Допускаемое угловое перемещение $\theta_0 = 0,013$. Проверка условия герметичности

$$\frac{\theta}{\theta_0} = 2.46 \% - \text{выполняется.}$$

5 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ, РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

Главными задачами развития экономики на современном этапе является повышение эффективности производства, а также занятие устойчивых позиций организаций на внутреннем и международном рынках. Чем выше первый показатель и ниже второй, тем лучше и выгоднее для покупателя и производителя. Резервы улучшения этих показателей как раз и заключены в себестоимости продукции.

Себестоимость продукции организаций складывается из затрат связанных с использованием в процессе производства природных, материальных, трудовых ресурсов, основных фондов, а также затрат на реализацию продукции.

С учетом поставленной цели в курсовой работе решены задачи проведения расчета себестоимости производимой продукции после мероприятий по совершенствованию производства.

Объектом исследования является ООО «ЮРГАУС». Предметом исследования являются затраты, осуществляемые на данном предприятии, и расчет экономической эффективности предложенных мероприятий. Предмет исследования – экономические показатели, характеризующие экономическую эффективность производства на предприятии за 2015 год.

Поставленные в работе задачи решались на основе общенаучных методов – системного, логического, комплексного и сравнительного анализа и специально-научного метода – метода факторного анализа, а также анализа документов.

Методологическая основа работы: в основу исследования положены: исторический, сравнительно-правовой, формально-логический, системно-структурный, конкретно-социологический и статистический методы научного познания.

5.1 Расчет экономической эффективности производства

На предприятии внедряется проект, целью которого является замена существующего колонного оборудования, установка новых контактных

устройств. Применение проектируемого колонного аппарата позволило повысить производительность установки, обеспечить четкость ректификации и выработку продукции требуемого качества.

Задачами является расчет производственной программы, расчет капитальных вложений, расчёт показателей по труду и заработной плате, расчет расходов на содержание и эксплуатацию оборудования и общепроизводственных расходов, расчет себестоимости продукции, обоснование экономической эффективности проектного решения.

Требуемые производственные мощности для непрерывного производства рассчитываются следующим образом:

$$M = P_{\text{час}} T_{\text{эфф}} n \quad (5.1)$$

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

$T_{\text{эфф}}$ – эффективное время оборудования;

n – количество однотипного оборудования;

Производственная мощность объекта до усовершенствования:

$$M_1 = 6,5 \cdot 8000 \cdot 1 = 52000 \text{ т/год.}$$

Производственную мощность объекта (цеха) после усовершенствования рассчитываем по формуле:

$$M_2 = 10 \cdot 8000 \cdot 1 = 80000 \text{ т/год.}$$

Использование проектной мощности характеризуется выпуском продукции. Уровень этого использования определяется с учетом конкретных условий производства, ресурсов и потребностей.

При этом стремятся к возможно более полному использованию мощностей оборудования.

$$T_{\text{эфф}} = T_n - T_{\text{ППР}} - T_{\text{ТО}}, \quad (5.2)$$

где T_n – номинальный фонд работы 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);

$T_{\text{ТО}}$ – время технологических остановок.

График ППР построен в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – График ППР

Наименование Оборудования, номер позиции на технологической схеме	Дата и вид последнего ремонта (КР)	Нормативы ресурса между ремонтами и ТО, час			Нормативы простоя в ремонте и ТО, час			График ремонтов и ТО												Годовой простой в ремонте и ТО, Тпр+То, ча с	Годовой фонд рабочего времени, Тэф, часы
		КР	ТР	ТО	КР	ТР	ТО	январь	феврал ь	март	апрель	май	июнь	июль	август	сентябр ь	октябрь	ноябрь	декабрь		
Ректификационн ая колонна К-8	29.04.17	69120	2880	-	240	48	-	-	-	-	тр	-	-	-	тр	-	-	-	тр	760	8000
Дренажная емкость Е-10	29.04.17	69120	2880	-	240	48	-	-	-	-	тр	-	-	-	тр	-	-	-	тр	760	8000
Емкость исх раствора Е-7а	29.04.17	51840	-	2160	96	-	18	-	-	то	-	-	то	-	-	то	-	-	то	760	8000
Емкость растворителя Е-6	29.04.17	51840	-	-	54	8	-	-	тр	-	тр	-	тр	-	тр	-	тр	-	тр	760	8000
Теплообменник Т-18, 20	29.04.17	51840	-	-	54	8	-	-	тр	-	тр	-	тр	-	тр	-	тр	-	тр	760	8000
Насос подачи исходной смеси Н-12 (Н-13)	29.04.17	17280	1440	-	48	8	-	-	-	-	тр	-	-	-	тр	-	-	-	тр	760	8000
Насос подачи флегмы Н-10	29.04.17	17280						-	-	-	тр	-	-	-	тр	-	-	-	тр	24	8596

Баланс рабочего времени установки вычисляют исходя из данных, полученных на производстве по простою оборудования и занесённых в таблицу 5.2.

Таблица 5.2 – Расчет эффективного фонда рабочего времени основного технологического оборудования

Фонд времени	Продолжительность, дни
Календарный фонд времени	365
Регламентируемые перерывы:	
- на капитальный ремонт	20
- на текущий ремонт	12
Итого простоев на ремонт	32
Эффективный фонд времени	333

Итого получаем

$$T_{\text{эф}} = 24 \cdot 333 = 8000 \text{ час.}$$

Сводные данные по объемам продаж представлены таблице 5.3, в которой план производства продукции формируется исходя из прогнозов объемов продаж на фоне конкурирующих фирм, а также на основе сопоставления результатов

маркетинговых исследований рынка с производственными возможностями предприятия.

Производственная программа предприятия планируется на три года 2017, 2018 и 2019. Базовым годом взят 2017 год. Показатели 2018, 2019 годы рассчитаны с учетом индекса инфляции 5%.

Таблица 5.3 – Производственная программа выпуска продукции

Наименование показателя	Величина показателя по годам		
	2017	2018	2019
1. Этапы загрузки мощности, %	80%	90%	100%
2. Объем производства, тонн/год	64000	72000	80000
3. Цена за единицу продукции, руб./т.	1750	1750	1750
4. Объем продаж, тыс. руб.	112000	126000	140000

Определим сумму инвестиций для осуществления инновационного проекта. Итоговые данные обобщим в форме таблицы 5.4.

Таблица 5.4 – Объекты и направления инвестиций

Наименование объекта	Кол-во	Цена за единицу	Общая стоимость	Подробно
1. Строительство (аренда) производственных помещений, м ²	-	-	-	Новые помещения не строятся
2. Приобретение оборудования и других основных фондов, тыс. руб.	1	1870	1870	табл. 5.9
3. Расходы на монтаж и наладку оборудования, тыс. руб.	1	437	437	табл. 5.10
4. Расходы на оборотные средства	-	-	8415,2	табл. 5.11
5. Организационные расходы		130,9	130,9	7% от стр.2
6. Затраты на проектирование	1	700	700	-
Всего инвестиций	-	-	11553,1	-

Потребность в основных фондах определим в таблице 5.5.

Таблица 5.5 – Потребность в основных фондах

Основные фонды	2017		2018		2019	
	Кол- во едини ц	Общая стоимост ь	Общая потребност ь	Прирост основны х фондов	Общая потребнос ть	Приро ст основн ых фондов
Здания	1	47692738	45260408	-	45260408	-
Сооружения	1	29105032	26965812	-	26965812	-
Передаточные устройства	10	974546	682182	-	682182	-
Машины и оборудование	12	3248487	1786668	1870000	3656668	-
Измерительные регулирующие приборы	56	324849	64970	-	64970	-
Транспортные средства	2	162424	121818	-	121818	-
Прочие основные фонды	1	162424	0	-	0	-
Итого	-	81670500	74881858	-	76751858	-

Расходы на наладку и монтаж оборудования примем в размере:

- расходы на монтаж оборудования 437000 руб.
- затраты на проектирование 700000 руб.

Расходы на оборотные средства (сырье, материалы, топливо, энергия всех видов и т.д.) связаны с ростом объемов выпуска продукции (таблица 5.6).

Для реализации проекта в бизнес-плане можно предусмотреть различные источники финансирования:

- собственные средства (уставный капитал, прибыль, амортизационные отчисления, резервный фонд);
- привлеченные средства (краткосрочные и долгосрочные кредиты);
- ЛИЗИНГ.

Для осуществления проекта необходимая сумма привлеченных средств может быть получена в банке под определенные % годовых. Необходимо привести условия возврата заемных средств.

Таблица 5.6 – Потребность в оборотных средствах

Годы	Наименование оборотных средств	Объем выпуска продукции в год, нат.ед.	Норма расхода на 1 продукции, нат.ед.	Цена за единицу сырья, материалов, топлива, энергии, руб.	Кол-во оборотных средств на весь годовой выпуск, п.	Затраты на оборотные средства, руб.
2017 год						
1	Жидкое топливо для огневого нагрева	64000	200	4500	1752	7884
2	Стоимость переработанного сырья	64000	20	190	1280	243,2
3	Газообразный азот в баллонах	64000	12	1000	288	288
Итого		-	-	-	-	8415,2
2018 год						
1	Жидкое топливо для огневого нагрева	72000	200	4500	1752	7884
2	Стоимость переработанного сырья	72000	20	190	1440	273,6
3	Газообразный азот в баллонах	72000	12	1000	288	288
Итого		-	-	-	-	8445,6
2019 год						

1	Жидкое топливо для огневого нагрева	80000	200	4500	1752	7884
2	Стоимость переработанного сырья	80000	20	190	1600	304
3	Газообразный азот в баллонах	80000	12	1000	288	288
Итого		-	-	-	-	8476

5.2 Планирование себестоимости продукции

Для определения плановой себестоимости продукции необходимо составить калькуляцию себестоимости на единицу продукции и на годовой ее выпуск (таблица 5.7, $N_{\text{год}} = 64000$ т/год).

Таблица 5.7 – Калькуляция себестоимости 1 тонны продукции на 2017 год

№ № п/п	Наименование статей расхода	Ед. изм.	Цена за ед., руб.	Расходы в нат.ед.		Затраты, тыс.руб.		Прим.
				На 1 тонну	На Nгод	На 1 тонну	На Nгод	
1.	Сырье и основные материалы	Т.	190	20	1280	0,0038	243,2	табл. 5.6
2.	Вспомогательные материалы	Т.	190	12	288	0,0045	288	табл. 5.6
3.	Топливо на технологические цели	Ккал.	4500	200	1752	0,1232	7884	табл. 5.6
4.	Энергия всех видов (э/э, вода, пар, сжатый воздух и т.д.) на технологические цели	-	-	-	-	0,0000	-	
5.	Заработная плата основных рабочих	тыс. руб.				0,0503	3219,2	табл. 5.14
6.	Единый социальный налог	тыс. руб.				0,0151	965,7	30% от ст.5
7.	Расходы на содержание и эксплуатацию оборудования (РСЭО)	тыс. руб.				0,0020	130,9	
7.1.	Амортизация активной части основных фондов (АЧОФ)	тыс. руб.				0,0158	1010,1	
7.2.	Затраты на ремонт АЧОФ	тыс. руб.				0,0068	437	
7.3.	Заработная плата вспомогательных рабочих	тыс. руб.				0,0046	292,0	табл. 5.14
7.4.	Единый социальный налог	тыс. руб.				0,0014	87,6	30% от ст. 7.3.
8.	Цеховые расходы	тыс.руб.				0,1860	11906,1	
8.1.	Амортизация пассивной части основных фондов (ПЧОФ) или арендная плата	тыс. руб.	-	-		0,0054	347,0	
8.2.	Заработная плата ИТР, служащих, МОП	тыс. руб.	-	-		0,280	22428,4	табл. 5.14
8.3.	Единый социальный налог	тыс. руб.	-	-		0,084	6728,5	30% от ст. 8.2.
8.4.	Охрана труда и техника безопасности	тыс. руб.	-	-		0,028	2252,0	
8.5.	Вода на бытовые и хозяйственные нужды	тыс. руб.	-	-		0,004	325,0	
8.6.	Отопление помещений	тыс. руб.	-	-		0,016	1260,3	
8.6.	Освещение помещений	тыс. руб.	-	-		0,017	1340,3	
9.	Общезаводские (общепроизводственные)	тыс. руб.	-	-		0,615	49239,2	

	расходы							
10.	Коммерческие расходы	тыс. руб.	-	-		0,018	1477,1	
10.1.	Реклама	тыс. руб.	-	-		0,001	73,8	
10.2.	Сбыт продукции	тыс. руб.	-	-		0,003	221,5	
12.	Прочие расходы	тыс. руб.	-	-		-	-	
	Полная себестоимость, в т.ч.	тыс. руб.	тыс. руб.	-	-	1,253	100251,0	
	Условно-переменные затраты	тыс. руб.	тыс. руб.	-	-	0,173	13831,8	
	Условно-постоянные затраты	тыс. руб.	тыс. руб.	-	-	1,080	86419,2	

Расчет годового фонда заработной платы цехового персонала проводится на основании следующих данных (таблица 5.8).

Таблица 5.8 – Порядок расчета годового фонда заработной платы цехового персонала

Этапы расчета	Содержание расчетов	Подробно
1. Расчет численности персонала: основных рабочих; вспомогательных рабочих; ИТР; служащих; МОП	Явочная и списочная численность	табл. 5.14
2. Баланс эффективного годового времени одного среднесписочного работника	Таблица расчета $T_{\text{эфф}}$ в днях и часах	табл. 5.15
3. График сменности	Таблица	табл. 5.16
4. Расчет сменооборота и количества выходных дней в году	$T_{\text{со}}$, $T_{\text{вых}}$	табл. 5.15, 5.16
5. Расчет тарифного фонда зарплаты	$Z_{\text{тар}} = T_{\text{ст}} T_{\text{эфф}}$, где $T_{\text{ст}}$ - тарифная ставка соответствующего разряда рабочего	
6. Премии (ДПРЕМ)	20 – 80 % от $Z_{\text{тар}}$	
7. Доплата за работу в ночное время (ДНВ)	40 % от ($T_{\text{ст}} t_{\text{нв}}$), где $t_{\text{нв}}$ – время ночной работы (определяется по графику сменности)	
8. Доплата за работу в праздничные дни (ДПР)	$T_{\text{пр}} * T_{\text{ст}} * N_{\text{яв}}$, где $T_{\text{пр}}$ – количество праздников в году; $N_{\text{яв}}$ – явочная численность рабочих	

9. Доплата из фонда мастера (ДФМ)	3% от $Z_{ТАР}$	
10. Доплата за бригадирство (ДБР)	Полагается только бригадирам	
11. Основная зарплата (ЗОСН)	$Z_{ТАР} + D_{ПРЕМ} + D_{НВ} + D_{ПР} + D_{ФМ} + D_{БР}$	
11.Дополнительная зарплата (ЗДОП)	$(ДН * Z_{ОСН}) / T_{ЭФФ}$, где ДН – количество дней невыхода на работу по планируемым причинам (отпуск, ученические, гособязанности)	
12.Районный коэффициент	1,3 для Томска	
13.Начисления на зарплату	30 % от $(Z_{ОСН} + Z_{ДОП})$	

Для дальнейшего расчета показателей по труду и заработной плате необходимо составить баланс рабочего времени одного рабочего (таблица 5.9).

