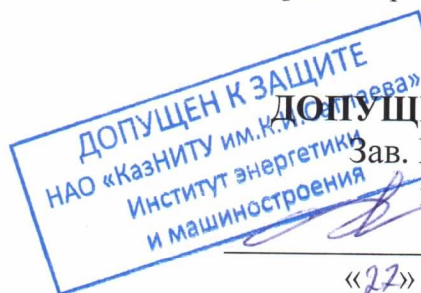


МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН
СӘТБАЕВ УНИВЕРСИТЕТІ
Казахский национальный исследовательский технический университет
им. К. И Сатпаева

Институт энергетики и машиностроения
Кафедра Технологические машины и транспорт



ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ
Зав. Кафедрой ТМиТ
канд. техн. наук.
С.А. Бортебаев
«22» 09 2021г.

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
К дипломному проекту

На тему: «Технологические процессы и оборудование для очистки пирогаза в
производстве этилена»

По специальности 5В072400 – Технологические машины и оборудования

Выполнил:

Сулейманов Р. Р.

Руководитель: к. т. н. ассоц. проф.

Карманов Т. Д.

Алматы 2021

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН
СӨТБАЕВ УНИВЕРСИТЕТІ

Институт энергетики и машиностроения
Кафедра Технологические машины и транспорт

Сулейманов Рушан Рашидович

Технологические процессы и оборудование для очистки пирогаза в
производстве этилена

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
к дипломному проекту

Специальность 5В072400 – Технологические машины и оборудования

Алматы 2021

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН
СӨТБАЕВ УНИВЕРСИТЕТІ
Институт энергетики и машиностроения
Кафедра Технологические машины и транспорт

Утверждаю
Зав. Кафедрой ТМиТ
канд. техн. наук.


С.А. Бортобаев
«23» 08 2021г.

**Задание
на выполнение дипломного проекта**

Студент Сулейманов Рушан Рашидович

Тема: «Технологические процессы и оборудование для очистки пирогаза в производстве этилена»

Утверждена приказом проректора по академическим вопросам института энергетики и машиностроения №1235-б от «25» августа 2021г.

Срок сдачи законченного дипломного проекта «30» сентября 2021г.

Исходные данные для составления дипломного проекта: Аналоговые технологические линии для очистки пирогаза в производстве этилена. Материалы научных отчетов действующих производств России по производству этилена.

Перечень подлежащих разработке в дипломном проекте вопросов:

а) краткие сведения о технологии производства этилена и очистки пирогаза.

б) описание предлагаемого способа для улучшения очистки пирогаза при производстве этилена.

в) расчет абсорбера на прочность.

г) расчет теплообменника на прочность.

д) расчет центробежного насоса.

е) изложить положения из ТБ.

Перечень чертежного материала:

а) технологическая схема производства; б) общий вид агрегата абсорбер;

в) общий вид установки теплообменник; г) общий вид центробежного насоса; д) на трех листах А1 детали ответственных узлов.

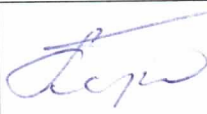
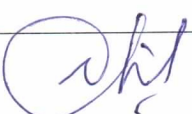
ГРАФИК

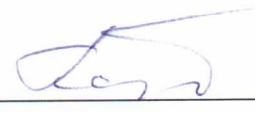
подготовки дипломного проекта

Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки предоставления руководителю	Примечание
Технологическая часть	27.09.2021	
Графическая часть	27.09.2021	
Экономика	27.09.2021	

Подписи

консультантов и нормоконтролера на законченный дипломный проект
с указанием относящихся к ним разделов проектов

Наименование разделов	Консультанты, И. О. Ф. (уч. степень, звание)	Дата подписания	Подпись
Технологическая часть	Т. Д. Карманов, канд. техн.наук, ассоц. проф.		
Графическая часть	Т. Д. Карманов канд. техн.наук, ассоц. проф.		
Экономика	Т. Д. Карманов канд. техн.наук, ассоц. проф.		
Нормоконтроллер	Е. Е. Сарыбаев	24.09.21	

Руководитель  Карманов Т. Д.

Задание принял к исполнению обучающийся _____ Сулейманов Р. Р.

Дата

«__» _____

АНДАТПА

"Этилен өндірісіндегі пирогазды тазалауға арналған технологиялық процестер мен жабдықтар" дипломдық жобасы.

Дипломдық жоба: 58 беттен тұратын түсіндірме жазба, 10 кесте, 15 сурет және 7 сызбадан тұратын графикалық бөлім.

Дипломдық жобада мыналар ұсынылған: Кіріспе, Негізгі бөлім, абсорбер, жылу алмастырғыш, орталықтан тепкіш сорғы есептеулері, өндірістік және экологиялық қауіпсіздікті қамтамасыз ету, техникалық-экономикалық есеп, қорытынды, жоба бойынша қорытынды және пайдаланылған әдебиеттер тізімі.

АННОТАЦИЯ

Дипломный проект «Технологические процессы и оборудование для очистки пирогаза в производстве этилена».

Дипломный проект состоит из: пояснительной записки, содержащей 58 страниц, 10 таблиц, 15 рисунков и графической части, содержащей 7 чертежей.

В дипломном проекте представлены: введение, основная часть, расчеты абсорбера, теплообменника, центробежного насоса, обеспечение производственной и экологической безопасности, технико-экономический расчет, заключение, выводы по проекту и список используемой литературы.

ANNOTATION

Diploma project "Technological processes and equipment for the purification of pyrogas in the production of ethylene".

The diploma project consists of: an explanatory note containing 58 pages, 10 tables, 15 figures and a graphic part containing 7 drawings.

The diploma project presents: introduction, main part, calculations of the absorber, heat exchanger, centrifugal pump, ensuring industrial and environmental safety, technical and economic calculation, conclusion, conclusions on the project and a list of used literature.

СОДЕРЖАНИЕ

	Введение	5
1.	Основная часть	6
2.	Расчет абсорбера	11
3.	Расчет теплообменника	21
4.	Расчет центробежного насоса	40
5.	Обеспечение производственной и экологической безопасности.	46
6.	Технико- экономический расчет	52
7	Заключение	56
8	Выводы по проекту	57
9	Список используемой литературы	58

ВВЕДЕНИЕ

ЩЕЛОЧНАЯ ОЧИСТКА ПИРОГАЗА. В промышленной практике систем разделения пирогаза применяют два метода выделения тяжелых углеводородов: абсорбционный — маслом в системе очистки газа (или перед ней) и ректификационный — на выходе из системы очистки (перед осушкой). В последнем случае очистка от тяжелых углеводородов совмещается с предварительным охлаждением газа. В некоторых схемах используется адсорбция как метод глубокой доочистки от тяжелых углеводородов.

Очистка пирогаза от двуокиси углерода и сероводорода осуществляется методом их абсорбции щелочным раствором. Особенность процесса заключается в том, что отработанный после абсорбции щелочной раствор помимо остатков свободной щелочи, карбонатов и сульфидов содержит еще значительное количество растворенных углеводородов и эмульгированных жидких полимеров в дисперсной и коллоидной формах.

Мною предлагается способ удешевление процесса и повышение степени очистки циркуляционного раствора от жидких полимеров и избытка карбонатов, устранение полимерных и солевых отложений на оборудовании, снижение загрязненности сточных вод, снижение отходов производства. Предлагаемая цель очистки пирогаза от сероводорода и двуокиси углерода достигается путем их абсорбции водным раствором гидроксида натрия с последующей очисткой отработанного щелочного раствора от эмульгированных жидких полимеров, растворенных углеводородов и карбонатов с последующей рециркуляцией части очищенного раствора на абсорбцию. Далее отработанный щелочной раствор подвергается ступенчатой физико-химической обработке: нейтрализации раствора с помощью минеральной кислоты или дымовых газов до pH 6-7, очистке от растворенных карбонатов, углеводородов и дисперсных примесей путем их осаждения с помощью последовательного дозирования в раствор известкового молока с дозой извести 50-150 мг/л и сернокислого железа с дозой 10-40 мг/л.

Степень очистки от жидких полимеров 80-93%, от карбонатов 90%. Такая обработка позволяет: 1) обеспечить более глубокую очистку от жидких полимеров и карбонатов, 2) снизить затраты на очистку, 3) устранить забивку аппаратов циркуляционного контура полимерами и солями. Предлагаемой очистке может быть подвергнут либо весь отработанный раствор, либо только его часть, выводимая из системы очистки.

1 Основная часть

Описание технологического процесса. Щелочная очистка пирогаза от CO_2 и H_2S с последующей отмывкой водой от остатков щелочи производится в колоннах К-7 и К-8 (рисунок 1).

Пирогаз после 4-ой степени сжатия компрессора В-3 из сепаратора Е-50, подается на очистку от сернистых соединений и двуокиси углерода в колонну щелочной очистки К-7 давлением 1,35-1,45 МПа (13,5-14,5 кгс/см²). Для подогрева пирогаза на входной линии перед колонной щелочной очистки К-7 установлен нагреватель с паровой рубашкой. Конденсат водяного пара отводится в емкость Е-5 узла деаэрации.