Таблица 5.9 – Расчет численности персонала

Категория персонала	Норма обслуживания, Нобс	Число смен в сутки, S	Число единиц оборота, n	Явочная численность, Няв	Эффект. время рабочего, $T_{ЭФФ}$, час.	Коэффициент перехода, Кпер	Списочная численность, Нсп
Основные рабочие	0,79	3	5	19	207	1,76	34
Вспомогательные рабочие	3	3	5	3	207	1,76	5
ИТР	-	-	-	12	220	1,66	20
Служащие	-	-	-	3	226	1,61	4
МОП	-	-	-	9	226	1,61	15
Всего							78

Рассчитаем эффективный фонд рабочего времени:

- календарный фонд рабочего времени T_k , т.к. производство непрерывное, равен 365 дням.
- продолжительность рабочей смены 8 часов;
- график работы четырехбригадный;

- количество смен – 3;

Для дневного персонала установлена 5-тидневная рабочая неделя по 8 часов. Эффективное время работы персонала определяется из баланса рабочего времени (таблица 5.10).

Расчет годового фонда зарплаты ИТР, служащих и МОП производится на основании их окладов согласно штатному расписанию, принимая число рабочих месяцев в году 11 (для ИТР) и 11,3 (для служащих и МОП).

Количество выходных дней в году, ночных смен определяется из графика сменности (пример графика сменности - в таблице 5.11).

Таблица 5.10 – Баланс эффективного времени одного среднесписочного работника для сменного персонала

Фонд времени	Дни	Часы
Календарный фонд времени	365	8760
Нерабочие дни:		
- выходные	105	2520
- праздничные	14	336
Номинальный фонд времени	246	5904
Невыходы на работу:		
- очередной отпуск	28	672
- по болезни	5	120
- ученический отпуск	2	48
- выполнение гос. обязанностей	3	72
- прочие невыходы	1	24
Итого невыходов	39	936
Эффективный фонд рабочего времени, дн.	207	1656
Месяцев	10.7	

Таблица 5.11 – График сменности

Номер смены	Часы работы	Дни месяца															
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16

1	0-8	A	A	A	D	C	C	C	D	B	B	B	D	A	A	A	D
2	8-16	C	D	B	B	B	D	A	A	A	D	C	C	C	D	B	B
3	16-24	D	C	C	C	D	B	B	B	D	A	A	A	D	C	C	C
Отдых		B	B	D	A	A	A	D	C	C	C	D	B	B	B	D	A
Номер смены	Часы работы	Дни месяца															
		17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	-
1	0-8	C	C	C	D	B	B	B	D	A	A	A	D	C	C	C	-
2	8-16	B	D	A	A	A	D	C	C	C	D	B	B	B	D	A	-
3	16-24	D	B	B	B	D	A	A	A	D	C	C	C	D	B	B	-
Отдых		A	A	D	C	C	C	D	B	B	B	D	A	A	A	D	-

Ночное время составит 48 часов для каждого работника при трехсменной работе. Результаты вычислений сведем в таблицу 5.12.

Таблица 5.12 – Расчет годового основного фонда заработной платы

Профессия, специальность	Списочная численность	Оплата труда по штатному расписанию	Часовая тарифная ставка (оклад), руб.	Годовой основной фонд заработной платы, руб.						
				Оплата по тарифу, ЧТС*Тэф.	Премия	Доплата за работу в ночное время, Тст*Тэфф	Доплата за работу в праздничные дни	Доплата из фонда мастера	Доплата за бригадирство	Основная заработная плата
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Основные рабочие										
Оператор технологической установки	5	33000	198,80	329204,8	164602	40840,5	22265,1	105674,7		662587,5
Слесарь технологической установки	20	29000	174,70	289301,2	144651	35890,1	19566,3	92865,7	309552,3	891826,2
Слесарь по ремонту	4	20000	120,48	199518,1	99759	24751,8	13494,0	64045,3		401568,2
Лаборант химического анализа	4	23000	138,55	229445,8	114723	28464,6	15518,1	73652,1		461803,4
Лаборант химического анализа	1	20000	120,48	199518,1	99759	24751,8	13494,0	64045,3		401568,2
Вспомогательные рабочие										
Дежурный электрик	5	28000	168,7	279325,3	139663	34652,5				453640,5
ИТР										
Генеральный директор	1	50000	45833	504 166,7	252083					756 250,0
Главный бухгалтер	1	40000	36667	403 333,3	201667					605 000,0
Технический директор	1	40000	36667	403 333,3	201667					605 000,0
Заместитель генерального директора по общим вопросам	1	35000	32083	352 916,7	176458					529 375,0
Заместитель генерального директора по безопасности	1	38000	34833	383 166,7	191583					574 750,0
Начальник ОК	1	28000	25667	282 333,3	141167					423 500,0

Главный специалист по ОТ и ПБ	1	25000	22917	252 083,3	126042					378 125,0
Механик технологической уст.	2	28000	25667	282 333,3	141167					423 500,0
Технолог	1	38000	34833	383 166,7	191583					574 750,0
Начальник товарно-сырьевой базы	1	38000	34833	383 166,7	191583					574 750,0
Начальник лаб.	1	3000	2750	30 250,0	15125					45 375,0
Главный энергет.	1	38000	34833	383 166,7	191583					574 750,0
Главный метролог	1	35000	32083	352 916,7	176458					529 375,0
Начальник участка ЖД путей	1	30000	27500	302 500,0	151250					453 750,0
Начальник смены	5	37000	33917	373 083,3	186542	41974,9	15441,7			559 625,0
Служащие										
Бухгалтер	4	28000	26367	297943	148972					446915
Младший обслуживающий персонал										
Охранник	15	19000	17892	202176	101088	22142,55	62037,52			387443,82
Итого										11715227,8

Таблица 5.13 – Расчет основного и дополнительного фонда оплаты труда, руб.

Профессия, специальность	Основная заработная плата	Дополнител ьная заработная плата	Итого фонд заработно й платы	Заработная плата с учетом районного коэффициент а 1,3 для Омска	Начислен ия на зарплату 30%
Основные рабочие					
Оператор технологической установки	662587,5	124835,3	787422,8	1023650	307094,9
Слесарь технологической установки	891826,2	168025,2	1059851,4	1377807	413342
Слесарь по ремонту	401568,2	75657,8	477226,0	620393,8	186118,1
Лаборант химического анализа	461803,4	87006,4	548809,9	713452,8	214035,8
Лаборант химического анализа	401568,2	75657,8	477226,0	620393,8	186118,1
Вспомогательные рабочие					
Дежурный электрик	453640,5	85468,5	539109,0	700841,7	210252,5
ИТР					
Генеральный директор	756250,0	142481,9	898731,9	1168351	350505,4
Главный бухгалтер	605000,0	113985,5	718985,5	934681,2	280404,3
Технический директор	605000,0	113985,5	718985,5	934681,2	280404,3
Заместитель генерального директора по общим вопросам	529375,0	99737,3	629112,3	817846	245353,8
Заместитель генерального директора по безопасности	574750,0	108286,2	683036,2	887947,1	266384,1
Начальник отдела кадров	423500,0	79789,9	503289,9	654276,8	196283
Главный специалист по ОТ и ПБ	378125,0	71240,9	449365,9	584175,7	175252,7

Механик технологической установки	423500,0	79789,9	503289,9	654276,8	196283
Технолог	574750,0	108286,2	683036,2	887947,1	266384,1
Начальник товарно-сырьевой базы	574750,0	108286,2	683036,2	887947,1	266384,1
Начальник лаборатории	45375,0	8548,9	53923,9	70101,09	21030,33
Главный энергетик	574750,0	108286,2	683036,2	887947,1	266384,1
Главный метролог	529375,0	99737,3	629112,3	817846	245353,8
Начальник участка железнодорожных путей	453750,0	85489,1	539239,1	701010,9	210303,3
Начальник смены	559625,0	105436,6	665061,6	864580,1	259374
Служащие					
Бухгалтер	446915	84201,4	531116	690451,3	207135,4
Младший обслуживающий персонал					
Охранник	387443,8	72996,7	460440	598572,6	179571,8
Итого	11715227,8	2207216,8	13922445	18099178	5429753

Таким образом, полученные расчеты можно представить в следующей таблице (таблица 5.14).

Таблица 5.14 – Потребность в персонале и заработной плате согласно штатного расписания

Наименование категорий работников	Потребность, чел.	Средне-годовая зарплата руб.	2017		2018		2019	
			Годовые затраты на зарплату руб.	Начисления на зарплату, руб.	Годовые затраты на зарплату, руб.	Начисления на зарплату, руб.	Годовые затраты на зарплату, руб.	Начисления на зарплату, руб.
Основные рабочие								
Оператор технологической установки	5	85,3	426,5	128,0	447,8	134,4	470,2	141,1
Слесарь технологической установки	20	114,8	2296,3	688,9	2411,2	723,3	2531,7	759,5
Слесарь по ремонту	4	51,7	206,8	62,0	217,1	65,1	228,0	68,4
Лаборант химического анализа	4	59,5	237,8	71,3	249,7	74,9	262,2	78,7
Лаборант химического анализа	1	51,7	51,7	15,5	54,3	16,3	57,0	17,1
Итого		0,0	3219,2	965,8	3380,1	1014,0	3549,1	1064,7
Вспомогательные рабочие		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Дежурный электрик	5	58,4	292,0	87,6	306,6	92,0	321,9	96,6
ИТР		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Генеральный директор	1	1402,0	1402,0	420,6	1472,1	441,6	1545,7	463,7
Главный бухгалтер	1	1121,6	1121,6	336,5	1177,7	353,3	1236,6	371,0
Технический директор	1	1121,6	1121,6	336,5	1177,7	353,3	1236,6	371,0
Заместитель генерального директора по общим вопросам	1	981,4	981,4	294,4	1030,5	309,1	1082,0	324,6
Заместитель генерального директора по безопасности	1	1065,5	1065,5	319,7	1118,8	335,6	1174,8	352,4
Начальник отдела	1	785,1	785,1	235,5	824,4	247,3	865,6	259,7

кадров								
Главный специалист по ОТ и ПБ	1	701,0	701,0	210,3	736,1	220,8	772,9	231,9
Механик технологической установки	2	785,1	1570,3	471,1	1648,8	494,6	1731,2	519,4
Технолог	1	1065,5	1065,5	319,7	1118,8	335,6	1174,8	352,4
Начальник товарно-сырьевой базы	1	1065,5	1065,5	319,7	1118,8	335,6	1174,8	352,4
Начальник лаборатории	1	84,1	84,1	25,2	88,3	26,5	92,7	27,8
Главный энергетик	1	1065,5	1065,5	319,7	1118,8	335,6	1174,8	352,4
Главный метролог	1	981,4	981,4	294,4	1030,5	309,1	1082,0	324,6
Начальник участка железнодорожных путей	1	841,2	841,2	252,4	883,3	265,0	927,4	278,2
Начальник смены	5	1037,5	5187,5	1556,2	5446,9	1634,1	5719,2	1715,8
Итого		14104,3	19039,5	5711,8	19991,4	5997,4	20991,0	6297,3
Служащие		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Бухгалтер	4	828,5	3314,2	994,2	3479,9	1044,0	3653,9	1096,2
Итого		828,5	3314,2	994,2	3479,9	1044,0	3653,9	1096,2
Младший обслуживающий персонал		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Охранник	15	5,0	74,8	22,4	78,6	23,6	82,5	24,7
Итого специалисты, служащие, МОП		14937,9	22428,4	6728,5	23549,9	7065,0	24727,4	7418,2

Сумма амортизационных отчислений (АО) определяется по формуле:

$$АО = C_{\text{оф}} Н / 100\%, \quad (5.3)$$

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

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

Результаты расчетов необходимо свести в таблице 5.15.

Таблица 5.15 – Расчет амортизационных отчислений и остаточной стоимости основных фондов

№№ п/п	Наименование основных фондов	Норма амортизации, %	$C_{\text{оф}}$, тыс.руб	АО за 5 лет, тыс.руб	Остаточная стоимость	Стоимость ОФ после модернизации
1	Здания	1,02	47692738	2432330	45260408	45260408
2	Сооружения	1,47	29105032	2139220	26965812	26965812
3	Передаточные устройства	6	974546	292364	682182	682182
4	Машины и оборудование	9	3248487	1461819	1786668	3656668
5	Измерительные регулирующие приборы	16	324849	259879	64970	64970
6	Транспортные средства	5	162424	40606	121818	121818
7	Прочие основные фонды	20	162424	162424	0	0
8	Итого	-	81670500	6788642	74881858	76751858

5.3 Финансовый план

В этом разделе обобщаются все предыдущие материалы и представляются в стоимостном выражении. Цель этого плана – определение эффективности предлагаемого проекта на основе оценки текущей финансовой информации.

Результаты финансовой и инвестиционной деятельности предприятия необходимо представить в виде следующих документов: план доходов и расходов; анализ безубыточности.

План составляется на три года, и в нем отражаются доходы, расходы и все виды налогов.

План показывает, как будет формироваться прибыль при постепенном увеличении объемов производства в связи с освоением производственной мощности и является прогнозом финансовых результатов деятельности предприятия (таблицы 5.16, 5.17).

Таблица 5.16 – План доходов и расходов

Наименование статьи	Величина показателя по годам проекта		
	2017	2018	2019
1. Объем продаж, тыс.т	64000	72000	80000
2. Цена за 1 тонну, руб.	1750	1750	1750
3. Выручка от реализации, руб. (стр.1*стр.2)	112000	126000	140000
4. Условно-переменные затраты (табл. 5.12)	13831,78	14523,4	15249,5
5. Условно-постоянные затраты (табл. 5.12)	86419,23	90740,5	95277,2
6. Проценты по кредитам (табл. 5.12)	-	-	-
7. Прибыль до вычетов налогов (стр.3- стр.4- стр.5-стр.6)	11749,0	20736,4	29473,3
8. Налоги, относящиеся на финансовый результат	1795,1	1884,9	1979,1
9. Налогооблагаемая прибыль (стр.7- стр.8)	9953,9	18851,6	27494,2
10. Налог на прибыль (20% от стр.9)	1990,8	3770,3	5498,8

11. Чистая прибыль (стр.9-стр.10)	7963,1	15081,3	21995,3
-----------------------------------	--------	---------	---------

Таблица 5.17 – Расчет налогов, относящихся на финансовый результат

Наименование показателя	Условия расчета	Величина по годам		
		1-ый год	2-ой год	3-ий год
1. Налоги, относящиеся на финансовые результаты:				
1.1 на имущество	2% от остаточной стоимости имущ.	1497,7	1572,6	1651,2
1.2 на уборку территории	1,5% от ФОТ	48,2	50,6	53,1
1.3 на нужды образования	1% от ФОТ	32,1	33,7	35,4
1.4 целевой сбор	(3% от МОТ* численность)*4	217,1	228,0	239,4
2. Налог на прибыль	20% от налогооблагаемой прибыли	1990,8	3770,3	5498,8

5.4 Анализ безубыточности

Цель анализа – определение точки безубыточности, т.е. минимального объема продаж, начиная с которого предприятие не несет убытков. Это означает, что выручка от реализации продукции (В) должна быть равна общим затратам на производство и реализацию продукции:

$$Q \cdot C_i = Z_{\text{пост}} + Z_{\text{пер}} \cdot Q, \quad (5.4)$$

где $Z_{\text{пост}}$ – постоянные затраты на весь выпуск продукции, руб.;

$Z_{\text{пер}}$ – переменные затраты на единицу продукции, руб./т;

C_i – цена единицы продукции, руб./т.