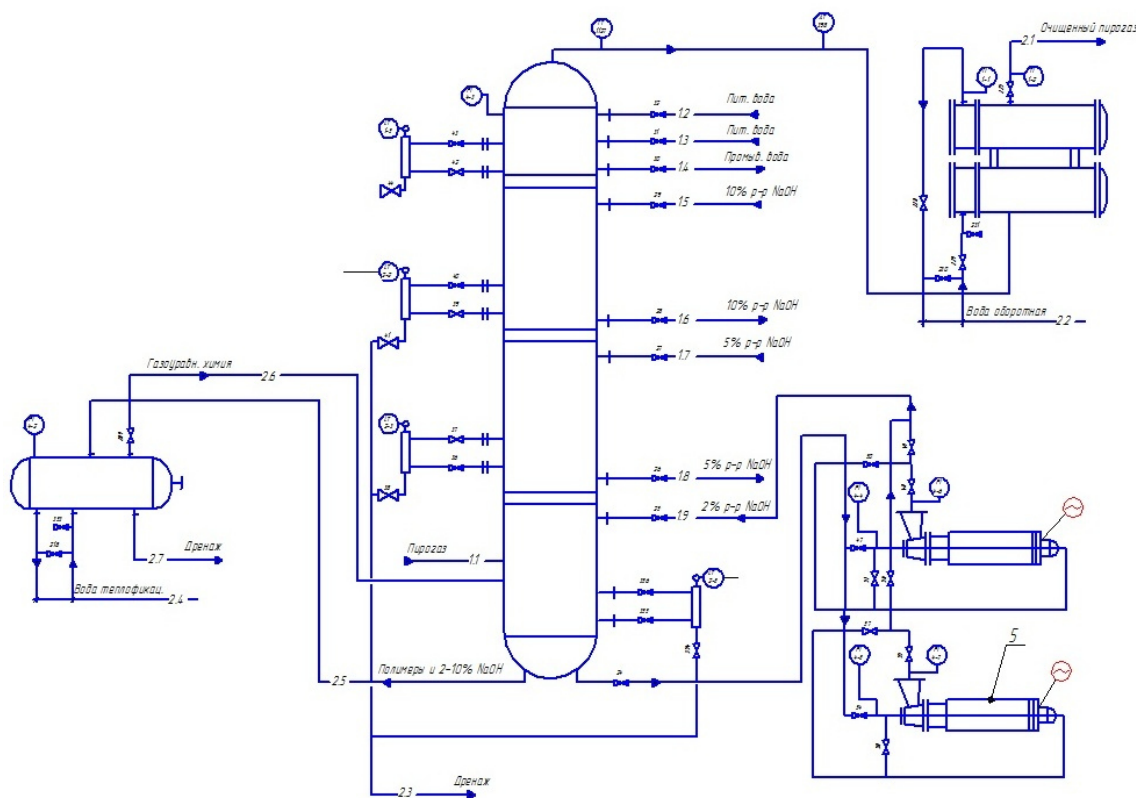


Рисунок 1 – Технологическая линия для очистки пирогаза

Колонна К-7 состоит из двух секций, разделенных по жидкости глухой тарелкой. Колонна оборудована внутренними устройствами разработки компании «Koch-Glitsch» Италия. Пирогаз проходя по внутренним устройствам колонны К-7 многократно контактирует с циркулирующим раствором едкого натра.

Циркуляция в нижней секции осуществляется насосами Н-15А/Б, в верхней – насосами Н-14А/Б. Избыток щелочи из верхней секции через переливную трубу глухой тарелки сливается в нижнюю секцию.

Сернисто-щелочные стоки из куба колонны К-7 направляются в емкость - дегазатор Е-18. Уровень в кубе колонны К-7 регулируется клапаном регулятором поз. 3-ЛВ 236, установленным на трубопроводе сернисто-

щелочных стоков из куба К-7 в емкость Е-18. Предусмотрена сигнализация минимального и максимального допустимого уровня в кубе колонны К-7, соответственно 50% и 80% шкалы. Из емкости Е-18 с давлением 0,2-0,4 МПа (2-4 кгс/см²) сернисто- щелочные стоки, охлаждаясь в водяном холодильнике Т-11, насосами Н-46А/Б откачиваются в цех НиОПСВ.

В емкость Е-18 также поступает химзагрязненная вода из аппарата Е-21, Е-24, конденсат из сепаратора Е-602 и избыток промывной воды колонны К-8. Из емкости Е-18 газовая фаза подается на всас II ступени компрессора В-3.

Давление в емкости Е-18 регулируется клапаном регулятором поз. 3-PV 216, установленным на трубопроводе отвода газовой фазы на всас II ступени компрессора В-3 либо на факел. Предусмотрена сигнализация максимального допустимого давления 0,4 МПа (4,0 кгс/см²) в емкость Е-18.

Уровень в емкости Е-18 регулируется клапаном регулятором поз. 3-LV 238, установленным на трубопроводе подачи отработанной щелочи из Т-11 на всас насосов Н-46А/Б. Предусмотрена сигнализация минимального и максимального допустимого уровня щелочи в Е-18, соответственно 30% и 70% шкалы.

Пирогаз из колонны К-7 поступает в нижнюю секцию колонны К-8.

Химочищенная вода принимается через водяной холодильник Т-12 в емкость Е-17.

10 %-ный раствор щелочи принимается по трубопроводу из цеха 0401 в емкость Е-16А/Б. Щелочь из емкости Е-16А/Б поступает на всас насосов Н-20А/Б.

Емкости Е-16 А/Б через воздушку соединены с атмосферой.

С целью возможности промывки колонн К-7, К-8 химочищенной водой смонтирована линия с нагнетания насосов Н-19А/Б на всас насосов Н-14А/Б, Н-15А/Б, Н-17А/Б.

При освобождении аппаратов и трубопроводов, при проверке приборов КИП, при промывке аппаратов и трубопроводов сернисто-щелочные стоки по дренажным линиям сбрасываются в емкость Е-15. По мере накопления уровня в емкости сернисто-щелочные стоки откачиваются погружным насосом Н-21 в цех нейтрализации и очистки промышленно-сточных вод.

Емкость Е-15 через воздушку соединена с атмосферой.

Технологической схемой предусмотрена возможность слива полимеров из колонн К-7, К-8 в емкость Е-20, откуда они выводятся в емкость Е-13А узла водной промывки пирогаза либо вывозятся на утилизацию в автоцистерне.

Очищенный от СО₂ и Н₂С и отмытый от капельной щелочи пирогаз из верхней секции колонны К-8 направляется в холодильник Т-604 узла компримирования пирогаза и далее через сепаратор Е-602 на всас V ступени пирогазового компрессора В-3.

При необходимости схемой предусмотрена возможность поочередного отключения колонн К-7, К-8 на ремонт.

Технологически схема абсорбционного поглощения двуокиси углерода раствором едкого натра не имеет никаких особенностей. Абсорбция 10%-ным

раствором едкого натрия осуществляется в четырех последовательно включенных (по газу) абсорбционных колоннах с насадкой из колец Рашига. Чтобы гарантировать полное удаление СОг, первые два абсорбера работают до 90%-ного содержания карбоната в абсорбенте, в то время как следующие два могут работать только до 70%-ного. Замену едкого натрия в двух последних колоннах проводят через 8—10 недель вследствие загрязнения, но не из-за истощения щелочи. Зимой скрубберы необходимо подогревать, чтобы при сильной карбонизации щелочи не осаждались твердые соли.

Пирогаз из системы промывки едким натром уносит капельную влагу, являющуюся концентрированным раствором NaOH, NaHCO₃ и Na₂CO₃. Чтобы предотвратить попадание в систему газоразделения растворов *указанных щелочей и солей, пирогаз пропускают с очень малыми скоростями* (2 см/сек) через горизонтальный баллон высокого давления, в котором происходит выделение даже мел-кодиспергированных капель жидкости.

Очистка от органических кислот и серо-окси углерода. В пирогазе термоокислительного пиролиза содержатся продукты неполного окисления, в том числе низшие органические кислоты, которые даже при положительных температурах могут выпадать в твердом виде. Органические кислоты связываются щелочью по реакциям:

При промывке пирогаза, содержащего кроме органических кислот и (Xh (если концентрация щелочи не превышает 10%), связываются преимущественно органические кислоты. Полученные при реакции поглощения соли органических кислот не регенерируются, а выводятся из системы путем замены части раствора NaOH.

Очистка от сероокси углерода COS проводится вместе с органическими кислотами разбавленной щелочью в скруббере при 60° С. Для тонкой очистки пирогаза методы абсорбции моноэтиламина и обработки трикалийфосфатом не являются удовлетворительными; при первом способе удаляется из газа органическая[^] сера, а при втором недостаточно глубоко очищается пирогаз от H₂S и CO₂.

Для очистки газов от органической серы твердыми поглотителями требуется температура от 200 до 350° С. При такой температуре возможно смолообразование при наличии в газе непредельных и диеновых углеводородов.

В последнее время в схемах лучших зарубежных установок для извлечения этилена из газов пиролиза применяют двухступенчатую промывку газа последовательно холодной и горячей щелочью.

В разрабатываемом Гнпрогазтоипрсом агрегате предложена подобная схема очистки пирогаза от CO₂, H₂S и сероорганических соединений. В первой ступени холодной щелочной промывкой при 35° С из пирогаза удаляются CO₂ и H₂S. На холодную очистку направляется газ после третьей ступени компрессора (при давлении 19 ати). Концентрация щелочи для промывки составляет от 20 до 5%. Предполагается, что содержание CO₂ в газе сократится от 1200 до 100 мг/нм³ и H₂S от 600 до 5 мг/нм³; попутно произойдет сокращение содержания органической серы (с 300 до 200 мг/нм³).

Вторая ступень очистки состоит в промывке пирогаза горячей ($t = + 85^{\circ}\text{C}$) щелочью под давлением 40 ати. При этом концентрация органической серы должна сократиться с 200 до 1 мг/нм³; попутно снизится содержание H₂S с 5 до 1 мг/нм³ и CO₂ со 100 до 30 мг/нм³.



Рисунок 2 – Насадка инжехим

После щелочной очистки газ необходимо промыть водой для удаления остатков щелочи; при этом температура его снижается. Затем после сепарации из него конденсата и воды его направляют на осушку.

Выделение тяжелых углеводородов
Очистка пирогаза от тяжелых углеводородов необходима по следующим причинам:

а) непредельные углеводороды бутадиен и пен-тадиен обладают способностью полимеризоваться;

б) конденсация тяжелых парафиновых и олефиновых углеводородов C₄—C₇ на стенках цилиндров поршневых компрессоров затрудняет эксплуатацию последних; в) в абсорбционно-ректификационных схемах тяжелые компоненты изменяют состав, а следовательно, и абсорбционные характеристики поглотителей.

Очищенный пирогаз после колонны К-27 поступает в холодильник Т-13, в котором охлаждается до температуры 30°С охлаждающей водой, которая поступает в теплообменник с помощью насоса Н-21 с температурой 20°С.

Холодильник пирогаза Т-13, представляет собой два четырех-ходовых кожухотрубчатых теплообменника с плавающей головкой, который предназначен для охлаждения пирогаза до температуры 30 °С. Холодным теплоносителем является вода, движущаяся по трубному пространству.

Длина - 7170 мм. Диаметр - 800 мм.

Трубное пространство:

Среда – пирогаз;

Объем – 2,1 м³;

Поверхность теплообмена - 494 м²;

Давление рабочее - 3,8 МПа (38 кгс/см²);

Давление расчетное - 6,3 МПа (63 кгс/см²);

Температура рабочая - (60-30)°С;

Размер трубок - 25×2×6000 мм;

Количество трубок - 656 шт.

Межтрубное пространство:

Среда – оборотная вода;

Объем – 4,2 м³;

Давление рабочее - 0,5 МПа (5 кгс/см²);

Давление расчетное - 1,0 МПа (10 кгс/см²);

Температура рабочая - (40-20)°С.

Насос Н-21 предназначен для подачи охлаждающей воды в теплообменник Т-21. Электронасос представляет собой моноблок, состоящий из насосной части и трехфазного асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором.

Насосная часть представляет собой одноступенчатый центробежный насос и состоит из рабочего колеса, закрепленного на роторе посредством шпонки и винта, и корпуса насоса с напорным и всасывающим патрубками.

Насос оборудован двойным сальниковым уплотнением.

Корпус насоса крепится к переднему щиту статора шпильками, гайками и шайбами.

Статор электродвигателя представляет собой пакет электротехнической стали с обмоткой, запрессованный в станину, имеющую опоры для крепления к фундаменту.

При работе электронасоса осевые силы уравниваются автоматически.

Для восприятия радиальных усилий в электронасосе установлены радиально-упорные подшипники скольжения, втулки и вкладыши, которые выполнены из силицированного графита.

Подвод электропитания к электронасосу осуществляется через коробку выводов, имеющую три токоведущие шпильки. В коробке выводов и на задней опоре электронасоса предусмотрены шпильки заземления.

Производительность насоса $Q = 5,5 \cdot 10^{-3}$ м³/с, напор 31 м, к.п.д. насоса 0,5. Насос снабжен двигателем ВАО-41-2. Номинальной мощностью 5,5 кВт. После теплообменника Т-21 пирогаз поступает на дальнейшую переработку.

2 Расчет абсорбера на прочность.

Данные для расчета.

$D=1400$ мм – диаметр аппарата;

$P=4,2$ МПа – рабочее давление;

$P_{\text{и}}=5,8$ МПа – давление гидроиспытания;

$P_{\text{р}}=4,2$ МПа – расчетное давление;

$t=50$ С – расчетная температура;

Материал аппарата: сталь 09Г2С ГОСТ 5520-69.

Среда: пирогаз, конденсат, 2-10% щелочь, полимеры - токсичная, взрывоопасная;

Допускаемое напряжение:

$$\sigma_{\text{доп}} = \eta \cdot \sigma^* = 0,9 \cdot 1660 = 1490 \text{ кгс/см}^2,$$

где $\eta=0,9$ – поправочный коэффициент;

$\sigma^* = 1660$ кгс/см² - нормативное допускаемое напряжение.

Допускаемое напряжение гидроиспытания:

$$\sigma_{\text{и}} = \frac{\sigma_{\text{т}}}{1,1} = \frac{2900}{1,1} = 2635 \text{ кгс/см}^2 = 258,414 \text{ МПа}$$

$\sigma_{\text{т}} = 2900$ кгс/см² – предел текучести материала при $t=20$ С;

Расчет корпуса аппарата.

Расчет толщины обечайки, работающей под внутренним давлением.[2]

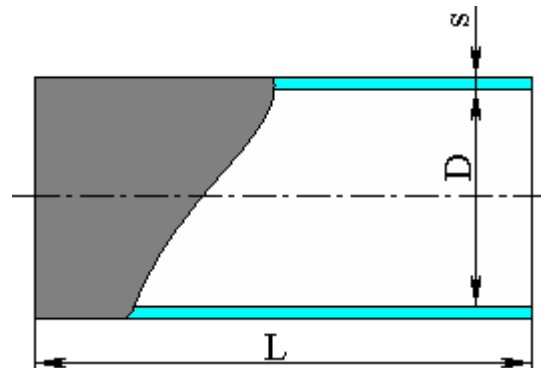


Рисунок 3 – Толщина обечайки

Расчетная толщина обечайки:

$$S = \frac{P_{\text{р}} \cdot D}{2 \cdot \varphi \cdot \sigma_{\text{доп}} - P_{\text{р}}} + C + C_1 = \frac{42 \cdot 200}{2 \cdot 0,95 \cdot 1490 - 42} + 0,3 + 0 = 3,32 \text{ см}, \quad (1)$$

где $\varphi=0,95$ – коэффициент прочности продольного сварного шва;

$C=0,3$ см – прибавка на коррозию и минусовый допуск;

$C_1=0$ – дополнительная прибавка;

Формула применима при выполнении условия:

$$\frac{S-C}{D} \leq 0,1 ; \frac{3,6-0,3}{200} < 0,1 ; 0,02 < 0,1 ; \quad (2)$$

Принимается толщина обечайки $S = 3,6$ см.

Расчет толщины днища, работающего под внутренним давлением.[3]

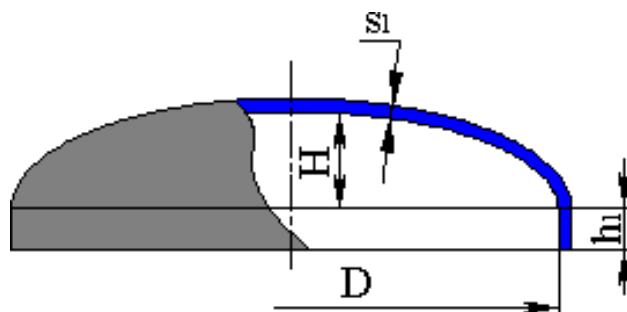


Рисунок 4 – Толщина днища

Расчетная толщина днища:

$$S_1 = \frac{P_p \cdot R}{2 \cdot \varphi \cdot \sigma_{\text{доп}} - 0,5 \cdot P_p} + C + C_1 = \frac{42 \cdot 200}{2 \cdot 0,95 \cdot 1490 - 0,5 \cdot 42} + 0,3 + 0 = 3,3 \text{ см}, \quad (3)$$

где $R=D$ – радиус кривизны в вершине днища;

$\varphi=0,95$ – коэффициент прочности сварного шва;

$C=0,3$ см – прибавка на коррозию и минусовый допуск;

$C_1=0$ – дополнительная прибавка;

Формула применима при выполнении условия:

$$\frac{S_1-C}{D} \leq 0,1 ; \frac{3,6-0,3}{200} < 0,1 ; 0,02 < 0,1 ; \quad (4)$$

Принимается толщина днища $S = 3,6$ см

Расчет укрепления отверстий в обечайке аппарата.