Тогда точка безубыточности определится следующим образом:

$$Q_{\text{тб}} = \frac{Z_{\text{пост}}}{C_i - Z_{\text{пер}}} - T = \frac{95277,2}{1,750 - 15249,5/80000} = 61100 \text{ т.}$$

Выручка при безубыточном объеме производства составит

$$B = 61100 \cdot 1,750 = 106924 \text{ тыс. руб.}$$

Графически точка безубыточности определяется согласно рисунку 6.1.

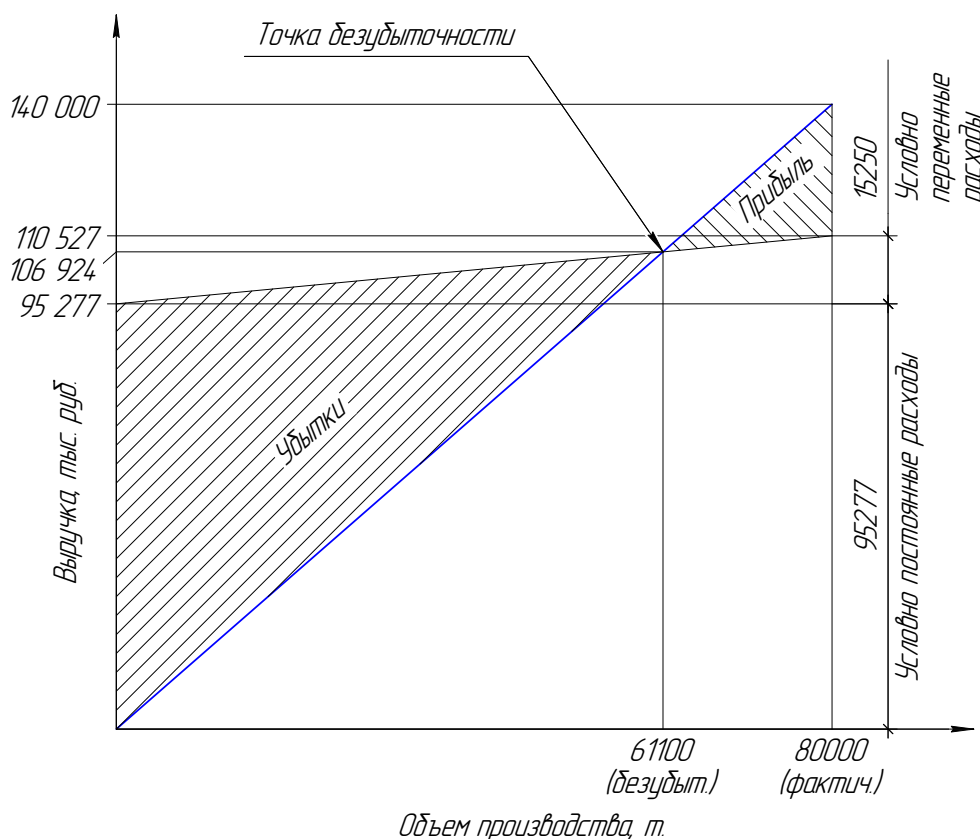


Рисунок 5.1 – Точка безубыточности

5.5 Выводы

На предприятии внедряется проект, целью которого является замена существующего колонного оборудования, установка новых контактных устройств. Применение проектируемого колонного аппарата позволило повысить производительность установки, обеспечить четкость ректификации и выработку продукции требуемого качества.

Определена экономической целесообразность проектируемой установки и разработана производственная программа на три года.

В результате проведенного усовершенствования мощность производства увеличена с 6,5 тонн в час до 10 тонн в час, себестоимость продукции составит 1250 руб. за тонну переработанного сырья. Чистая прибыль от реализации готовой продукции после проведения усовершенствования при максимальной загрузке оборудования в 2019 году 21995,3 тыс. руб. Безубыточный объем производства 61100 тонн. Выручка при безубыточном объеме производства

составит 106924 тыс. руб. Дополнительные капитальные вложения необходимы в размере 1870 тыс. руб. Следовательно, усовершенствование оборудования экономически выгодно.

6 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

В дипломном проекте выполняется замена существующей колонны с тарельчатой и насадочной секциями на колонну, содержащую только тарельчатые части. Модернизация позволит более тщательно отделять бензиновую фракцию от остальной нефти. Бензин, содержащий меньшее количество тяжелых углеводородов, позволит увеличить экологические характеристики итогового топлива и, следовательно, снизить вредное влияние выхлопных газов на окружающую среду.

В плане опасности для персонала и норм эксплуатации новая колонна существенно не отличается от существующей: температурный режим и давление остаются прежними, незначительно меняются концентрации и расходы потоков. Влияние на окружающую среду самой колонны и отходов производства сохраняется в прежнем объеме.

Требования к обслуживающему персоналу, условия труда, требования к промышленной безопасности вновь вводимого оборудования соответствуют [46].

6.1 Производственная безопасность

Выполним анализ выявленных вредных факторов. Вредным фактором называется воздействие на организм человека, которое может вызвать временное или стойкое ухудшение самочувствия, привести к заболеванию, нарушению здоровья.

6.1.1 Отклонение показателей микроклимата в помещении

Большую часть рабочего времени операторы установки отбензинивания нефти проводят в помещении технологического контроля (ЦПУ). Поэтому одним из вредных факторов является отклонение показателей микроклимата ЦПУ.

Согласно федеральному закону № 426 «О специальной оценке условий труда», необходимые величины показателей микроклимата соблюдаются на рабочих местах производственных помещений, на которых выполняются работы операторского типа, связанные с нервно-эмоциональным напряжением.

Категория работ по уровню энергозатрат – 1б. Согласно [44, 5.3] необходимые параметры микроклимата соответствуют указанным величинам.

6.1.2 Недостаточное освещение рабочей зоны

Через зрительный анализатор к нам поступает большая часть информации. Следовательно, рационально устроенное производственное освещение на прямую связаны с производительностью труда и сохранением работоспособности. Недостаточная освещенность приводит к утомлению зрения, может создать опасную ситуацию, привести к травмам. Слишком большая яркость источников света (блескость) приводит к временному нарушению зрительной функции.

Согласно [45, 1.5] гигиеническая оценка освещения общественных зданий проведена для установления соответствия настоящим санитарным правилам.

В помещении ЦПУ и в производственных помещениях используются люминесцентные лампы. Освещенность и коэффициент пульсации поддерживаются согласно санитарным правилам и нормам.

6.1.3 Пожарная опасность

Пожаробезопасность при эксплуатации установки отбензинивания нефти обеспечивается согласно федеральному закону [49].

Площадка, на которой установлено оборудования переработки нефти, снабжена системой специализированного пожаротушения с учётом специфики горючих веществ (нефть, продукты переработки). Приборы КИПиА и электрооборудование используется во взрывобезопасном исполнении. При ведении технологического процесса используются противоаварийные блокировки и сигнализации.

В операторской и в производственных помещениях установлены переносные и передвижные огнетушители типа ОП и ОП. Поставка и испытание производится согласно нормам [50]. Производственные помещения оборудованы запасом асбестового полотна и контейнерами с песком. Также в помещении ЦПУ хранятся противогазы ИП-4МР. При возникновении аварийной ситуации

оператор немедленно оповещает местную пожарную часть и начальника смены цеха.

6.1.4 Опасность поражения электрическим током

Поражение человека электрическим током возможно лишь при замыкании электрической цепи через тело человека, т. е. при прикосновении человека к сети не менее чем в двух точках. При этом повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека, является опасным фактором.

Чтобы уменьшить число несчастных случаев в результате прикосновения к токоведущим частям оборудования и электропроводки, все токоведущие части ограждены. Для установок низкого напряжения достаточной защитой является хорошая изоляция.

Для предотвращения поражений, связанных прикосновением к токоведущим частям, приняты различные меры: заземление, защитное отключение. Очень важно систематическое наблюдение и контроль исправной работы заземляющих устройств. Сопротивление защитного заземления не превышает 4 Ом для установок до 1000В – 0,5 Ом.

Защита от статического электричества осуществлена путём отвода в землю зарядов и выравнивания потенциалов, создавшихся на аппаратах, трубопроводах и металлических конструкциях.

Для этого каждая система аппаратов, трубопроводов и воздухопроводов в пределах цеха заземлена не менее чем в двух местах, присоединением к магистралям защитного заземления или к очагам заземления. Все параллельно идущие или пересекающиеся трубопроводы и воздухопроводы, расположены между собой на расстоянии до 0,1м, соединены перемычками через каждые 20 м. Трубопроводы и воздухопроводы, проходящие на таком же расстоянии от металлических лестниц и конструкций зданий, соединены с ними перемычками. Трубопроводы и вентиляционные воздухопроводы представляют собой непрерывную электрическую цепь.

В соответствии с правилами технической эксплуатации электроустановок потребителя и правилами техники безопасности для персонала, установлено пять квалификационных групп по электробезопасности.

Оператор ректификационной колонны для отбензинивания нефти в установке атмосферной переработки попадает во вторую квалификационную группу. Вторая квалификационная группа присваивается квалификационной комиссией не электротехническому персоналу, обслуживающему установки и оборудование с электроприводом, электросварщики (без права подключения), термисты установок ТВЧ, машинисты грузоподъемных машин, передвижные машины и механизмы с электроприводом, работающим с ручными электрическими машинами и другими переносными электроприемниками и т. д.

6.1.5 Воздействие нефтепродуктов

При попадании нефти на тело человека возможно свертывание белков, возникает так называемый сухой некроз тканей. Кроме того, под воздействием водорода расщепляется гемоглобин, что придает участкам воздействия сероватокоричневый или желтовато-коричневый цвет. В местах длительного воздействия ткани уплотняются, а по периферии уплотнений наблюдаются воспалительные явления. Тяжесть отравления зависит от дозы, концентрации и многих других факторов.

Наиболее опасным соединением являются пары бензиновой фракции, так как они вследствие своей медленной растворимости во влаге, покрывающей слизистые оболочки дыхательных путей, имеет значительный скрытый период между моментами поступления ядовитых газов в организм и началом развития болезненных явлений, преимущественно в глубоких отделах органов дыхания.

После вдыхания паров у пострадавшего во многих случаях возникает кашель, отдышка, загрудинные боли; эти первичные явления часто проходят при выходе пострадавшего из загазованного помещения на свежий воздух, а затем через час или несколько часов снова нарастает отдышка, появляются кашель, боли в груди, всё более усиливающееся затруднение дыхания.

Систематическое воздействие превышающих предельно допустимые концентрации, но ещё не способных острое отравление концентраций ведёт к развитию тяжёлых хронических заболеваний дыхательных путей – хронических бронхитов, бронхиолитов, токсических пневмосклерозов, часто осложнённых астмоидными приступами, бронхоэктазиями и явлениями вторичной слабости сердца.

Бензиновые пары оказывают избирательное психотропное (наркотическое), гепатотоксическое, нефротоксическое, пневмотоксическое действие. Особенно опасен этилированный бензин, содержащий тетраэтилсвинец. При вдыхании паров – головокружение, головная боль, опьянение, возбуждение, тошнота, рвота. В тяжелых случаях – нарушение дыхания, потеря сознания, судороги, запах бензина изо рта. При проглатывании – боль в животе, рвота, увеличение и болезненность печени, желтуха (токсическая гепатопатия), нефропатия. При аспирации – боль в груди, кровянистая мокрота, цианоз, одышка, лихорадка, резкая слабость (токсическая пневмония).

Длительный контакт с жидким бензином вызывает болезни кожи: эпидермоз, контактный дерматит, фотодерматит, онехии, поранехии, токсическая меланодермия, масляные фолликулиты.

6.1.6 Мероприятия по предотвращению взрывов

При производстве используются взрывоопасные вещества, процессы происходят преимущественно под давлением выше атмосферного, следовательно мероприятия, проводимые по предупреждению взрывов на производстве являются одними из главных.

Степень разрушения при взрыве можно охарактеризовать величиной избыточного давления ударной волны. Прежде всего необходимо рассчитать эмпирический коэффициент К:

$$K = 0,24 \cdot \frac{R}{17,3 \cdot \sqrt{Q}}, \quad (6.1)$$

где R – расстояние от места взрыва до емкости со взрывчатым веществом, м;
Q – количество взрывоопасной смеси, т.

Предположим, что взрыв произошел в полутора километрах ($R = 1500$ м) от промежуточной емкости с бензином $Q = 60$ т. Тогда

$$K = 0,24 \cdot \frac{1500}{17,3 \cdot \sqrt{60}} = 2,69.$$

При $K \geq 2$ ориентировочное избыточное давление ΔP_{ϕ} , кПа ударной волны определяется по формуле:

$$\Delta P_{\phi} = \frac{22}{K \cdot \sqrt{\lg K + 0,158}}; \quad (6.2)$$

$$\Delta P_{\phi} = \frac{22}{2,69 \cdot \sqrt{\lg 2,69 + 0,158}} = 10,7 \text{ кПа}.$$

Для разрушения деревянного строения достаточно 10...20 кПа, кирпичных зданий 25...30 кПа, для железобетонных конструкций стен цеха 100...150 кПа. Таким образом, оценив степень разрушения, необходимо позаботиться о безопасности эксплуатации промышленного объекта.

Рассчитаем предохранительную мембрану для аварийного снижения давления в аппарате. Широко используются разрывные мембраны, изготавливаемые из тонколистового проката. Конструктивное оформление зажима мембраны может быть различным шип – паз, конический или линзовый зажим (рисунок 6.1).

При нагружении рабочим давлением мембрана испытывает большие пластические деформации и приобретает ярко выраженный купол, по форме очень близкий к сферическому сегменту. Чаще всего куполообразную форму мембране придают заранее при изготовлении, подвергая ее нагружению давлением, составляющим около 90 % разрывного. При этом фактически исчерпывается почти весь запас пластических деформаций материала, поэтому еще больше увеличивается быстродействие мембраны.

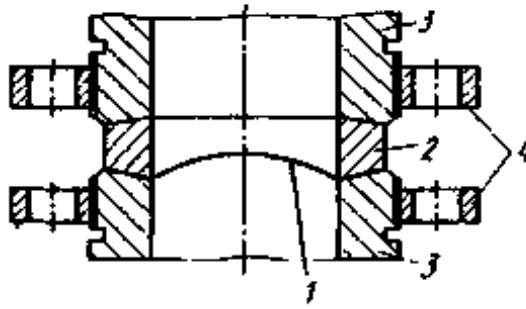


Рисунок 6.1 – Линзовый зажим разрывной мембраны:

1 – мембрана, 2 – коническая шайба, 3 – торцы сбросной магистрали, 4 – соединительные фланцы.