Наибольший допустимый диаметр неукрепленного отверстия.[4]

Наибольший допустимый диаметр отверстия, не требующий дополнительного укрепления определяется по формуле:

$$\begin{aligned} d_0 &= 2 \cdot \left[K_1 \cdot \left(\frac{S-C}{S_R} - K_2 \right) \cdot \sqrt{D_R} \cdot (S-C) - C \right] = \\ &= 2 \cdot \left[1 \cdot \left(\frac{3,6-0,3}{2,86} - 0,8 \right) \cdot \sqrt{200} \cdot (3,6 - 0,3) - 0,3 \right] = 18 \text{ см}, \end{aligned}$$

где $S=3,6$ см – исполнительная толщина стенки обечайки;

S_R – расчетная толщина стенки обечайки;

D_R – расчетный внутренний диаметр;

$C=0,3$ см – прибавка на коррозию и минусовый допуск;

$C_1=0$ – дополнительная прибавка

$K_1, K_2=0,8$ – коэффициенты.

Расчетная толщина стенки:

$$S_R = \frac{P_R \cdot D}{2 \cdot \sigma_{\text{доп}} - P_R} = \frac{42 \cdot 200}{2 \cdot 1490 - 42} = 2,86 \text{ мм}, \quad (5)$$

$D_R = D = 200 \text{ мм}$,

Следовательно, отверстия $D_y 300, D_y 600$ требуют укрепления.

Укрепление отверстия $D_y 300$ накладным кольцом.[4]

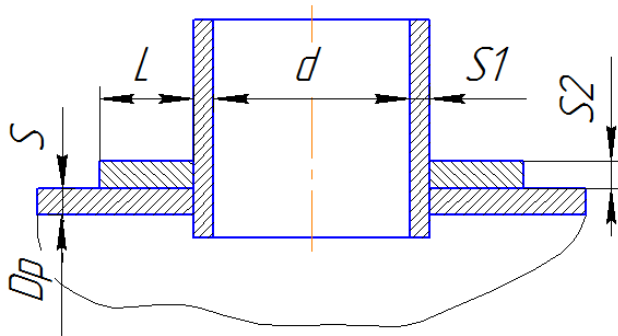


Рисунок 5 – Укрепление отверстия

Условие укрепления отверстия:

$$\sqrt{D_R} \cdot (S_{2R} + S - C) \cdot (S_{2R} + S - K_2 \cdot S_R - C) \geq \left(\frac{d}{2} + C\right) \cdot S_R \cdot K_3 \quad (6)$$

$$\sqrt{200} \cdot (0,6 + 3,6 - 0,3) \cdot (0,6 + 3,6 - 0,8 \cdot 2,86 - 0,3) \geq \left(\frac{29,7}{2} + 0,2\right) \cdot 2,86 \cdot 1$$

$$45 > 43,5;$$

где $S_{2R} = 0,6 \text{ см}$ – расчетная толщина накладного кольца;

$d = 30 \text{ см}$ – внутренний диаметр штуцера;

$K_3 = 1$ – коэффициент;

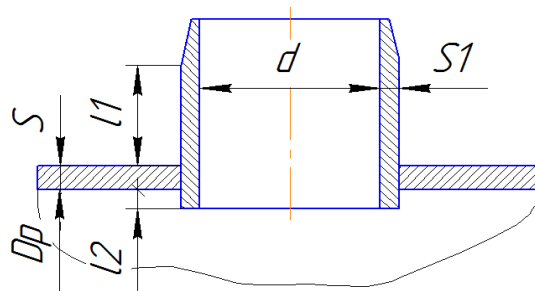


Рисунок 6 – Ширина накладного кольца

Ширина накладного кольца:

$$L = \frac{S_{2R}}{S_2} \cdot \sqrt{D_R} \cdot (S_{2R} + S - C) = \frac{0,6}{1,6} \cdot \sqrt{200} \cdot (0,6 + 3,6 - 0,3) = 1,1 \text{ см}, \quad (7)$$

где $S_2 = 1,6$ см – принятая толщина накладного кольца.

Принимается ширина накладного кольца $L = 15$ см.

Укрепление штуцера $D_y 600$ с помощью штуцера.[4]

Условие укрепления отверстия:

$$\begin{aligned} & (l_{1R} + S - S_R - C) \cdot (S_1 - S_{1R} - C) + l_{2R} \cdot (S_1 - 2C) + \sqrt{D_R}(S - C) \cdot (S - K_2 \cdot S_R - C) \geq \\ & \geq \left(\frac{d}{2} + C\right) \cdot S_R \cdot K_3 \\ & (17,5 + 3,6 - 2,86 - 0,3) \cdot (4,8 - 0,87 - 0,3) + 0 \cdot (4,8 - 2 \cdot 0,3) + \sqrt{200}(3,6 - 0,3) \cdot (3,6 - 0,8 \cdot 2,86 - 0,3) \geq \left(\frac{60}{2} + 0,3\right) \cdot 2,86 \cdot 1 \\ & 90,8 > 87; \end{aligned}$$

где l_{1R} – расчетная длина внешней части штуцера, см;

$S_1 = 4,8$ см – толщина стенки штуцера;

S_{1R} – расчетная толщина стенки штуцера, см;

l_{2R} – расчетная длина внутренней части штуцера, см;

$d = 60$ см – внутренний диаметр штуцера, см;

$K_2 = 0,8$ – коэффициент;

$K = 1$ – коэффициент;

Расчетная длина внешней части штуцера определяется как меньшее из двух значений:

$l_{2R} = l_2 = 17,5$ – по чертежу;

$l_{2R} = 1,25 \sqrt{(d + 2C)(S_1 - C)} = 1,25 \sqrt{(60 + 2 \cdot 0,3) \cdot (4,8 - 0,3)} = 20,6$ см;

Расчетная длина внутренней части штуцера определяется как меньшее из двух значений:

$l_{2R} = l_2 = 0$ – по чертежу;

$l_{2R} = 0,5 \sqrt{(d + 2C)(S_1 - 2C)} = 0,5 \sqrt{(60 + 2 \cdot 0,3) \cdot (4,8 - 2 \cdot 0,3)} = 7,9$ см;

Расчетная толщина стенки штуцера определяется:

$$S_{1R} = \frac{P_p \cdot (d + 2C)}{2 \cdot \sigma_{\text{доп}} - P_p} = \frac{42(60 + 2 \cdot 0,3)}{2 \cdot 1490 - 42} = 0,87 \text{ см}, \quad (8)$$

Принимается толщина стенки штуцера $S_1 = 4,8$ см.

Расчет укрепления отверстий в днище аппарата.

Наибольший допустимый диаметр неукрепленного отверстия (штуцер Б, М).

Наибольший допустимый диаметр отверстия, не требующий дополнительного укрепления определяется по формуле:[5]

$$d_0 = 2 \cdot \left[K_1 \cdot \left(\frac{S - C}{S_R} - K_2 \right) \cdot \sqrt{D_R} \cdot (S - C) - C \right] =$$

$$= 2 \cdot \left[1 \cdot \left(\frac{3,6 - 0,3}{2,84} - 0,8 \right) \cdot \sqrt{400} \cdot (3,6 - 0,3) - 0,3 \right] = 25 \text{ см},$$

где $S=3,6$ см – исполнительная толщина стенки обечайки;

S_R – расчетная толщина стенки обечайки;

D_R – расчетный внутренний диаметр;

$C=0,3$ см – прибавка на коррозию и минусовый допуск;

$C_1=0$ – дополнительная прибавка;

$K_1 = 1, K_2=0,8$ – коэффициенты.

Расчетная толщина стенки:

$$S_R = \frac{P_R \cdot D}{4 \cdot \sigma_{\text{доп}} - P_R} = \frac{42 \cdot 400}{4 \cdot 1490 - 42} = 2,84 \text{ мм}, \quad (9)$$

$D_R = 2D = 400 \text{ мм}$.

Следовательно, отверстия $D_y 300$ требует укрепления.

Укрепление отверстия $D_y 300$ накладным кольцом.

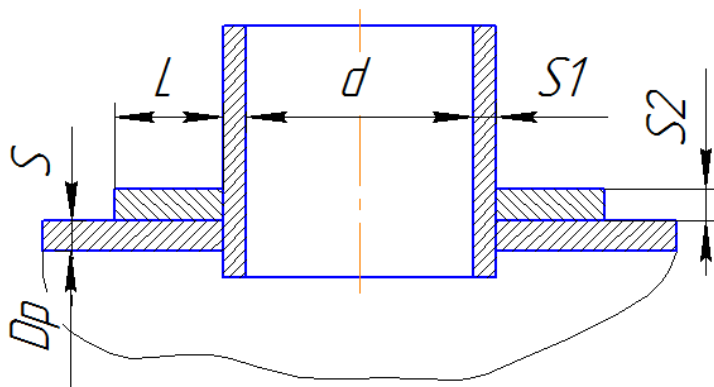


Рисунок 7

Условие укрепления отверстия:

$$\sqrt{D_R} \cdot (S_{2R} + S - C) \cdot (S_{2R} + S - K_2 \cdot S_R - C) \geq \left(\frac{d}{2} + C \right) \cdot S_R \cdot K_3;$$

$$\sqrt{400} \cdot (0,2 + 3,6 - 0,3) \cdot (0,2 + 3,6 - 0,8 \cdot 2,84 - 0,3) \geq \left(\frac{29,7}{2} + 0,2 \right) \cdot 2,86 \cdot 1;$$

$$46 > 43;$$

где $S_{2R} = 0,2$ см – расчетная толщина накладного кольца;

$d = 29,7$ см – внутренний диаметр штуцера;

$K_3 = 1$ – коэффициент;

Ширина накладного кольца:

$$L = \frac{S_{2R}}{S_2} \cdot \sqrt{D_R} \cdot (S_{2R} + S - C) = \frac{0,2}{1,6} \cdot \sqrt{400} \cdot (0,2 + 3,6 - 0,3) = 5,0 \text{ см},$$

где $S_2 = 1,6$ см – принятая толщина накладного кольца.

Принимается ширина накладного кольца $L = 15$ см. [5]

Наибольший допустимый диаметр неукрепленного отверстия (штуцер

Н).

Наибольший допустимый диаметр отверстия, не требующий дополнительного укрепления, определяется по формуле:

$$d_0 = 2 \cdot \left[K_1 \cdot \left(\frac{S - C}{S_R} - K_2 \right) \cdot \sqrt{D_R} \cdot (S - C) - C \right] =$$

$$= 2 \cdot \left[1 \cdot \left(\frac{3,6 - 0,3}{2,26} - 0,8 \right) \cdot \sqrt{318} \cdot (3,6 - 0,3) - 0,3 \right] = 42 \text{ см},$$

где $S = 3,6$ см – исполнительная толщина стенки обечайки;

S_R – расчетная толщина стенки обечайки;

D_R – расчетный внутренний диаметр;

$C = 0,3$ см – прибавка на коррозию и минусовый допуск;

$C_1 = 0$ – дополнительная прибавка;

$K_1 = 1$, $K_2 = 0,8$ – коэффициенты.

Расчетная толщина стенки:

$$S_R = \frac{P_R \cdot D}{4 \cdot \sigma_{\text{доп}} - P_R} = \frac{42 \cdot 318}{4 \cdot 1490 - 42} = 2,26 \text{ см},$$

$$D_R = 2D \sqrt{1 - \frac{r^2}{D^2}} = 2 \cdot 2200 \sqrt{1 - 3 \cdot \frac{70^2}{200^2}} = 318 \text{ см},$$

где $r = 70$ см – расстояние от центра укрепленного отверстия от оси днища.

Следовательно, отверстие не требует укрепления.

Расчет люка $D_y 600$.

Расчет толщины обечайки, работающей под внутренним давлением.

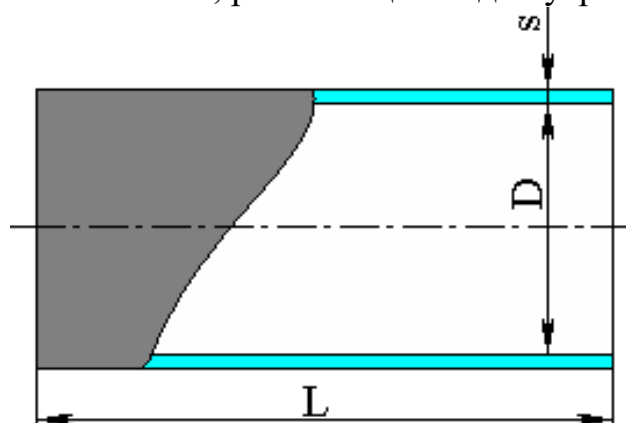


Рисунок 8 – Толщина обечайки

Расчетная толщина обечайки:

$$S = \frac{P_p \cdot D}{2 \cdot \varphi \cdot \sigma_{\text{доп}} - P_p} + C + C_1 = \frac{42 \cdot 60}{2 \cdot 0,95 \cdot 1490 - 42} + 0,3 + 0 = 1,21 \text{ см}, \quad (10)$$

где $\varphi=0,95$ – коэффициент прочности продольного сварного шва;

$C=0,3$ см – прибавка на коррозию и минусовый допуск;

$C_1=0$ – дополнительная прибавка;

Формула применима при выполнении условия:

$$\frac{S-C}{D} \leq 0,1; \quad \frac{4,6-0,3}{60} < 0,1; \quad 0,075 < 0,1; \quad (11)$$

Принимается толщина обечайки $S=4,8$ см.

Расчет днища, присоединенного на болтах к фланцу.[6]

Данные для расчета:

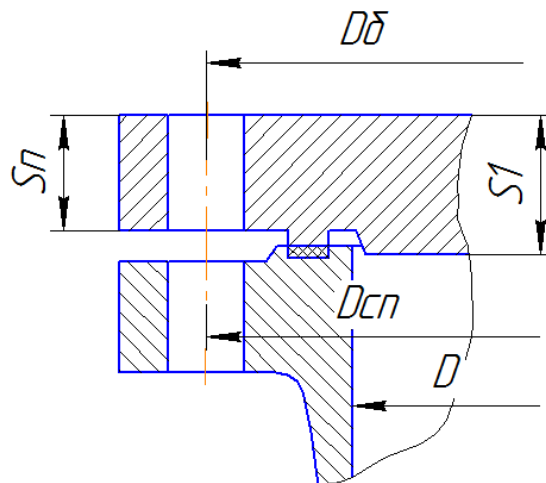


Рисунок 9 – Соединение фланцев

$D=60$ см – диаметр штуцера;

$D_б=75$ см – диаметр болтовой окружности;

$D_{сп} = 65,5$ см – средний диаметр прокладки;

$b=1,4$ см – ширина прокладки;

$n=28$ – число шпилек М30 сталь 35Х.

Материал заглушки: 09Г2С ГОСТ 5520-69.

Материал прокладки: паронит ПМ6.

$P=4,2$ МПа – рабочее давление;

$P_и=5,8$ МПа – давление гидроиспытания;

$P=4,2$ МПа – расчетное давление;

$t=50$ С – расчетная температура.

Среда: пирогаз, конденсат, 2-10% щелочь, полимеры - токсичная, взрывоопасная.

Расчет плоского круглого днища, присоединенного на болтах к фланцу.
Расчетная толщина днища:

$$S_1 = \frac{K_1}{K_0} \cdot D_{cn} \cdot \sqrt{\frac{P_p}{\sigma_{доп}}} + C + C_1 = \frac{0,5}{1} \cdot 65,5 \cdot \sqrt{\frac{42}{1490}} + 0,3 + 0 = 6,0 \text{ см}, \quad (12)$$

где K_1 – коэффициент;

$K_0=1,0$ – коэффициент ослабления днища отверстиями;

$\sigma_{доп}$ – допускаемое напряжение, кгс/см²;

где $\eta=0,9$ – поправочный коэффициент;

$\sigma^*=1660$ кгс/см² – нормативное допускаемое напряжение;

$C=0,3$ см – прибавка на коррозию и минусовый допуск;

$C_1=0$ – дополнительная прибавка.

Коэффициент K определяется:

$$K_1 = \sqrt{0,0515 \left(\frac{D_6}{D_{cn}} + 1 \right) + 0,5 \left(\frac{D_6}{D_{cn}} - 1 \right) \cdot (\psi - 1)} = \sqrt{0,0515 \left(\frac{75}{65,5} + 1 \right) + 0,5 \left(\frac{75}{65,5} - 1 \right) \cdot (1,21 - 1)} = 0,51,$$

$$\text{где } \psi = \frac{P_{62}}{Q_q} = \frac{171800}{141500} = 1,21;$$

P_{62} – болтовая нагрузка в условиях эксплуатации, кгс;

Q_q – равнодействующая внутреннего давления, кгс;

Равнодействующая внутреннего давления определяется:

$$Q_q = 0,785 \cdot D_{cn}^2 \cdot P_p = 0,785 \cdot 65,5^2 \cdot 42 = 141500 \text{ кгс}.$$

Болтовая нагрузка в условиях эксплуатации определяется:

$$P_{62} = P_{61} + (1 - \alpha) \cdot (Q_q \pm F) + Q_t + \frac{4M}{D_{cn}} = 136400 + (1 - 0,75) \cdot (141500 \pm 0) + 0 = 171800 \text{ кгс},$$

P_{61} – болтовая нагрузка в условиях монтажа;

$M=0$ – внешний изгибающий момент.

Реакция прокладки в рабочих условиях определяется:

$$R_n = 2\pi \cdot D_{cn} \cdot b_0 \cdot m \cdot P_p = 2 \cdot 3,14 \cdot 65,5 \cdot 0,7 \cdot 2,5 \cdot 42 = 3025 \text{ кгс},$$

где b_0 – расчетная ширина прокладки, см;

$m=2,5$ – прокладочный коэффициент.