Разрывное давление P_c , МПа, такой оболочки (давление):

$$P_c = 2 \cdot \Delta_0 \cdot \sigma_{вр} \cdot r, \quad (6.3)$$

где Δ_0 – толщина материала мембраны, м;

$\sigma_{вр}$ – временное сопротивление материала при растяжении (предел прочности), МПа/м²;

r – радиус купола, м.

Минимальный на пределе разрыва мембраны) радиус купола, r , м:

$$r = \frac{D}{4} \cdot \sqrt{(1 + \delta)} / (\sqrt{1 + \delta} - 1), \quad (6.4)$$

где D – рабочий диаметр мембраны, м;

δ – относительное удлинение при разрыве, %.

Принимаем материал мембраны 08X18H10T, тонколистовая коррозионностойкая сталь, исходя из этого $\delta = 50$ %. При рабочем диаметре мембраны $D = 400$ мм. Тогда

$$r = \frac{400 \cdot 10^{-3}}{4} \cdot \sqrt{(1 + 0,5)} / (\sqrt{1 + 0,5} - 1) = 544,9 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Принимаем толщину листа $\Delta_0 = 2$ мм, также $\sigma_{вр} = 670$ МН/м² для материала мембраны:

$$P_c = 2 \cdot 2 \cdot 10^{-3} \cdot 670 \cdot 544,9 \cdot 10^{-3} = 3,46 \text{ МПа.}$$

Определим время полного раскрытия τ_0 , с:

$$\tau_0 = 0,75 \cdot a; \quad (6.5)$$

$$a = \sqrt{\frac{\pi \cdot D \cdot \rho \cdot \Delta_0}{P_c}}, \quad (6.6)$$

где ρ – плотность материала мембраны, $\rho = 7900 \text{ кг/м}^3$ [8].

$$a = \sqrt{\frac{3,14 \cdot 400 \cdot 10^{-3} \cdot 7900 \cdot 2 \cdot 10^{-3}}{1,46}} = 3,68;$$

$$\tau_0 = 0,75 \cdot 3,68 = 2,8 \text{ с.}$$

Время срабатывания мембраны составляет 2,8 с, что дает основания полагать безопасность и практичность внедрения такой степени взрывозащиты.

6.2 Экологическая безопасность

В результате производственной деятельности установки атмосферной переработки нефти образуются вредные химические вещества, в основном, продукты переработки, находящиеся в жидком и газообразном состоянии.

Охрана окружающей среды включает в себя комплекс технических средств и организационно-технических мероприятий, обеспечивающих тщательную очистку загрязняющих веществ перед выбросом в атмосферу и сбросом в открытую гидрографическую сеть в пределах установленных норм. Используется специализированный цех биохимической очистки.

Общая структура мероприятий по предотвращению выбросов в окружающую среду на опасных предприятиях представлена на рисунке 6.2. Благодаря такому сочетанию представленных на схеме мер достигается снижение отрицательного воздействия вредных веществ на окружающую среду.



Рисунок 6.2 – Схема мероприятий по снижению выбросов вредных веществ

Эффективность собственно технологических мероприятий по снижению выбросов в окружающую среду определяется экологической чистотой процессов. Экологически чистым процессом является такое производство или совокупность производств, в результате практической деятельности которых негативное воздействие на окружающую среду не происходит или сводится к минимуму. Такие малоотходные технологические системы обеспечивают максимальное и комплексное использование сырья и энергии.

6.2.1 Мероприятия по снижению выбросов вредных веществ

К мероприятиям по снижению выбросов вредных веществ относят:

- совершенствование технологических процессов и внедрение малоотходных и безотходных технологий;
- изменение состава и улучшение качества используемых ресурсов;
- комплексное использование сырья и снижение потребления ресурсов, производство которых связано с загрязнением окружающей среды;
- изменение состава и улучшение качества выпускаемой продукции (неэтилированные бензины, малосернистые топлива и т.д.);
- очистку сбрасываемых промышленных газов.

К мероприятиям по снижению степени распространения вредных веществ, относят: нейтрализацию, консервацию, захоронение и утилизацию выбросов.

Следует отметить, что строительство высоких и сверхвысоких труб не уменьшает выброс вредных веществ в атмосферу и степень их распространения, а обеспечивает снижение приземной концентрации вредных примесей.

Основными способами снижения уровня загрязнения атмосферы углеводородами при хранении и переработке нефтей и нефтепродуктов являются:

- обеспечение поступлений на завод сырой нефти с давлением насыщенных паров и содержанием минеральных солей, отвечающих стандарту;

- обеспечение охлаждения светлых продуктов, направляемых в резервуары для хранения, до минимально возможной температуры, для чего необходимо сооружать дополнительные концевые холодильники. Исследования показали, что при снижении на 10 - 15°C температуры охлаждения светлых продуктов перед поступлением их в резервуары для хранения потери от «дыханий» резервуаров уменьшаются в 1,5-2,5 раза;

- замена резервуаров с шатровой крышей на резервуары с плавающими крышами, понтонами или резервуары, работающие при избыточном давлении. В резервуаре с плавающей крышей нет газового пространства над продуктом, т.е. исключены потери от «дыханий». Резервуары подобных конструкций могут быть большой емкости, что дает значительную экономию капитальных затрат на их сооружение, а также дополнительно сокращаются потери продукта при малых «дыханиях»;

- обеспечение стабилизации вырабатываемых на заводах бензиновых компонентов и других легких фракций, направляемых для хранения в резервуары. Причинами неудовлетворительной работы системы стабилизации бензиновых компонентов могут быть: низкое давление в стабилизаторах и недостаточное число фракционирующих тарелок, малый диаметр аппарата, низкая температура нагрева продукта, нарушения технологического режима работы и т.п.;

- оборудование действующих резервуарных парков специальными системами улавливания испаряющихся из резервуаров паров нефтепродуктов: адсорбцией паров на активированных углях с циклической вакуумной регенерацией последних и поглощением десорбированных паров потоком

бензина; абсорбцией паров бензином при пониженных температурах; сжиганием выделяющихся паров.

Новые технологические установки с малыми удельными потерями, системой утилизации факельного газа, например, установки для выпуска высокооктанового бензина и очистки дизельных топлив от серы, а также ввод в действие нового производства полипропилена позволили сократить выбросы вредных веществ в атмосферу в 10 раз. С химическими методами переработки углеводородного сырья, особенно каталитическими, помимо вышеуказанных загрязнителей атмосферы, связан выброс твердых пылеобразующих веществ.

Уровень выбросов вредных веществ в окружающую среду в значительной степени зависит от параметров технологических установок. Так, например, при переработке дистиллятного сырья на установке каталитического крекинга эффективность работы катализатора зависит от кратности его циркуляции.

6.2.2 Мониторинг воздушного бассейна

Необходимость и значимость мониторинга воздушного бассейна предприятий по переработке углеводородных систем связаны с насыщенностью источниками выделения и опасностью выбрасываемых в атмосферу вредных веществ.

К вредным веществам относят те вещества, которые при контакте с организмом человека вызывают профессиональные заболевания или отклонения в состоянии здоровья, обнаруживаемые современными методами. При этом учитываются воздействия этих веществ в отдаленные сроки жизни настоящего и последующих поколений.

К основным целям мониторинга воздушного бассейна следует отнести:

- наблюдение за известными источниками поступления вредных веществ;
- выявление источников загрязнения, а также степени их воздействия;
- оценку фактического состояния атмосферного воздуха;
- прогноз загрязнения атмосферного воздуха и пути улучшения ситуации;

- определение приоритетных загрязнителей воздушного бассейна с использованием результатов прошлых наблюдений и данных об уровнях загрязнения.

Данные мониторинга, полученные в результате прямых и косвенных (расчетные методики) измерений, используются для решения таких задач, как:

- проверка соответствия нормам экологического законодательства;
- оценка эффективности технологических процессов;
- экспертиза новых технологий контроля за загрязнением;
- создание баз данных по выбросам всех типов технологических процессов;
- установление коэффициентов эмиссии загрязнителей;
- оценка влияния источника выброса на качество воздуха в регионе с использованием моделей рассеивания;
- разработка целенаправленной экологической политики предприятия.

На опасных объектах целесообразно использовать следующие способы получения результатов аналитических измерений о состоянии окружающей среды:

- предварительный отбор проб в заранее определенных точках отбора с последующим анализом в лаборатории (лабораторная сеть наблюдений);
- отбор проб и проведение анализа в точке отбора с помощью специально предназначенных для этого приборов (инструментальный контроль);
- отбор проб, проведение анализа на стационарных постах и передача полученной информации в автоматическом режиме в центр сбора и обработки информации (автоматизированные системы мониторинга).

Использование методов дистанционного мониторинга оказывается чрезвычайно дорогим. Основными недостатками лабораторной сети наблюдений за состоянием загрязнения окружающей среды является ее неоперативность и периодичность. Запаздывание получения результата от момента отбора проб составляет в среднем 5–6 ч. При такой системе отсутствует постоянная достоверная информация о состоянии атмосферы промышленной и санитарно-

защитной зон и нет возможности в полной мере реализовывать цели и задачи, предъявляемые к мониторингу окружающей среды.

Решением данной проблемы является создание автоматизированных систем мониторинга окружающей среды (СМОС), которые позволяют увязать все наблюдения за состоянием загрязнения атмосферы, водного бассейна, почвы и станут необходимым звеном системы экологического менеджмента (СЭМ).

Внедрение СМОС в качестве подсистемы в интегрированную информационную управляющую систему (ИИУС) предприятия обеспечит в перспективе объединение с информационной системой городского или регионального уровня. СМОС заводов по переработке УВС станут элементами отраслевых подсистем ЕГСЭМ.

Одним из наиболее важных элементов систем мониторинга окружающей среды будет система управления базами данных, работающая в режиме реального времени.

Наибольшую опасность для окружающей среды представляют выбросы нефтяных углеводородов и разливы нефти. Особенно остро загрязнение окружающей среды сказывается на малых народах в местах нефтедобычи и нефтепереработки.

6.3 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Обеспечение безопасности при проектировании, производстве, монтаже, наладке, эксплуатации колонны отбензинивания нефти в установке атмосферной перегонки регулируется рядом регламентов, ГОСТов и других нормативно-правовых актов, среди которых Технический регламент о безопасности машин и оборудования, утвержденный Постановлением Правительства РФ № 753 от 15 сентября 2009 г., «Трудовой кодекс РФ» от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 28.12.2013) и др.

6.3.1 Ключевые принципы, цели и задачи, выполненные работодателем

Для обеспечения требований правового регулирования работодателем выполнены ключевые принципы, цели и задачи:

- соблюдены федеральные законы и иные нормативные правовые акты, программы по охране труда, коллективные соглашения по охране труда и другие требования;
- обеспечена безопасность и охрана здоровья всех работников путем предупреждения несчастных случаев и профессиональных заболеваний;
- обеспечено функционирование системы управления охраной труда;
- привлечены работники к участию в управлении охраной труда;
- произведен систематический контроль условий и охраны труда;
- проведена аттестация рабочих мест по условиям труда и сертификация организации работ по охране труда;
- оказано содействие общественному контролю за соблюдением прав и законных интересов работников в области охраны труда;
- работник обеспечен талонами ЛПП, согласно [52];
- проводится совершенствование системы управления охраной труда.

6.3.2 Основными направлениями политики в области охраны труда

Основными направлениями политики в области охраны труда являются:

- обеспечение приоритета сохранения жизни и здоровья работников;
- эффективное, устойчивое, научно обоснованное, социально и экономически сбалансированное развитие комбината с обеспечением охраны труда работников в соответствии с требованиями законодательных и иных нормативных правовых актов;
- реализация федеральных и отраслевых целевых программ улучшения условий и охраны труда;
- постоянное улучшение условий и охраны труда работников, за счет совершенствования технологических процессов, технического оснащения,

повышения уровня квалификации работников;

- материально-техническое обеспечение мероприятий по охране труда;
- профилактика несчастных случаев и нанесения вреда здоровью работников;
- расследование и учет несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний в соответствии с действующими законами, правилами, с объективным определением причин и установлением виновных в происшедших несчастных случаях;
- защита законных интересов работников, пострадавших при несчастных случаях на производстве;
- обеспечение работников средствами индивидуальной и коллективной защиты, санитарно-бытовыми помещениями и устройствами, лечебно-профилактическими средствами за счет средств работодателя;
- реализация установленных государственным законодательством компенсаций за тяжелую работу и работу с вредными и опасными условиями труда;
- принятие решений по вопросам охраны труда по согласованию с профсоюзными органами работников;
- обучение и повышение квалификации работников по охране труда;

6.3.3 Мероприятия работодателя для решения поставленных целей и задач

Для решения поставленных целей и задач работодатель обеспечивает:

- осуществление комплекса профилактических мер по предупреждению несчастных случаев на производстве, аварий на опасных производственных объектах и минимизации их последствий;
- внедрение передовых научных разработок и современных технологий с целью последовательного снижения доли тяжелого ручного труда;
- развитие сотрудничества и партнерства с организациями, занимающимися переработкой нефти, в области охраны труда;
- принятие и реализацию управленческих и технологических решений с

обязательным учетом требований охраны труда;

- проведение оценки воздействия планируемых видов хозяйственной деятельности на здоровье работников;
- выявление и проведение оценки рисков производственного травматизма, профессиональных заболеваний, разработку и реализацию мер по их снижению;
- выполнение подрядными организациями, допущенными на объекты работодателя для проведения работ, действующих на комбинате стандартов и правил в области охраны труда и здоровья работников;
- вовлечение работников в активное участие в работе по охране труда;
- информирование работников, а также общественности о деятельности в области охраны здоровья и безопасности труда;
- по мере необходимости пересмотр и корректировку политики и доведение внесенных изменений до сведения работников, общественности и других заинтересованных организаций.

Реализация целей и задач Политики обеспечивается согласованными действиями работодателя, объединенного комитета профсоюзов № 124, совместных комитетов (комиссий) по охране труда при плодотворном участии всех работников установки атмосферной переработки нефти.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В дипломном проекте была спроектирована ректификационная колонна для отбензинивания нефти. В ходе курсового проекта были проведены технологический расчет и расчет вспомогательного оборудования. В ходе расчетов были определены размеры некоторых элементов аппарата.