Расчетная ширина прокладки определяется:

$$b_0 = 0,5 \cdot b = 0,5 \cdot 1,4 = 0,7 \text{ см}$$

Усилие, возникающее от разности температур днища и шпилек определяется:

$$Q_t = \gamma \cdot n \cdot f_6 \cdot E_6 \cdot t_{\phi} \cdot (\alpha_{\phi} - K'_1 \cdot \alpha_6) = 0,36 \cdot 28 \cdot 5,4 \cdot 2 \cdot 10^6 \cdot 50 (12 \cdot 10^{-6} - 0,97 \cdot 11 \cdot 10^{-6}) = 7300 \text{ кгс},$$

где $\gamma=0,49$ – коэффициент;

f_6 - площадь поперечного сечения шпильки, см^2 ;

$E_6=2 \cdot 10^6 \text{ кгс/см}^2$ - модуль упругости;

Материал шпилек при $t=20 \text{ С}$,

$t_\phi=50 \text{ С}$ – расчетная температура днища;

$\alpha_\phi=12 \cdot 10^{-6} \frac{1}{\text{С}}$ - коэффициент линейного расширения материала шпилек;

$K'_1=0,97$ – отношение температуры болтов к температуре днища;

$a_6=11 \cdot 10^{-6} \frac{1}{\text{С}}$ - коэффициент линейного расширения материала шпилек;

Площадь поперечного сечения шпильки определяется:

$$f_6=0,785 \cdot d_6^2=0,785 \cdot 2,6^2=5,4 \text{ см}^2,$$

где $d_6=2,6 \text{ см}$ – диаметр (болта) шпильки;

$$\text{Коэффициент } \gamma=\zeta_6 \cdot A=0,06 \cdot 10^{-6} \cdot 59,8 \cdot 10^6=0,36,$$

где ζ_6 – линейная податливость шпилек;

A – коэффициент,

$$\zeta_6 = \frac{l_6}{E_6 \cdot f_6 \cdot n} = \frac{18,08}{2 \cdot 10^6 \cdot 5,4 \cdot 28} = 0,06 \cdot 10^{-6} \text{ см/кгс},$$

l_6 -расчетная длина шпильки,

$$l_6=l_{60}+0,56 \cdot \alpha_6=16,4+0,56 \cdot 3=18,08 \text{ см},$$

$l_{60}=16,4 \text{ см}$ – расстояние между опорными поверхностями гаек;

$\alpha_6=3 \text{ см}$ – наружный диаметр шпильки;

$f_6=5,4 \text{ см}^2$ – расчетная площадь шпильки;

$$A = \frac{1}{\zeta_\Pi + \zeta_6 + 0,25(\zeta_{\phi 1} + \zeta_{\phi 2})(D_6 - D_{\text{сп}}^2)} =$$

$$\frac{1}{0,035 \cdot 10^{-6} + 0,06 \cdot 10^{-6} + 0,25 \cdot 10^{-6}(0,0021 + 0,0011) \cdot (75 - 65,5)^2} = 5,98 \cdot 10^6,$$

ζ_Π - линейная податливость прокладки;

$$\zeta_\Pi = \frac{h_n}{E_n \cdot \pi \cdot D_{\text{сп}} \cdot b} = \frac{0,2}{2 \cdot 10^4 \cdot 3,14 \cdot 65,5 \cdot 1,4} = 0,035 \cdot \frac{10^{-6} \text{ см}}{\text{кгс}},$$

$E_n=2 \cdot \frac{10^4 \text{ кгс}}{\text{см}^2}$ – модуль упругости материала прокладки,

$h_n=0,2 \text{ см}$ – толщина прокладки;

$\zeta_{\phi 1}$ - угловая податливость фланца;

$\zeta_{\phi 2}$ -угловая податливость плоской крышки;

$$\zeta_{\phi 1} \frac{[1 - \omega(1 + 0,92\lambda)] \cdot \psi_2}{h^3 \cdot E} = \frac{[1 - 0,43(1 + 0,9 \cdot 0,61)] \cdot 6,4}{8^3 \cdot 1,99 \cdot 10^6} = 0,0021 \cdot 10^{-6} 1/\text{кгс} \cdot \text{см},$$

$$= \frac{1}{1 + 0,9\lambda(1 + \psi_1 \cdot j^2)} = \frac{1}{1 + 0,9 \cdot 0,61 \cdot (1 + 0,175 \cdot 2,82^2)} = 0,43,$$

$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{D \cdot S_3}} = \frac{8,0}{\sqrt{60 \cdot 2,84}} = 0,61,$$

$h=8,0$ см – толщина фланца,

$$S_3 = \alpha \cdot S_0 = 1,42 \cdot 2,0 = 2,84 \text{ см},$$

$S_0=2,0$ см – толщина втулки в месте стыка с обечайкой;

$$\alpha = 1 + (\beta - 1) \cdot \frac{X}{X + \frac{1+\beta}{4}},$$

$$\text{при } \beta = \frac{S_1}{S_0} = \frac{4,0}{2,0} = 2,0$$

$S_1=4,0$ см – толщина втулки в месте стыка с тарелкой фланца;

$$X = \frac{l}{\sqrt{D \cdot S_0}} = \frac{6,0}{\sqrt{60 \cdot 2,0}} = 0,55,$$

$l=6,0$ см – высота втулки;

$$\alpha = 1 + (2 - 1) \cdot \frac{0,55}{0,55 + \frac{1+2}{4}} = 1,42,$$

$$y = \frac{h}{S_3} = \frac{8,0}{2,84} = 2,82,$$

$$\psi_1 = f(K) = 0,175,$$

$$\psi_2 = f(K) = 6,4,$$

$$K = \frac{D_H}{D} = \frac{82}{60} = 1,37,$$

$D_H = 82$ см – наружный диаметр фланца.

При стыковке фланца с плоской крышкой:

$$y_{\phi 2} = y_{кр} = \frac{X_{кр}}{E \cdot h_{кр}^3} = \frac{0,75}{1,99 \cdot 10^6 \cdot 6,9^3} = 0,0011 \cdot 10^{-6} \text{ 1/кгс} \cdot \text{см}$$

$$X_{кр} = \frac{0,67 \cdot (K_{кр}^2 [1 + 8,55 \lg K_{кр}] - 1)}{(K_{кр} - 1) \left[K_{кр}^2 - 1 + (1,857 K_{кр}^2 + 1) \frac{\delta_{кр}^3}{h_{кр}^3} \right]} = \frac{0,67(1,25^2 [1 + 8,55 \cdot 0,097] - 1)}{(1,25 - 1) \cdot \left[1,25^2 - 1 + (1,857 \cdot 1,25^2 + 1) \frac{8^3}{6,9^3} \right]} =$$

$$0,75;$$

$$K_{кр} = \frac{D_H}{D_{сн}} = \frac{82}{65,5} = 0,097,$$

$$E = 1,99 \cdot \frac{10^6 \text{ кгс}}{\text{см}^2} -$$

модуль продольной упругости материала фланца при 20 С;

$h_{кр} = 6,9$ см - толщина фланцевой части;

$\delta_{кр} = 8,0$ см – толщина плоской крышки.

Допускаемое напряжение определяется:

$$\sigma_{\text{доп}} = \eta \cdot \sigma^* = 0,9 \cdot 1660 = 1490 \text{ кгс/см}^2,$$

где $\eta=0,9$ – поправочный коэффициент;

$\sigma^* = 1660 \text{ кгс/см}^2$ - нормативное допускаемое напряжение;

Коэффициент жесткости фланцевого соединения определяется:

$$\alpha = A \cdot [Y_6 + 0,25(B_1 + B_2) \cdot (D_6 - D_{cn})] = 5,98 \cdot 10^6 [0,06 \cdot 10^{-6} + 0,25(0,0026 \cdot 10^{-6})(75 - 65,5)] = 0,75,$$

$$\text{где } B_1 = Y_{\phi 1} \cdot (D_6 - D - S_3) = 0,0021 \cdot 10^{-6} (75 - 60 - 2,84) = 0,0255 \cdot 10^{-6},$$

$$B_2 = 0,25 \cdot Y_{\text{кр}} (D_6 - D_{cn}) = 0,25 \cdot 0,0011 (75 - 65,5) = 0,0026 \cdot 10^{-6},$$

$q=200 \text{ кгс/см}^2$ – минимальное удельное давление прокладки.

Условие прочности болтов:

$$\frac{P_{62}}{n \cdot f_6} = \frac{171800}{28 \cdot 5,4} = 1140 \text{ кгс/см}^2 \leq [\sigma]_6^{20},$$

$$900 \text{ кгс/см}^2 < 2300 \text{ кгс/см}^2,$$

$[\sigma]_6^{20} = 2300 \text{ кгс/см}^2$ – допускаемое напряжение материала при $t=20 \text{ C}$,

$$\frac{P_{62}}{n \cdot f_6} = \frac{171800}{28 \cdot 5,4} = 1140 \text{ кгс/см}^2 \leq [\sigma]_6^t,$$

$$1140 \text{ кгс/см}^2 < 2300 \text{ кгс/см}^2,$$

$[\sigma]_6^t = 2300 \text{ кгс/см}^2$ – допускаемое напряжение материала шпилек при расчетной температуре.

Условие прочности прокладки:

$$q = \frac{P_{61}}{\pi \cdot D_{\text{сн}} \cdot b_0} = \frac{136400}{3,14 \cdot 65,5 \cdot 0,7} = 950 \text{ кгс/см}^2, \quad (13)$$

$$950 \text{ кгс/см}^2 < 1300 \text{ кгс/см}^2,$$

$q=1300 \text{ кгс/см}^2$ – допускаемое удельное давление прокладки.

Принимаются толщины днища $S_n = 6,9 \text{ см}$, $S_1 = 8,0 \text{ см}$

Расчет корпуса аппарата при гидроиспытании.

Расчет толщины обечайки, работающей под внутренним давлением.