Рассчитанная ректификационная колонна удовлетворяет техническому заданию и может быть использована в производстве.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Александров И.А. Перегонка и ректификация в нефтепереработке / И. А. Александров. — Москва: Химия, 1981. — 352 с.
2. Бабицкий И.Ф. Расчет и конструирование аппаратуры нефтеперерабатывающих заводов / И. Ф. Бабицкий, Г. Л. Вихман, С. И. Вольфсон; под ред. Г. Л. Вихмана. — 2-е изд., перераб. и доп. — Москва: Недра, 1965. — 904 с.
3. Вихман Г.Л. Основы конструирования аппаратов и машин нефтеперерабатывающих заводов / Г. Л. Вихман, С. А. Круглов. — 2-е изд., перераб. и доп. — Москва: Машиностроение, 1978. — 327 с.
4. Гельперин, Н. И. Дестилляция и ректификация / Н. И. Гельперин. — Москва: Госхимиздат, 1947. — 312 с.
5. ГОСТ 2.105-95. ЕСКД. Общие требования к текстовым документам.
6. ГОСТ Р 21.1101-2013. Система проектной документации для строительства. Основные требования к проектной и рабочей документации.
7. ГОСТ 9634-81. Колпачки капсульные стальные колонных аппаратов. Конструкция и размеры. Технические требования.
8. ГОСТ 16332-70. Аппаратура колонная. Термины и определения.
9. ГОСТ 21944-76. Аппараты колонные стальные диаметром от 600 до 10000 мм. Расстояние между тарелками.
10. ГОСТ Р 51273-99. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Определение расчетных усилий для аппаратов колонного типа от ветровых нагрузок и сейсмических воздействий.
11. ГОСТ Р 51274-99. Сосуды и аппараты. Аппараты колонного типа. Нормы и методы расчета на прочность.
12. ГОСТ Р 52857.11-2007. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Методы расчета на прочность обечаек и днищ с учетом смещения кромок сварных соединений, угловатости и некруглости обечаек.
13. ГОСТ Р 52857.1-2007. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Общие требования.

14. ГОСТ Р 52857.2-2007. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет цилиндрических и конических обечаек, выпуклых и плоских днищ и крышек.

15. ГОСТ Р 52857.3-2007. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Укрепление отверстий в обечайках и днищах при внутреннем и внешнем давлениях. Расчет на прочность обечаек и днищ при внешних статических нагрузках на штуцер.

16. ГОСТ Р 52857.4-2007. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет на прочность и герметичность фланцевых соединений.

17. ГОСТ Р 52857.5-2007. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет обечаек и днищ от воздействия опорных нагрузок.

18. ГОСТ Р 52857.9-2007. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Определение напряжений в местах пересечений штуцеров с обечайками и днищами при воздействии давления и внешних нагрузок на штуцер.

19. ГОСТ Р 52630-2006. Сосуды и аппараты стальные сварные. Общие технические условия.

ГОСТ Р 53684-2009. Аппараты колонные. Технические требования.

20. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. - М.: Химия, 1973.

21. Каталог «Колонные аппараты». Изд. 2-е, исправленное и дополненное. УкрНИИХИММАШ, 29 с.

22. Кафаров В.В. Основы массопередачи. Системы газ - жидкость, пар - жидкость, жидкость - жидкость : учебное пособие для хим.-технол. вузов / В. В. Кафаров. — Москва: Высшая школа, 1962. — 655 с.:

23. Кузнецов А.А. Расчеты процессов и аппаратов нефтеперерабатывающей промышленности : учебное пособие / А. А. Кузнецов, С. М. Кагерманов, Е. Н. Судаков. — 2-е изд., перераб. и доп. — Ленинград: Химия, 1974. — 344 с.

24. Кутепов А. М., Бондарева Т. И., Беренгартен Н. Г., Общая химическая технология, изд. 2-е, перераб. и доп., М.: «Высшая школа», 1990. — 522 с.

25. Лащинский А.А. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры: справочник / А.А. Лащинский, А.Р. Толчинский. – М.: Альянс, 2008. – 752 с.
26. Машины и аппараты химических и нефтехимических производств. Т. IV-12 / М.Б. Генералов, В.П. Александров, В.В. Алексеев и др.; Под общ.ред. М.Б. Генералова. – М.: Машиностроение, 2004 – 832 с.; с ил.
27. Машины и аппараты химических производств / под ред. И.И. Чернобыльского. – М.: Машиностроение, 1975. – 454 с.
28. Основные процессы и аппараты химической технологии: Пособие по проектированию / под ред. Ю. И. Дытнерского. – М.: Химия, 1983. – 272 с.
29. ОСТ 26-467-84 Опоры цилиндрические и конические вертикальных аппаратов. Типы и основные размеры.
30. ОСТ 26.260.3-2001 Сварка в химическом машиностроении. Основные положения.
31. ОСТ 26 291-94 Сосуды и аппараты стальные сварные. Общие технические условия.
32. ОСТ 26-01-66-86 Тарелки колпачковые стальных колонных аппаратов. Параметры, конструкция и размеры.
33. ОСТ 26-01-1488-83 Аппараты колонные тарельчатые. Методы технологического и гидродинамического расчета.
34. Павлов К. Ф., Романков П. Г., Носков А. А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии, М.: Химия, 1970. – 624 с.
35. Плановский А. Н., Рамм В. М., Соломон З. К. Процессы и аппараты химической технологии, М.: Химия, 1967. – 848 с.
36. Расчет и конструирование машин и аппаратов химических производств. Примеры и задачи / под ред. М.Ф. Михалева. – Л.: Машиностроение, 1984. 301 с.
37. Скобло А. И., Молоканов Ю. К., Владимиров А. И., Щелкунов В. А. Процессы и аппараты нефтегазопереработки и нефтехимии. Учебник для вузов. – 3-е изд., переаб. и доп. – М.: ООО «Недрабизнесцентр», 2000. – 677 с. ил.

38. Технологические расчеты установок переработки нефти: Учебное пособие для вузов / А.М. Танатаров, М.Н. Ахметшина, Р.А. Фасхутдинов и др. М.: Химия, 1987. 352 с.

39. Технология и оборудование процессов переработки нефти и газа : учебное пособие / С. А. Ахметов [и др.]. — СПб.: Недра, 2006. — 868 с.

40. Технология, экономика и автоматизация процессов переработки нефти и газа : учебное пособие / С. А. Ахметов [и др.]; под ред. С. А. Ахметова. — Москва: Химия, 2005. — 736 с.

41. Тимонин А.С. основы конструирования и расчета химико-технологического и природоохранного оборудования. Справочник. — Калуга: Изд. Н. Бочкаревой, 2002. Т.1, 852 с., т.2, 1028 с., т.3, 968 с.

42. Эмирджанов Р.Т. Основы технологических расчетов в нефтепереработке — Ленинград: Химия, 1965. 353 с.

43. Эмирджанов, Рауф Таирович. Основы технологических расчетов в нефтепереработке и нефтехимии: учебное пособие для ВУЗов / Р. Т. Эмирджанов, Р. А. Лемберанский. — Москва: Химия, 1989. — 192 с.: ил.

44. Санитарные правила и нормы СанПиН 2.2.4.548-96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений».

45. Санитарные правила и нормы СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 «Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий».

46. Генеральное соглашение между общероссийскими объединениями профсоюзов, общероссийскими объединениями работодателей и Правительством Российской Федерации на 2014 - 2016 годы

47. Нормы радиационной безопасности НРБ-99/2009. Санитарные правила и нормы СанПиН 2.6.1.2523-09.

48. Технический регламент ТР «О безопасности средств индивидуальной защиты» от 24 декабря 2009г. №1213.

49. Технический регламент ТР «О требованиях пожарной безопасности» №123-ФЗ от 22 июля 2008г.

50. Нормы пожарной безопасности НПБ 155-2002 «Техника пожарная. Огнетушители. Порядок постановки огнетушителей на производство и проведения сертификационных испытаний».

51. Федеральный закон от 28.12.2013 N 426-ФЗ (ред. от 13.07.2015) "О специальной оценке условий труда".

52. Технический регламент ТР «О безопасности машин и оборудования» от 15 сентября 2009 г., № 753.

53. Технический регламент ТР «О безопасности зданий и сооружений» от 23 декабря 2009 г., № 384-ФЗ.

54. Приказ министерства здравоохранения и социального развития РФ «Об утверждении норм и условий бесплатной выдачи работникам, занятым на работах с вредными условиями труда, молока и других равноценных пищевых продуктов. Порядка осуществления компенсационной выплаты в размере, эквивалентном стоимости молока или других равноценных пищевых продуктов, и перечня вредных производственных факторов, при воздействии которых в профилактических целях рекомендуется употребление молока или других равноценных пищевых продуктов» от 16 февраля 2009 г. № 45н.

55. Приказ министерства здравоохранения и социального развития РФ «Об утверждении типовых норм бесплатной выдачи работникам смывающих и (или) обезвреживающих средств и стандарта безопасности труда «Обеспечение работников смывающими и (или) обезвреживающими средствами» от 17 декабря 2010 г. № 1122н.

56. Приказ министерства здравоохранения и социального развития РФ «Об утверждении перечня вредных и (или) опасных производственных факторов и работ, при выполнении которых проводятся предварительные и периодические медицинские осмотры (обследования), и порядка проведения обязательных и периодических медицинских осмотров (обследований) работников, занятых на тяжелых работах и на работах с вредными и (или) опасными условиями труда» от 12 апреля 2011 г. № 302н.

57. «Трудовой кодекс РФ» от 30 декабря 2001 г. (ред. от 28 декабря 2013 г.).

58. Постоянный технологический регламент на установку Блока атмосферной перегонки нефти ООО «Юргаус».

59. Багиров И.Т. Современные установки первичной переработки нефти. – Москва: Химия, 1974. – 240 с.

60. Альбом технологических схем процессов переработки нефти и газа. – Под ред. Б.И. Бондаренко. – Москва: Химия, 1983. – 128 с.

Приложение А. Расчет на ветровую нагрузку

1. Исходные данные для расчета на ветровую нагрузку

Высота аппарата	$H := 11\text{м}$
Диаметр аппарата (условный)	$D := 600\text{мм}$
Толщина стенки	$s := 10\text{мм}$
Число тарелок	$N_T := 18$
Масса одной тарелки	$m_T := 14\text{кг}$
Плотность жидкости на тарелках	$\rho_{\text{ж}} := 750 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$

2. Определение монтажной массы аппарата

Плотность материала аппарата

$$\rho := 7850 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

Ориентировочный вес обечайки

$$G_{\text{об}} := \frac{\pi \cdot [(D + 2s)^2 - D^2]}{4} H \cdot \rho \cdot g \quad G_{\text{об}} = 0.0162 \text{ МН}$$

Вес тарелок

$$G_T := m_T \cdot N_T \cdot g \quad G_T = 0.0025 \text{ МН}$$

Суммарная масса вспомогательных устройств, днищ, опоры аппарата

$$G_{\text{вУ}} := 0.1 G_{\text{об}} \quad G_{\text{вУ}} = 0.0016 \text{ МН}$$

Монтажный вес аппарата

$$G_{\text{монт}} := G_{\text{вУ}} + G_{\text{об}} \quad G_{\text{монт}} = 0.0179 \text{ МН} \quad \frac{G_{\text{монт}}}{g} = 2 \text{ т}$$

Масса аппарата в работе увеличивается на массу жидкости в аппарате. Высота слоя жидкости

$$h_{\text{ж}} := 30 \cdot \text{мм}$$

Вес жидкости на тарелках

$$G_{\text{ж}} := N_T \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot h_{\text{ж}} \cdot \rho_{\text{ж}} \cdot g \quad G_{\text{ж}} = 0.0011 \text{ МН}$$

Рабочий вес аппарата

$$G_{\text{раб}} := G_{\text{монт}} + G_{\text{ж}} \quad G_{\text{раб}} = 0.0190 \text{ МН} \quad \frac{G_{\text{раб}}}{g} = 2 \text{ т}$$

3. Определение периода свободных колебаний аппарата

Момент инерции сечения аппарата

$$J := \frac{\pi}{8} \cdot (D + 2s)^3 \cdot s \quad J = 9.3591 \times 10^{-4} \text{ м}^4$$

Модуль нормальной упругости материала корпуса аппарата

$$E_t := 2 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Период свободных колебаний аппаратов постоянного сечения

$$\frac{H}{D} = 18.333 \quad \frac{H}{D} > 15 = 1$$

$$T_{\text{монт}} := 1.79 \cdot H \cdot \sqrt{\frac{G_{\text{монт}} \cdot H}{E_t \cdot J \cdot g}} \quad T_{\text{монт}} = 0.204 \text{ с}$$

$$T_{\text{раб}} := 1.79 \cdot H \cdot \sqrt{\frac{G_{\text{раб}} \cdot H}{E_t \cdot J \cdot g}} \quad T_{\text{раб}} = 0.21 \text{ с}$$

4. Определение ветровой нагрузки

Количество участков по высоте аппарата

$$n := 10 \quad i := 0..n - 1$$

Высота каждого участка

$$\Delta h := \frac{H}{n} \quad \Delta h = 1.1 \text{ м}$$

Высоты центров тяжести каждого участка

$$h_i := \left(i + \frac{1}{2}\right) \cdot \Delta h$$

$$h^T =$$

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	0.55	1.65	2.75	3.85	4.95	6.05	7.15	8.25	9.35	10.45

м

Нормативный скоростной напор ветра на высоте 10м для III географич района

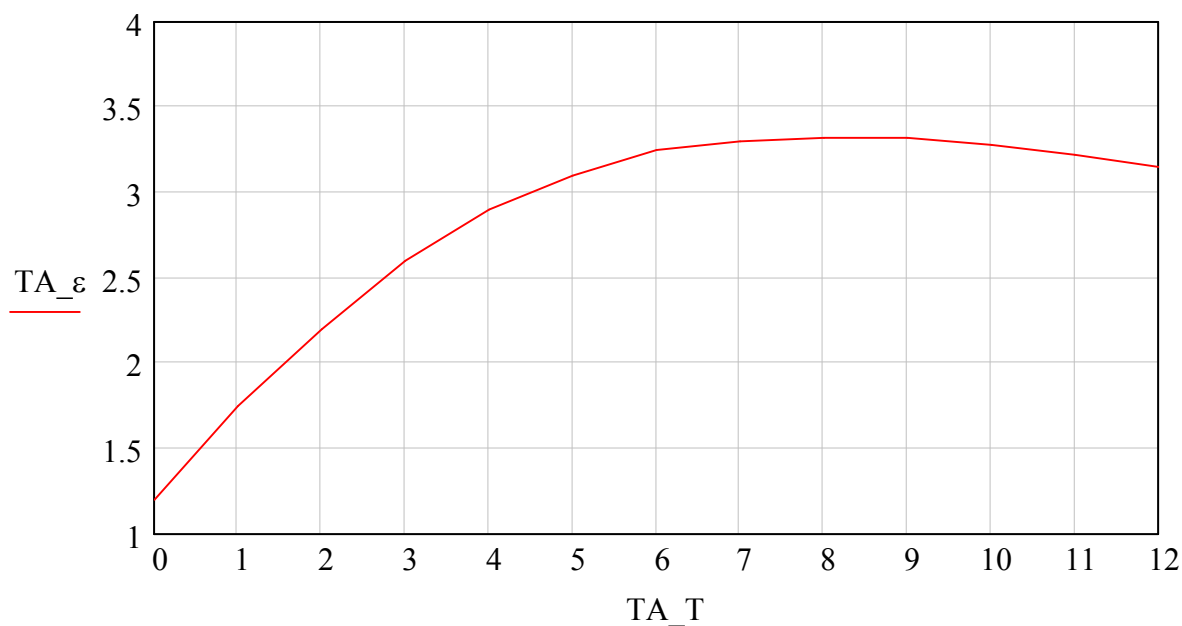
$$q_0 := 0.045 \cdot 10^{-2} \frac{\text{МН}}{\text{м}^2}$$