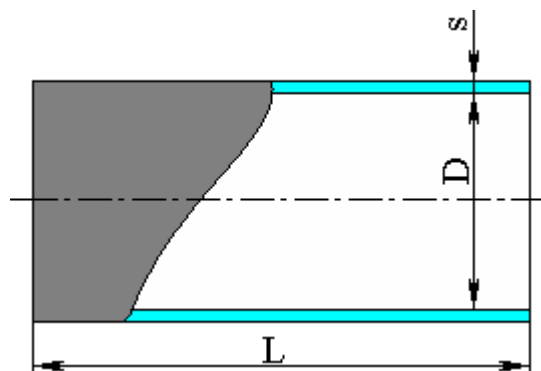


Рисунок 10 – Толщина обечайки

Расчетная толщина обечайки:

$$S = \frac{P_{\text{и}} \cdot D}{2 \cdot \varphi \cdot \sigma_{\text{и}} - P_{\text{и}}} + C + C_1 = \frac{58 \cdot 200}{2 \cdot 0,95 \cdot 2635 - 42} + 0,2 + 0 = 2,54 \text{ см},$$

где $\varphi=0,95$ – коэффициент прочности продольного сварного шва;

$C=0,2$ см – прибавка на коррозию и минусовый допуск;

$C_1=0$ – дополнительная прибавка;

Формула применима при выполнении условия:

$$\frac{S-C}{D} \leq 0,1; \quad \frac{3,6-0,2}{200} < 0,1; \quad 0,02 < 0,1$$

Принимается толщина обечайки $S=3,6$ см.

Расчет толщины днища, работающего под внутренним давлением.

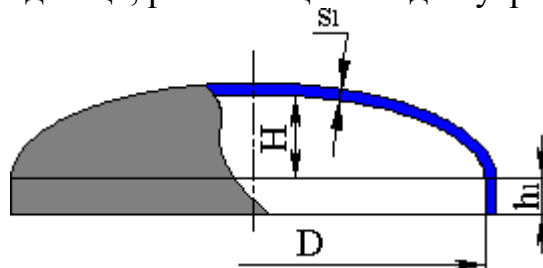


Рисунок 11 – Толщина днища

Расчетная толщина днища:

$$S_1 = \frac{P_{\text{и}} \cdot R}{2 \cdot \varphi \cdot \sigma_{\text{и}} - 0,5 \cdot P_{\text{и}}} + C + C_1 = \frac{58 \cdot 200}{2 \cdot 0,95 \cdot 2635 - 0,5 \cdot 58} + 0,2 + 0 = 2,53 \text{ см}, \quad (14)$$

где $R=D$ – радиус кривизны в вершине днища;

$\varphi=0,95$ – коэффициент прочности сварного шва;

$C=0,2$ см – прибавка на коррозию и минусовый допуск;

$C_1=0$ – дополнительная прибавка.

Формула применима при выполнении условия:

$$\frac{s_1-C}{D} \leq 0,1; \frac{3,6-0,2}{200} < 0,1; 0,02 < 0,1$$

Принимается толщина днища $S=3,6$ см.

3.2.7. Расчет опоры аппарата. Расчет опоры аппарата будем производить для наиболее неблагоприятных условий его эксплуатации, то есть максимально возможного ветрового напора.[7]

Максимальный вес участков:

-1-го участка:

$$G_1 = G_d + G_{обеч} + G_{H2O} =$$

$$= \left[m_d + 3,14 \cdot D_{ср} \cdot H_{обеч.1} \cdot S \cdot \rho_{обеч} + \left(V_{дн} + \frac{3,14 \cdot D^2}{4} \cdot H_{обеч.1} \right) \rho_{H2O} \right] \cdot g =$$
$$= [1763 + 3,14 \cdot 2,036 \cdot 3,25 \cdot 0,036 \cdot 7850 + (1,293 + \frac{3,14 \cdot 2^2}{4} \cdot 3,25) \cdot 996] \cdot 9,8 = 187048,7 \text{ Н} = 0,187 \text{ МН};$$

где $m_d = 1763 \text{ кг}$ – масса днища, $H_{обеч.1}$ – высота обечайки, приходящаяся на 1-й участок, м; $\rho_{обеч}$ – плотность металла обечайки; $V_{дн}$ – объем днища; $D_{ср}$ – диаметр срединной поверхности аппарата.

-2-го, 3-го, 4-го участков:

$$G_{2,3,4} = (G_{обеч.1} + G_{H2O} + \frac{G_T}{2}) =$$

$$= \left[3,14 \cdot D_{ср} \cdot H_{обеч.} \cdot S \cdot \rho_{обеч} + \frac{3,14 \cdot D^2}{4} \cdot H_{обеч.} \cdot \rho_{H2O} + \frac{n \cdot m_T}{2} \right] \cdot g =$$
$$= \left[3,14 \cdot 2,036 \cdot 10 \cdot 0,036 \cdot 7850 + \frac{3,14 \cdot 2^2}{4} \cdot 10 \cdot 996 + \frac{59 \cdot 179,3}{2} \right] \cdot 9,8 =$$
$$535378,41 \text{ Н} = 0,535 \text{ МН};$$

где n – число тарелок, m_T – масса одной тарелки, кг;

-5-го участка:

$$G_5 = G_d + G_{обеч} + G_{оп.обеч} + G_{H2O} = \left[m_d + 3,14 \cdot D_{ср} \cdot H_{обеч.} \cdot S \cdot \rho_{обеч} + \right.$$
$$\left. 3,14 \cdot D_{ср} \cdot H_{обеч.} \cdot S \cdot \rho_{обеч} + \left(V_{дн} + \frac{3,14 \cdot D^2}{4} \cdot H_{обеч.} \right) \rho_{H2O} \right] \cdot g = [1763 + 3,14 \cdot$$
$$2,036 \cdot 5,8 \cdot 0,036 \cdot 7850 + 3,14 \cdot 2,036 \cdot 4,2 \cdot 0,036 \cdot 7850 + (1,293 + \frac{3,14 \cdot 2^2}{4} \cdot$$
$$5,8) \cdot 996] \cdot 9,8 = 385296,7 \text{ Н} = 0,385 \text{ МН}.$$

Определим вес аппарата:

-максимальный:

$$G_{\max} = G_1 + G_2 + G_3 + G_4 + G_5 = 0,187 + 3 \cdot 0,535 + 0,385 = 2,177 \text{ Н}$$

-минимальный:

$$G_{\min} = G_{\max} - G_{H2O} = G_{\max} - \left(2V_{дн} + \frac{3,14 \cdot D^2}{4} \cdot H_{обеч.} \right) \cdot \rho_{H2O} \cdot \frac{g}{10^6} =$$
$$2,177 - (2 \cdot 1,293 + \frac{3,14 \cdot 2^2}{4} \cdot 38,085) \cdot 996 \cdot \frac{9,81}{10^6} = 0,987 \text{ МН};$$

Расчет изгибающего момента от ветровой нагрузки.[7]

Момент инерции поперечного сечения корпуса:

$$J = \frac{3,14}{8} \cdot D_{ср}^3 (S - C) = \frac{3,14}{8} \cdot 2,036^3 (0,036 - 0,001) = 0,115 \text{ м}^4;$$

Определим период собственных колебаний аппарата:

-для максимального веса аппарата:

$$T = 1,8H \sqrt{\frac{G_{\max H}}{EJg}} = 1,8 \cdot 38,085 \cdot \sqrt{\frac{2,177 \cdot 38,085}{2 \cdot 10^5 \cdot 0,115 \cdot 9,81}} = 1,31 \text{ с};$$

-для минимального веса аппарата:

$$T = 1,8H \sqrt{\frac{G_{\min H}}{EJg}} = 1,8 \cdot 38,085 \cdot \sqrt{\frac{0,987 \cdot 38,085}{2 \cdot 10^5 \cdot 0,115 \cdot 9,81}} = 0,88 \text{ с};$$

Для 7 географического района СНГ нормативное значение ветрового напора $q_0 = 0,085 \cdot 10^{-2} \text{ МН/м}^2$.