График для определения коэффициента динамичности

$$TA_T := (0 \ 1 \ 2 \ 3 \ 4 \ 5 \ 6 \ 7 \ 8 \ 9 \ 10 \ 11 \ 12)^T$$

$$TA_e := (1.2 \ 1.75 \ 2.2 \ 2.6 \ 2.9 \ 3.1 \ 3.25 \ 3.3 \ 3.32 \ 3.32 \ 3.28 \ 3.22 \ 3.15)^T$$

$$\varepsilon(T) := \text{linterp}\left(TA_T, TA_e, \frac{T}{c}\right)$$



Тогда коэффициенты динамичности при монтаже и эксплуатации аппарата

$$\varepsilon_{\text{МОНТ}} := \varepsilon(T_{\text{МОНТ}}) \quad \varepsilon_{\text{МОНТ}} = 1.312$$

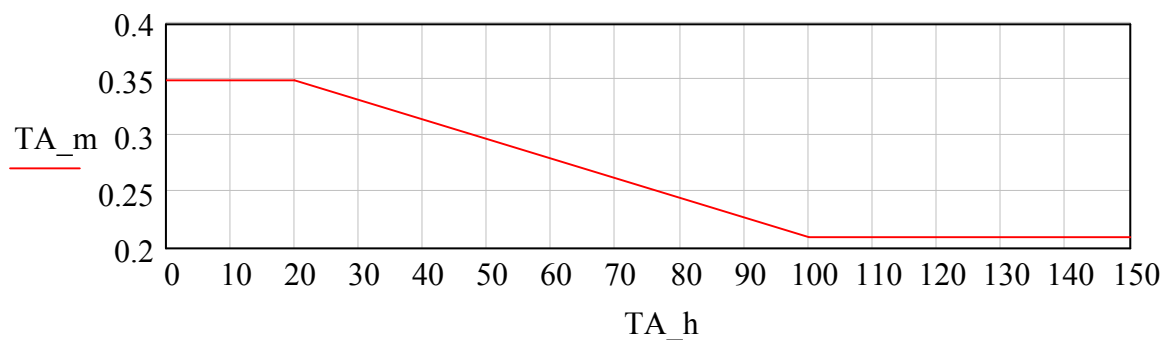
$$\varepsilon_{\text{РАБ}} := \varepsilon(T_{\text{РАБ}}) \quad \varepsilon_{\text{РАБ}} = 1.315$$

График для определения коэффициента пульсаций скоростного напора ветра

$$TA_h := (0 \ 20 \ 100 \ 150)^T$$

$$TA_m := (0.35 \ 0.35 \ 0.21 \ 0.21)^T$$

$$\Omega m(h) := \text{interp}\left(TA_h, TA_m, \frac{h}{m}\right)$$



Тогда коэффициенты пульсации скоростного напора ветра

$$m := \Omega m(h)$$

$$m^T =$$

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	0.350	0.350	0.350	0.350	0.350	0.350	0.350	0.350	0.350	0.350

Коэффициент увеличения скоростного напора ветра при монтаже и эксплуатации аппарата

$$\beta_{\text{монт}} := 1 + \varepsilon_{\text{монт}} \cdot m$$

$$\beta_{\text{монт}}^T =$$

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	1.459	1.459	1.459	1.459	1.459	1.459	1.459	1.459	1.459	1.459

$$\beta_{\text{раб}} := 1 + \varepsilon_{\text{раб}} \cdot m$$

$$\beta_{\text{раб}}^T =$$

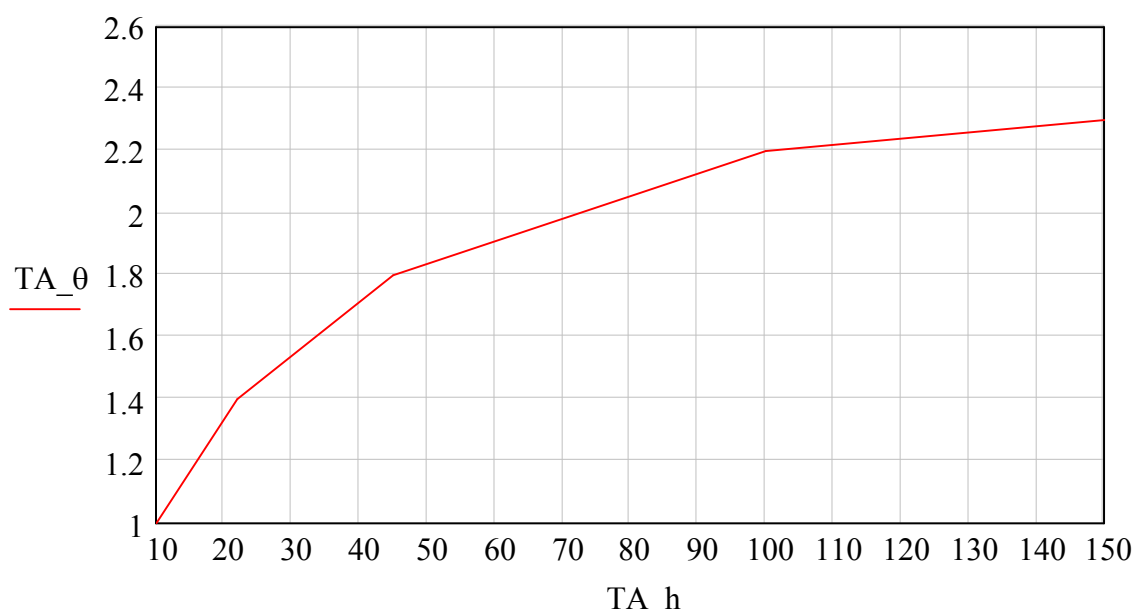
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	1.46	1.46	1.46	1.46	1.46	1.46	1.46	1.46	1.46	1.46

График для определения поправочного коэффициента на увеличение скоростного напора ветра

$$TA_{\theta} := (1 \quad 1 \quad 1.4 \quad 1.8 \quad 2.2 \quad 2.3)^T$$

$$TA_h := (0 \quad 10 \quad 22 \quad 45 \quad 100 \quad 150)^T$$

$$\Omega_{\theta}(h) := \text{linterp}\left(TA_h, TA_{\theta}, \frac{h}{m}\right)$$



Поправочный коэффициент на увеличение скоростного напора ветра для проектируемого аппарата

$$\theta := \Omega_{\theta}(h)$$

$$\theta^T =$$

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1.015

Нормативный скоростной напор ветра для участков аппарата

$$q := q_0 \cdot \theta$$

$$q^T =$$

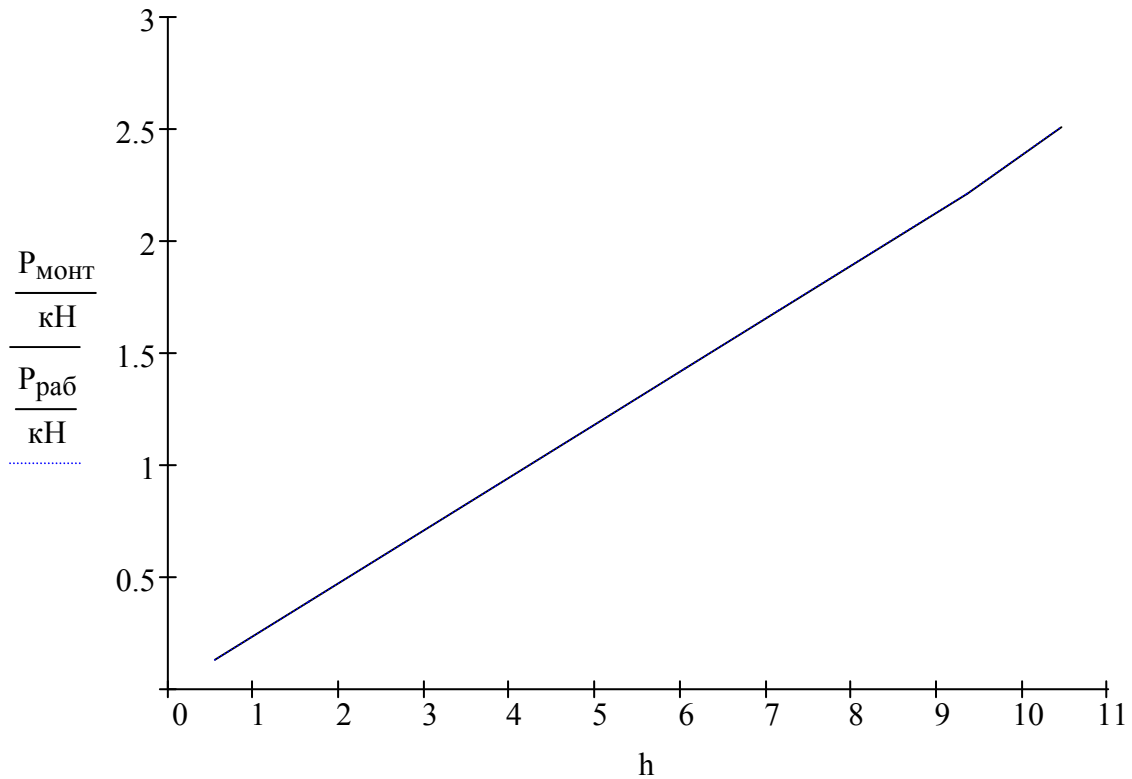
	0	1	2	3	4	5
0	$4.5 \cdot 10^{-4}$	$4.5 \cdot 10^{-4}$	$4.5 \cdot 10^{-4}$	$4.5 \cdot 10^{-4}$	$4.5 \cdot 10^{-4}$	$4.5 \cdot 10^{-4}$

$$\frac{\text{МН}}{\text{м}^2}$$

Сила, действующая на участок аппарата

$$P_{\text{монт}} := \overrightarrow{(0.6 \cdot \beta_{\text{монт}} \cdot q \cdot D \cdot h)}$$

$$P_{\text{раб}} := \overrightarrow{(0.6 \cdot \beta_{\text{раб}} \cdot q \cdot D \cdot h)}$$



Изгибающий момент от ветровой нагрузки относительно основания аппарата

$$M_{\text{в_монт}} := P_{\text{монт}} \cdot h \quad M_{\text{в_монт}} = 0.0955 \text{ МН} \cdot \text{м}$$

$$M_{\text{в_раб}} := P_{\text{раб}} \cdot h \quad M_{\text{в_раб}} = 0.0956 \text{ МН} \cdot \text{м}$$

Расчет на сейсмическую нагрузку

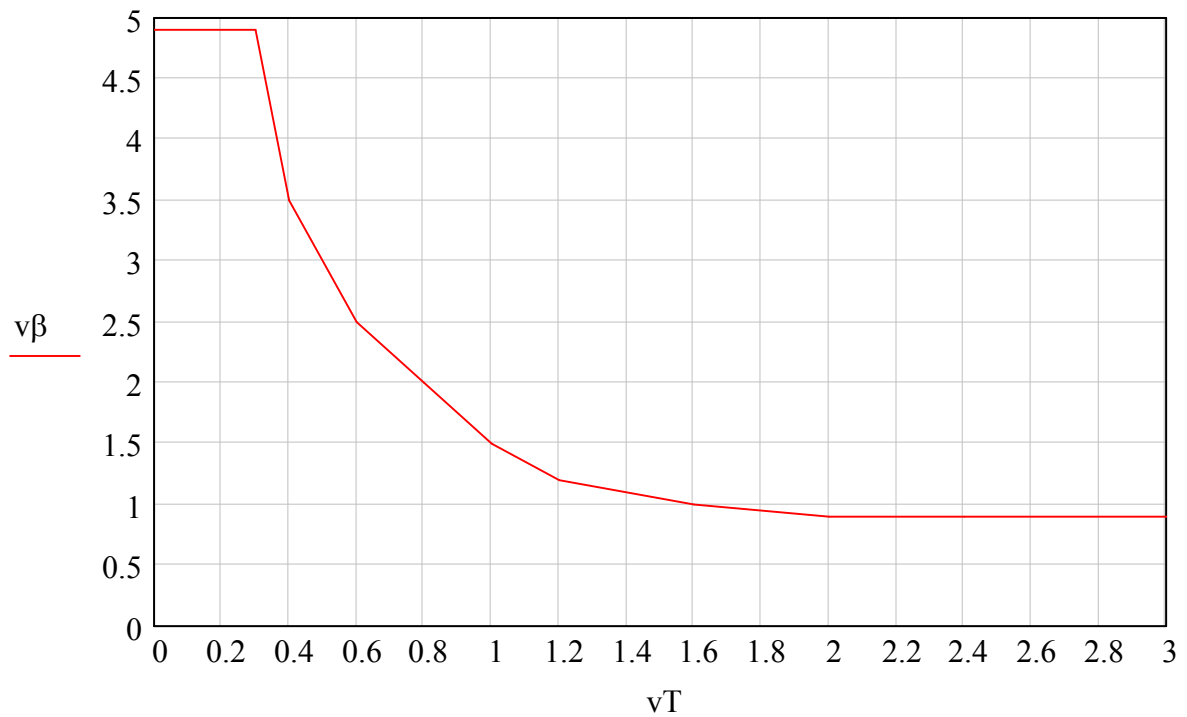
Сейсмический коэффициент для расчётной сейсмичности 7

$$K_c := 0.025$$

График для определения коэффициента динамичности для $H/D > 15$

$$\nu T := (0.0 \quad 0.3 \quad 0.4 \quad 0.6 \quad 0.8 \quad 1.0 \quad 1.2 \quad 1.6 \quad 2.0 \quad 2.4 \quad 3.0)^T \cdot \text{с}$$

$$\nu \beta := (4.9 \quad 4.9 \quad 3.5 \quad 2.5 \quad 2.0 \quad 1.5 \quad 1.2 \quad 1.0 \quad 0.9 \quad 0.9 \quad 0.9)^T$$



$$f_{\beta}(T) := \text{interp}(vT, v\beta, T)$$

Для рабочих условий

$$\beta_{\text{монт}} := f_{\beta}(T_{\text{раб}}) \quad \beta_{\text{монт}} = 4.9000$$

$$\beta_{\text{раб}} := f_{\beta}(T_{\text{раб}}) \quad \beta_{\text{раб}} = 4.900$$

$$Q_{\text{раб}_i} := \frac{G_{\text{раб}}}{n} \quad Q_{\text{монт}_i} := \frac{G_{\text{монт}}}{n}$$

$$x := H - h$$

Величина сейсмической силы в середине i-го участка

$$\frac{H}{D} = 18.333 \quad \frac{H}{D} > 15 = 1$$

$$\sum_i \left[Q_{\text{раб}_i} \cdot (x_i)^2 \right] = 0.763 \text{ MH} \cdot \text{м}^2$$

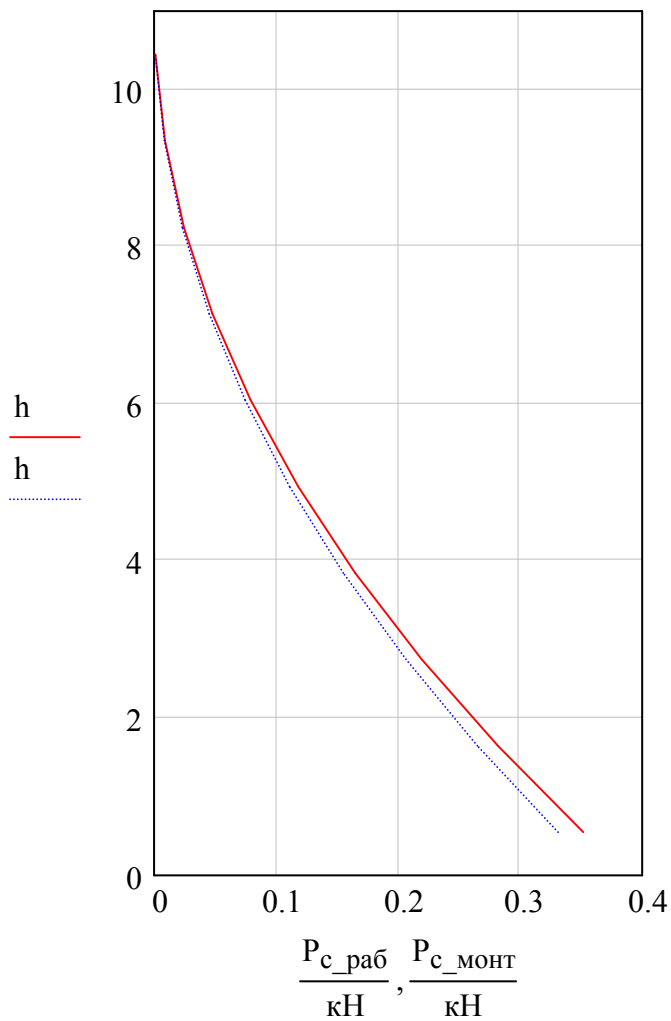
$$\sum_i \left[Q_{\text{раб}_i} \cdot (x_i)^2 \right] = 0.763 \text{ MH} \cdot \text{м}^2$$

$$\sum_i \left[Q_{\text{раб}_i} \cdot (x_i)^4 \right] = 55.097 \text{ MH} \cdot \text{м}^4$$

$$\sum_i \left[Q_{\text{монт}_i} \cdot (x_i)^4 \right] = 51.836 \text{ MH} \cdot \text{м}^4$$

$$P_{c_pa\delta_i} := K_c \cdot \beta_{pa\delta} \cdot Q_{pa\delta_i} \cdot (x_i)^2 \cdot \frac{\sum_i \left[Q_{pa\delta_i} \cdot (x_i)^2 \right]}{\sum_i \left[Q_{pa\delta_i} \cdot (x_i)^4 \right]}$$

$$P_{c_moHT_i} := K_c \cdot \beta_{moHT} \cdot Q_{moHT_i} \cdot (x_i)^2 \cdot \frac{\sum_i \left[Q_{moHT_i} \cdot (x_i)^2 \right]}{\sum_i \left[Q_{moHT_i} \cdot (x_i)^4 \right]}$$



$$T_{pa\delta} = 0.21 \text{ c}$$

$$T_{moHT} = 0.204 \text{ c}$$

$$M_{c_pa\delta} := \sum_i P_{c_pa\delta_i} \cdot x_i \quad M_{c_pa\delta} = 0.0107 \text{ MH} \cdot \text{M}$$

$$M_{B_moHT} = 0.0955 \text{ MH} \cdot \text{M}$$

$$M_{c_moHT} := \sum_i P_{c_moHT_i} \cdot x_i \quad M_{c_moHT} = 0.0100 \text{ MH} \cdot \text{M}$$

$$M_{B_pa\delta} = 0.0956 \text{ MH} \cdot \text{M}$$

$$M_{\text{монт}} := M_{\text{в_монт}} + M_{\text{с_монт}} \quad M_{\text{монт}} = 0.1055 \text{ МН} \cdot \text{м}$$

$$M_{\text{раб}} := M_{\text{в_раб}} + M_{\text{с_раб}} \quad M_{\text{раб}} = 0.1062 \text{ МН} \cdot \text{м}$$

6. Расчет опоры аппарата

Максимальный изгибающий момент

$$M_{\text{max}} := \max(M_{\text{монт}}, M_{\text{раб}}) \quad M_{\text{max}} = 0.1062 \text{ МН} \cdot \text{м}$$

Минимальный изгибающий момент

$$M_{\text{min}} := \min(M_{\text{монт}}, M_{\text{раб}}) \quad M_{\text{min}} = 0.1055 \text{ МН} \cdot \text{м}$$

Максимальный вес аппарата

$$G_{\text{max}} := \max(G_{\text{монт}}, G_{\text{раб}}) \quad G_{\text{max}} = 0.0190 \text{ МН}$$

Минимальный изгибающий момент

$$G_{\text{min}} := \min(G_{\text{монт}}, G_{\text{раб}}) \quad G_{\text{min}} = 0.0179 \text{ МН}$$

Условный диаметр опоры

$$D_{\text{оп}} := D \quad D_{\text{оп}} = 0.6 \text{ м}$$

Для выбранной опоры выбираем данные из справочника

$$D_2 := 550 \text{ мм}$$

$$D_1 := 800 \text{ мм}$$

$$s_{\text{оп}} := 6 \text{ мм}$$

$$l_{\text{вн}} := \frac{D_{\text{оп}} - D_2}{2} \quad l_{\text{вн}} = 25 \text{ мм}$$

$$l_{\text{нар}} := \frac{D_1 - D_{\text{оп}} - 2s_{\text{оп}}}{2} \quad l_{\text{нар}} = 94 \text{ мм}$$

Опорная площадь кольца

$$F := \frac{\pi}{4} \cdot (D_1^2 - D_2^2) \quad F = 0.265 \text{ м}^2$$

Момент сопротивления опорной площади кольца

$$W := \frac{\pi}{32} \cdot \frac{D_1^4 - D_2^4}{D_1} \quad W = 0.039 \text{ м}^3$$

Максимальное напряжение сжатия на опорной поверхности кольца

$$\sigma := \frac{G_{\max}}{F} + \frac{M_{\max}}{W} \quad \sigma = 2.793 \text{ МПа}$$

Следовательно, фундамент для аппарата должен быть изготовлен бетона марки 200, для которого допускаемое напряжение

$$\sigma_{\text{дф}} := 14 \text{ МПа}$$

Допускаемое напряжение на изгиб для материала опоры

$$\sigma_{\text{ид}} := 450 \text{ МПа}$$

Номинальная расчетная толщина опорного кольца

$$s_{\text{к}} := 1.73 \cdot l_{\text{нар}} \cdot \sqrt{\frac{\sigma}{\sigma_{\text{ид}}}} \quad s_{\text{к}} = 12.812 \text{ мм}$$

Наибольшее напряжение на опорной поверхности кольца

$$\sigma_{\text{x1}} := \frac{G_{\max}}{F} - \frac{M_{\max}}{W} \quad \sigma_{\text{x1}} = -2.650 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{\text{x2}} := \frac{G_{\min}}{F} - \frac{M_{\min}}{W} \quad \sigma_{\text{x2}} = -2.636 \text{ МПа}$$

Поскольку расчетные значения меньше 0, то аппарат является неустойчивым, необходима установка фундаментных болтов

Расчетное напряжение для расчета болтов

$$\sigma_{\text{б}} := \max(|\sigma_{\text{x1}}|, |\sigma_{\text{x2}}|) \quad \sigma_{\text{б}} = 2.650 \text{ МПа}$$

Общая условная расчетная нагрузка на фундаментные болты

$$P_{\text{б}} := \frac{\pi}{4} \cdot (D_1^2 - D_2^2) \cdot \sigma_{\text{б}} \quad P_{\text{б}} = 0.702 \text{ МН}$$

Количество болтов определяется конструктивно

$$z := 6$$

Нагрузка на один болт

$$P_{\text{б1}} := \frac{P_{\text{б}}}{z} \quad P_{\text{б1}} = 0.117 \text{ МН}$$

Допускаемое напряжение для материала болтов

$$\sigma_{\text{бд}} := 350 \text{ МПа}$$

Прибавка на коррозию для болтов

$$c_{\text{кб}} := 2 \text{ мм}$$

Расчетный диаметр резьбы болта

$$d_{\text{б}} := \sqrt{\frac{4P_{\text{б1}}}{\pi \sigma_{\text{бд}}}} + c_{\text{кб}} \quad d_{\text{б}} = 22.637 \text{ мм}$$

Принимаем диаметр фундаментных болтов

$$d_b := 24 \text{ мм}$$

Тогда диаметр болтовой окружности при $d_b > 30 \text{ мм}$

$$D_b := D + 2s_{оп} + 4d_b \quad D_b = 0.708 \text{ м}$$

Принимаем

$$D_b := 720 \text{ мм}$$

Минимальный наружный диаметр опоры

$$D_1 := D_b + 3d_b \quad D_1 = 0.792 \text{ м}$$

Общая длина сварного шва

$$L_{ш} := \pi \cdot D \quad L_{ш} = 1.885 \text{ м}$$

Катет сварного шва

$$h_{ш} := 6 \text{ мм}$$

Допустимое напряжение сдвига

$$\tau_{сд} := 120 \text{ МПа}$$

Допустимая нагрузка на опору

$$G_d := 0.7 L_{ш} \cdot h_{ш} \cdot \tau_{сд} \quad G_d = 0.950 \text{ МН}$$

Фактическая максимальная нагрузка

$$G_{\phi} := \begin{pmatrix} G_{\text{монт}} \\ G_{\text{раб}} \end{pmatrix} \quad G_{\phi} = \begin{pmatrix} 0.0179 \\ 0.0190 \end{pmatrix} \text{ МН}$$

$$G_{\phi} := \max(G_{\phi}) \quad G_{\phi} = 0.019 \text{ МН}$$

Условие прочности сварного шва

$$G_{\phi} < G_d = 1$$

Приведенное напряжение от внутреннего давления

$$\varphi := 1$$

$$c := 2.3 \text{ мм}$$

$$s := 10 \text{ мм}$$

$$D_B := 600 \text{ мм}$$

$$p_p := 0.3 \text{ МПа}$$

$$\sigma_n := \frac{p_p \cdot [D_B + (s - c)]}{2 \cdot \varphi \cdot (s - c)} \quad \sigma_n = 11.838 \text{ МПа}$$

Осевой момент сопротивления сечения колонны

$$W_{об} := \frac{\pi \cdot (D_B + s)^2 \cdot (s - c)}{4} \quad W_{об} = 2.2503 \times 10^{-3} \text{ м}^3$$

Напряжение изгиба от внешнего изгибающего момента

$$\sigma_{и} := \frac{M_{\max}}{W_{об}} \quad \sigma_{и} = 47.209 \text{ МПа}$$

Крутящий момент

$$M_K := 0 \text{ МН} \cdot \text{м}$$

Напряжение кручения в обечайке от внешнего крутящего момента

$$\tau_K := \frac{2M_K}{W_{об}} \quad \tau_K = 0 \text{ МПа}$$

Напряжение сжатия в обечайке от внешней осевой силы

$$G_{\max} = 0.019 \text{ МН}$$

$$\sigma_{сж} := \frac{G_{\max}}{\pi \cdot (D_B + s) \cdot (s - c)} \quad \sigma_{сж} = 1.286 \text{ МПа}$$

Эквивалентное напряжение в самом нагруженном сечении обечайки (куб колонны)

$$\sigma_{э} := \sqrt{(\sigma_{сж} + 0.8\sigma_{и})^2 + 3\tau_K^2} \quad \sigma_{э} = 39.053 \text{ МПа}$$

Допускаемое напряжение из условия устойчивости обечайки, работающей под совместным действием внутреннего давления, осевой силы, изгибающего и крутящего момента

$$\sigma_d := 163.5 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{\max} := 0.87 \cdot \sigma_d \cdot \sqrt{1.2 - \left(\frac{\sigma_n}{\sigma_d} \right)^2} \quad \sigma_{\max} = 155.481 \text{ МПа}$$

Условие устойчивости сечения обечайки

$$\sigma_{э} < \sigma_{\max} = 1$$

Приведенное напряжение от внутреннего давления

$$\varphi := 1$$

$$c := 0.5 \text{ мм}$$

$$s := 6 \text{ мм}$$

$$D_B := 600 \text{ мм}$$

$$p_p := 0 \text{ МПа}$$

$$\sigma_n := \frac{p_p \cdot [D_B + (s - c)]}{2 \cdot \varphi \cdot (s - c)} \quad \sigma_n = 0 \text{ МПа}$$

Осевой момент сопротивления сечения колонны

$$W_{об} := \frac{\pi \cdot (D_B + s)^2 \cdot (s - c)}{4} \quad W_{об} = 1.5863 \times 10^{-3} \text{ м}^3$$

Напряжение изгиба от внешнего изгибающего момента

$$\sigma_{и} := \frac{M_{\max}}{W_{об}} \quad \sigma_{и} = 66.968 \text{ МПа}$$

Крутящий момент

$$M_K := 0 \text{ МН} \cdot \text{м}$$

Напряжение кручения в обечайке от внешнего крутящего момента

$$\tau_K := \frac{2M_K}{W_{об}} \quad \tau_K = 0 \text{ МПа}$$

Напряжение сжатия в обечайке от внешней осевой силы

$$G_{\max} = 0.019 \text{ МН}$$

$$\sigma_{сж} := \frac{G_{\max}}{\pi \cdot (D_B + s) \cdot (s - c)} \quad \sigma_{сж} = 1.812 \text{ МПа}$$

7

Эквивалентное напряжение в самом нагруженном сечении обечайки (куб колонны)

$$\sigma_{э} := \sqrt{(\sigma_{сж} + 0.8\sigma_{и})^2 + 3\tau_K^2} \quad \sigma_{э} = 55.386 \text{ МПа}$$

Допускаемое напряжение из условия устойчивости обечайки, работающей под совместным действием внутреннего давления, осевой силы, изгибающего и крутящего момента

$$\sigma_d := 163.5 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{\max} := 0.87 \cdot \sigma_d \cdot \sqrt{1.2 - \left(\frac{\sigma_n}{\sigma_d} \right)^2} \quad \sigma_{\max} = 155.822 \text{ МПа}$$

Условие устойчивости сечения обечайки

$$\sigma_{э} < \sigma_{\max} = 1$$

Приложение Б. Расчет фланца царги

1. Исходные данные к расчету

Расчетное давление в аппарате	$p_p := 0.3 \text{ МПа}$
Давление при гидроиспытаниях	$p_{\text{и}} := 0.4271 \text{ МПа}$
Внутренний диаметр аппарата	$D := 600 \text{ мм}$
Срок службы аппарата	$\tau := 15 \text{ лет}$
Температура среды в аппарате	$t := 220^\circ \text{C}$
Скорость коррозии при рабочих условиях	$\Pi := 0.1 \cdot \frac{\text{мм}}{\text{год}}$

2. Выбор материала

Поправочный коэффициент, учитывающий вид заготовки	$\eta := 1.0$	
Нормативное допускаемое напряжение при расчетной температуре в аппарате	$\sigma_n := 163.5 \text{ МПа}$	
Нормативное допускаемое напряжение при температуре 20 градусов	$\sigma_{n20} := 186.2 \text{ МПа}$	
Минимальное значение предела текучести материала при температуре +20 градусов	$\sigma_{\tau 20} := 328 \text{ МПа}$	
Допускаемое напряжение при статических однократных нагрузках для рабочего состояния	$\sigma_D := \eta \cdot \sigma_n$	$\sigma_D = 163.50 \text{ МПа}$
Допускаемое напряжение при статических однократных нагрузках при температуре 20 градусов	$\sigma_{D20} := \eta \cdot \sigma_{n20}$	$\sigma_{D20} = 186.20 \text{ МПа}$
Допускаемое напряжение при гидроиспытаниях	$\sigma_{D_{\text{и}}} := \frac{\sigma_{\tau 20}}{1.1}$	$\sigma_{D_{\text{и}}} = 298.18 \text{ МПа}$
Прибавка к расчетной толщине	$c := \Pi \cdot \tau + 0.8 \text{ мм}$	$c = 2.30 \text{ мм}$

3. Расчет фланцевого соединения.

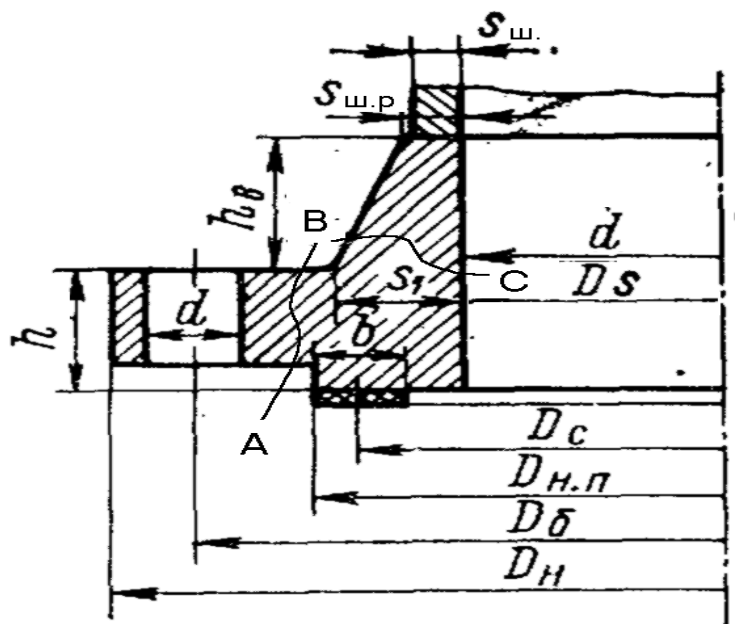


Рисунок к прочностному расчету фланца

3.1. Определение геометрических размеров.

Для проектируемого аппарата рекомендуется использовать плоские приварные фланцы [1, т. 1.36]. Расчетная температура таких неизолированных фланцев и их болтов определяется следующим образом

Расчетная температура неизолированных фланцев $t_{\phi} := 0.96 \cdot t$ $t_{\phi} = 211.20 \text{ K}$

Расчетная температура болтов фланцев $t_{\phi} := 0.95 \cdot t$ $t_{\phi} = 209.00 \text{ K}$

Допускаемое напряжение болтов при такой температуре составит $\sigma_{D_{\phi}} := 126 \text{ МПа}$

Толщина втулки фланца s_0 (не меньше, чем толщина стенки обечайки) $s_0 := 12 \text{ мм}$

Высота втулки фланца $h_B := 0.5 \cdot \sqrt{D \cdot (s_0 - c)}$ $h_B = 38.14 \text{ мм}$

Принятая высота втулки фланца $h_B := 35 \text{ мм}$

Наружный диаметр болтов для проектируемого фланца (рекомендуемый) $d_{\phi} := 22 \text{ мм}$ [1, т. 1.40]

Нормативный зазор между гайкой и втулкой $u := 15 \text{ мм}$ [1, с. 95]

Диаметр болтовой окружности фланцев $D_{\phi} := D + 2 \cdot (s_0 + d_{\phi} + u)$ $D_{\phi} = 698 \text{ мм}$

Принимаем диаметр болтовой окружности $D_{\phi} := 700 \text{ мм}$

Конструктивная добавка для размещения гаек по периметру $a := 40 \text{ мм}$ [1, с. 95]

Наружный диаметр фланца	$D_H := D_{\phi} + a$	$D_H = 740.00 \text{ мм}$
Нормативный параметр, зависящий от типа прокладки, (для плоских прокладок и принятого диаметра болтов)	$e := 35 \text{ мм}$	
Наружный диаметр прокладки	$D_{HП} := D_{\phi} - e$	$D_{HП} = 665.00 \text{ мм}$
Принимаем для зазора обтюрации	$D_{HП} := 663 \text{ мм}$	
Условная ширина прокладки обтюрации (для плоских металлических прокладок)	$b := 13 \text{ мм}$	
Средний диаметр прокладки	$D_{сП} := D_{HП} - b$	$D_{сП} = 650.00 \text{ мм}$
Рекомендуемый шаг расположения болтов	$t_{ш} := 75 \text{ мм}$	[1. т. 1.43]
Минимальное количество болтов, необходимое для обеспечения герметичности соединения	$n_{\phi} := \frac{\pi \cdot D_{\phi}}{t_{ш}}$	$n_{\phi} = 29.32$
Принимаем число болтов (кратное четырём)	$n_{\phi} := 32$	
Коэффициенты для определения ориентировочной высоты фланца	$\lambda_{\phi} := 0.47$	[1, рис. 1.40]
	$\beta_1 := 1.51$	[1, рис. 1.39]
Эквивалентная толщина втулки	$s_{\text{ЭК}} := s_0 \cdot \left[1 + \frac{h_B \cdot (\beta_1 - 1)}{h_B + 0.25 \cdot (\beta_1 + 1) \cdot \sqrt{D \cdot s_0}} \right]$ $s_{\text{ЭК}} = 14.43 \text{ мм}$	
Ориентировочная высота фланца	$h_{\phi} := \lambda_{\phi} \cdot \sqrt{D \cdot s_{\text{ЭК}}}$	$h_{\phi} = 43.73 \text{ мм}$
Принятая высота фланца	$h_{\phi} := 45 \cdot \text{мм}$	

3.2. Определение болтовой нагрузки в условиях монтажа.

Эквивалентная ширина прокладки	$b_0 := b$	$b_0 = 13.00 \text{ мм}$
Коэффициент жесткости прокладки	$K_{\text{пр}} := 4.0$	
Равнодействующая внутреннего давления	$F_d := p_p \cdot \pi \cdot \frac{D_{сП}^2}{4}$	$F_d = 0.10 \text{ МН}$
Реакция прокладки	$R_{\Pi} := \pi \cdot D_{сП} \cdot b_0 \cdot K_{\text{пр}} \cdot p_p$ $R_{\Pi} = 0.03 \text{ МН}$	
Коэффициент линейности прокладки	$k_{\Pi} := 1.0$	
Высота прокладки	$h_{\Pi} := 1.2 \cdot \text{мм}$	

Модуль Юнга для материала прокладки

$$E_{\Pi} := 0.694 \text{ МПа}$$

Линейная податливость неметаллической прокладки

$$y_{\Pi} := \frac{k_{\Pi} \cdot h_{\Pi}}{\pi \cdot E_{\Pi} \cdot D_{\text{сн}} \cdot b}$$

$$y_{\Pi} = 65.14 \frac{\text{мм}}{\text{МН}}$$

Определение угловой податливости фланца

Коэффициенты отношения диаметра аппарата и наружного диаметра фланца

$$\psi_1 := 1.28 \cdot \log\left(\frac{D_{\text{н}}}{D}\right)$$

$$\psi_1 = 0.12$$

$$\psi_2 := \frac{D_{\text{н}} + D}{D_{\text{н}} - D}$$

$$\psi_2 = 9.57$$

$$\lambda_{\phi 2} := \frac{h_{\phi}}{\sqrt{D \cdot s_{\text{ЭК}}}}$$

$$\lambda_{\phi 2} = 0.48$$

$$v := \frac{1}{1 + 0.9 \cdot \lambda_{\phi 2} \cdot \left[1 + \psi_1 \cdot \left(\frac{h_{\phi}}{s_{\text{ЭК}}} \right)^2 \right]}$$

$$v = 0.52$$

Модуль упругости материала фланца

$$E_{\phi} := 2 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

$$y_{\phi} := \frac{1 + v \cdot (1 + 0.9 \cdot \lambda_{\phi 2}) \cdot \psi_2}{h_{\phi}^3 \cdot E_{\phi}}$$

Угловая податливость фланца

$$y_{\phi} = 4.46 \times 10^{-4} \frac{1}{\text{МН} \cdot \text{мм}}$$

Определение линейной податливости болтов

Расчетная длина болтов

$$l_{\text{б0}} := 2 \cdot (h_{\phi} + h_{\Pi})$$

$$l_{\text{б0}} = 92.40 \text{ мм}$$

Принятая длина болтов

$$l_{\text{б0}} := 100 \text{ мм}$$

Расчетная длина болтов с учетом длины свинчивания

$$l_{\text{б}} := l_{\text{б0}} + 0.28 \cdot d_{\text{б}}$$

$$l_{\text{б}} = 106.16 \text{ мм}$$

Принятая длина болтов с учетом длины свинчивания

$$l_{\text{б}} := 110 \text{ мм}$$

Модуль упругости материала болтов

$$E_{\text{б}} := 1.91 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Площадь поперечного сечения болтов

$$f_{\text{б}} := \pi \frac{d_{\text{б}}^2}{4}$$

$$f_{\text{б}} = 380.13 \text{ мм}^2$$

Линейная податливость болтов

$$y_{\bar{6}} := \frac{l_{\bar{6}}}{E_{\bar{6}} \cdot f_{\bar{6}} \cdot n_{\bar{6}}} \quad y_{\bar{6}} = 0.05 \frac{\text{мм}}{\text{МН}}$$

Коэффициент жесткости фланцевого соединения

$$K_{\text{ж}} := \frac{y_{\bar{6}} + 0.5 \cdot y_{\text{ф}} \cdot (D_{\bar{6}} - D - s_{\text{эк}}) \cdot (D_{\bar{6}} - D_{\text{сп}})}{y_{\text{п}} + y_{\bar{6}} + 0.5 \cdot y_{\text{ф}} \cdot (D_{\bar{6}} - D_{\text{сп}})^2}$$

$$K_{\text{ж}} = 0.02$$

Внешняя осевая растягивающая сила

$$F := -0.0190 \text{ МН}$$

Внешний изгибающий момент

$$M := 0.1062 \text{ МН} \cdot \text{м}$$

Допускаемое давление на прокладку

$$p_{\text{пр}} := 14 \text{ МПа}$$

Значение болтовой нагрузки в условиях монтажа
(максимальное из двух)

$$F_{\bar{6}1} := \left[\begin{array}{c} K_{\text{ж}} \cdot (F_{\text{д}} + F) + R_{\text{п}} + \frac{4 \cdot M}{D_{\text{сп}}} \\ 0.5 \cdot \pi \cdot D_{\text{сп}} \cdot b_0 \cdot p_{\text{пр}} \end{array} \right]$$

$$F_{\bar{6}1} = \left(\begin{array}{c} 0.69 \\ 0.19 \end{array} \right) \text{ МН}$$

$$F_{\bar{6}1} := \max(F_{\bar{6}1})$$

$$F_{\bar{6}1} = 0.69 \text{ МН}$$

3.3. Определение болтовой нагрузки в рабочих условиях.

Коэффициент линейного расширения материала фланца

$$\alpha_{\text{ф}} := 1.2 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

Коэффициент линейного расширения материала болтов

$$\alpha_{\bar{6}} := 1.18 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

Тангенциальная составляющая усилия болтовой нагрузки в рабочих условиях

$$F_{\text{т}} := \frac{y_{\bar{6}} \cdot n_{\bar{6}} \cdot f_{\bar{6}} \cdot E_{\bar{6}} \cdot (\alpha_{\text{ф}} \cdot t_{\text{ф}} - \alpha_{\bar{6}} \cdot t_{\bar{6}})}{y_{\text{п}} + y_{\bar{6}} + 0.5 \cdot y_{\text{ф}} \cdot (D_{\bar{6}} - D_{\text{сп}})^2}$$

$$F_{\text{т}} = 1.14 \times 10^{-4} \text{ МН}$$

Болтовая нагрузка в рабочих условиях.

$$F_{\bar{6}2} := F_{\bar{6}1} + (1 - K_{\text{ж}}) \cdot (F_{\text{д}} + F) + F_{\text{т}}$$

$$F_{\bar{6}2} = 0.77 \text{ МН}$$

3.4. Условие прочности болтов

Допускаемое напряжение материала болтов при рабочей температуре

$$\sigma_{D_{\bar{6}}} := 142 \text{ МПа}$$

Допускаемое напряжение материала болтов при 20 градусах

$$\sigma_{D_{620}} := 147 \text{ МПа}$$

Расчетное напряжение материала болтов при рабочей температуре

$$\sigma_{\delta} := \frac{F_{\delta 2}}{n_{\delta} \cdot f_{\delta}}$$

$$\sigma_{\delta} = 62.98 \text{ МПа}$$

Расчетное напряжение материала болтов при монтаже

$$\sigma_{\delta 20} := \frac{F_{\delta 1}}{n_{\delta} \cdot f_{\delta}}$$

$$\sigma_{\delta 20} = 56.45 \text{ МПа}$$

Проверка условия прочности болтов при рабочих условиях

$$\frac{\sigma_{\delta}}{\sigma_{D_{\delta}}} = 44.35 \%$$

- выполняется

Проверка условия прочности болтов при рабочих условиях

$$\frac{\sigma_{\delta 20}}{\sigma_{D_{\delta 20}}} = 38.40 \%$$

- выполняется

3.5. Условие герметичности.

Приведенный изгибающий момент (максимальный из двух)

$$M_0 := \begin{bmatrix} 0.05 \cdot (D_{\delta} - D_{\text{сп}}) \cdot F_{\delta 1} \\ 0.05 \cdot [(D_{\delta} - D_{\text{сп}}) \cdot F_{\delta 2} + (D_{\text{сп}} - D - s_{\text{эк}}) \cdot F_{\text{д}}] \cdot \frac{\sigma_{D_{20}}}{\sigma_D} \end{bmatrix}$$

$$M_0 = \begin{pmatrix} 1.72 \\ 2.38 \end{pmatrix} \text{ МН} \cdot \text{мм}$$

$$M_0 := \max(M_0)$$

$$M_0 = 2.38 \text{ МН} \cdot \text{мм}$$

Колцевые напряжения фланца

$$\sigma_{\text{к}} := M_0 \cdot \left[1 - \nu \cdot (1 + 0.9 \cdot \lambda_{\phi 2}) \right] \cdot \frac{\psi_2}{D \cdot h_{\phi}^2}$$

$$\sigma_{\text{к}} = 4.80 \text{ МПа}$$

Угловое перемещение фланца

$$\theta := \frac{\sigma_{\text{к}} \cdot D}{E_{\phi} \cdot h_{\phi}}$$

$$\theta = 3.20 \times 10^{-4}$$

Допускаемое угловое перемещение

$$\theta_0 := 0.013$$

Проверка условия герметичности

$$\frac{\theta}{\theta_0} = 2.46 \%$$

- выполняется