Коэффициент, учитывающий изменение скоростного напора ветра по высоте аппарата:

$$\theta_i = (0,1 \cdot x_i)^2;$$

$$1\text{-й участок: } (x_1 = 41,625\text{м}); \theta_1 = 1,57;$$

$$2\text{-й участок: } (x_2 = 35\text{м}); \theta_2 = 1,49;$$

$$3\text{-й участок: } (x_3 = 25\text{м}); \theta_3 = 1,34;$$

$$4\text{-й участок: } (x_4 = 15\text{м}); \theta_4 = 1,14;$$

$$5\text{-й участок: } (x_5 = 5\text{м}); \theta_5 = 1;$$

Скоростной напор ветра на разных участках:

$$q_1 = \theta_1 \cdot q_0 = 1,57 \cdot 0,085 \cdot 10^{-2} = 0,13 \cdot 10^{-2} \frac{\text{МН}}{\text{м}^2};$$

$$q_2 = \theta_2 \cdot q_0 = 1,49 \cdot 0,085 \cdot 10^{-2} = 0,12 \cdot 10^{-2} \frac{\text{МН}}{\text{м}^2};$$

$$q_3 = \theta_3 \cdot q_0 = 1,34 \cdot 0,085 \cdot 10^{-2} = 0,11 \cdot 10^{-2} \frac{\text{МН}}{\text{м}^2};$$

$$q_4 = \theta_4 \cdot q_0 = 1,14 \cdot 0,085 \cdot 10^{-2} = 0,09 \cdot 10^{-2} \frac{\text{МН}}{\text{м}^2};$$

$$q_5 = q_0 = 0,085 \cdot 10^{-2} \frac{\text{МН}}{\text{м}^2};$$

Коэффициент пульсации ветрового напора:

$$m_1 = 0,32; m_2 = 0,335; m_3 = 0,35; m_4 = 0,35; m_5 = 0,35;$$

Коэффициент увеличения скоростного напора:

$$\beta_i = 1 + \varepsilon m_i;$$

$$\varepsilon = 1,75 \text{ при } T = 1,31\text{с}; \varepsilon = 1,5 \text{ при } T = 0,88\text{с}.$$

-для максимального веса аппарата:

$$\beta_1 = 1 + 1,75 \cdot 0,32 = 1,56; \beta_2 = 1 + 1,75 \cdot 0,335 = 1,59;$$

$$\beta_3 = \beta_4 = \beta_5 = 1 + 1,75 \cdot 0,35 = 1,61;$$

-для минимального веса аппарата:

$$\beta_1 = 1 + 1,5 \cdot 0,32 = 1,48; \beta_2 = 1 + 1,5 \cdot 0,335 = 1,5;$$

$$\beta_3 = \beta_4 = \beta_5 = 1 + 1,5 \cdot 0,35 = 1,53;$$

Сила ветровой нагрузки, действующей на каждый участок аппарата:

$$P_i = 0,6 \beta_i q_i D_H h_i ,$$

где $D_H = 2,07\text{м}$ - диаметр аппарата с учетом теплоизоляции:

-при максимальном весе аппарата:

$$P_1 = 0,6 \cdot 1,56 \cdot 0,13 \cdot 10^{-2} \cdot 2,07 \cdot 3,25 = 0,81 \cdot 10^{-2} \text{ МН};$$

$$P_2 = 0,6 \cdot 1,59 \cdot 0,12 \cdot 10^{-2} \cdot 2,07 \cdot 10 = 2,36 \cdot 10^{-2} \text{ МН};$$

$$P_3 = 0,6 \cdot 1,61 \cdot 0,11 \cdot 10^{-2} \cdot 2,07 \cdot 10 = 2,19 \cdot 10^{-2} \text{ МН};$$

$$P_4 = 0,6 \cdot 1,61 \cdot 0,09 \cdot 10^{-2} \cdot 2,07 \cdot 10 = 1,79 \cdot 10^{-2} \text{ МН};$$

$$P_5 = 0,6 \cdot 1,61 \cdot 0,085 \cdot 10^{-2} \cdot 2,07 \cdot 10 = 1,69 \cdot 10^{-2} \text{ МН};$$

-при минимальном весе аппарата:

$$P_1 = 0,6 \cdot 1,48 \cdot 0,13 \cdot 10^{-2} \cdot 2,07 \cdot 3,25 = 0,77 \cdot 10^{-2} \text{ МН};$$

$$P_2 = 0,6 \cdot 1,5 \cdot 0,12 \cdot 10^{-2} \cdot 2,07 \cdot 10 = 2,23 \cdot 10^{-2} \text{ МН};$$

$$P_3 = 0,6 \cdot 1,53 \cdot 0,11 \cdot 10^{-2} \cdot 2,07 \cdot 10 = 2,09 \cdot 10^{-2} \text{ МН};$$

$$P_4 = 0,6 \cdot 1,53 \cdot 0,09 \cdot 10^{-2} \cdot 2,07 \cdot 10 = 1,71 \cdot 10^{-2} \text{ МН};$$

$$P_5 = 0,6 \cdot 1,53 \cdot 0,085 \cdot 10^{-2} \cdot 2,07 \cdot 10 = 1,61 \cdot 10^{-2} \text{ МН};$$

Изгибающий момент от ветровой нагрузки относительно основания аппарата:

$$M_B = P_i(x_i - x_0);$$

-при максимальном весе аппарата:

$$M_{B1} = 0,81 \cdot 10^{-2} \cdot 41,625 = 0,33 \text{ МН} \cdot \text{м};$$

$$M_{B2} = 2,36 \cdot 10^{-2} \cdot 35 = 0,82 \text{ МН} \cdot \text{м};$$

$$M_{B3} = 2,19 \cdot 10^{-2} \cdot 25 = 0,54 \text{ МН} \cdot \text{м};$$

$$M_{B4} = 1,79 \cdot 10^{-2} \cdot 15 = 0,26 \text{ МН} \cdot \text{м};$$

$$M_{B5} = 1,69 \cdot 10^{-2} \cdot 5 = 0,084 \text{ МН} \cdot \text{м};$$

Суммарный ветровой момент:

$$M_{Bmax} = 0,33 + 0,82 + 0,54 + 0,26 + 0,084 = 2,034 \text{ МН} \cdot \text{м};$$

-при минимальном весе аппарата:

$$M_{B1} = 0,77 \cdot 10^{-2} \cdot 41,625 = 0,32 \text{ МН} \cdot \text{м};$$

$$M_{B2} = 2,23 \cdot 10^{-2} \cdot 35 = 0,78 \text{ МН} \cdot \text{м};$$

$$M_{B3} = 2,09 \cdot 10^{-2} \cdot 25 = 0,52 \text{ МН} \cdot \text{м};$$

$$M_{B4} = 1,71 \cdot 10^{-2} \cdot 15 = 0,25 \text{ МН} \cdot \text{м};$$

$$M_{B5} = 1,61 \cdot 10^{-2} \cdot 5 = 0,0805 \text{ МН} \cdot \text{м};$$

Суммарный ветровой момент:

$$M_{Bmin} = 0,32 + 0,78 + 0,52 + 0,25 + 0,0805 = 1,95 \text{ МН} \cdot \text{м};$$

Ветровой момент при максимальном весе аппарата относительно сварного шва, соединяющего корпус аппарата с опорной обечайкой:

$$M_{B1''} = 0,81 \cdot 10^{-2} \cdot (41,625 - 4,21) = 0,3 \text{ МН} \cdot \text{м};$$

$$M_{B2''} = 2,36 \cdot 10^{-2} \cdot (35 - 4,21) = 0,72 \text{ МН} \cdot \text{м};$$

$$M_{B3''} = 2,19 \cdot 10^{-2} \cdot (25 - 4,21) = 0,45 \text{ МН} \cdot \text{м};$$

$$M_{B4''} = 1,79 \cdot 10^{-2} \cdot (15 - 4,21) = 0,19 \text{ МН} \cdot \text{м};$$

$$M_{max''} = 0,3 + 0,72 + 0,45 + 0,19 = 1,66 \text{ МН} \cdot \text{м};$$

Проверка на прочность от напряжений сжатия и изгиба:

$$\sigma = \sigma_c + \sigma_{\text{и}} = \frac{G_{\text{max}}}{[3,14(D+S)-d](S-C_K)} + \frac{4M_p}{3,14(D+S)^2(S-C_K)} \leq \varphi[\sigma],$$

$$\sigma = \frac{2,177}{[3,14(2+0,036)-0,5](0,036-0,001)} + \frac{4 \cdot 2,034}{3,14(2+0,036)^2(0,036-0,001)} = 36,74 \leq \varphi[\sigma] = 0,7 \cdot 140 = 98 \text{ МПа};$$

Устойчивость формы цилиндрической опоры аппарата:

$$\frac{\sigma_c}{[\sigma]_c} + \frac{\sigma_{\text{и}}}{[\sigma]_{\text{и}}} \leq 1, \frac{19,05}{140} + \frac{17,69}{170} < 1.$$

Устойчивость обеспечена.

3 Расчет теплообменника

В таблице 3.1.1 Приведены данные для технологического расчета
Таблица 3.1.1 Исходные данные

Наименование	Обозначение	Пространство	
		трубное	межтрубное
Рабочая среда	-	Вода – 97%	Пирогаз – 99%
Массовая производительность, кг/час	G	55080	69120
Рабочее давление, МПа	P	0,5	6,3
Температура на входе, °С	t ₁	20	60
Температура на выходе, °С	t ₂	40	30
Плотность среды, кг/м ³	ρ _ж	996	31,87

3.1.1 Определение температурного режима. Опредеение тепловой нагрузки аппарата.

Тепловая нагрузка определяется по формуле: $Q = G_{\text{пирогаса}} (C_{\text{РВХ1}} t_1 - C_{\text{РВЫХ1}} t_2)$,

где $C_{\text{РВХ1}}$ - удельная теплоемкость пирогаза при $t_1 = 50$ °С;

$C_{\text{РВХ1}} = 2,228$ кДж/кг·К,

$C_{\text{РВЫХ1}}$ - удельная теплоемкость пирогаза при $t_1 = 35$ °С;

$C_{\text{РВХ1}} = 2,154$ кДж/кг·К

Тогда

$Q = 69120 \cdot (2,228 \cdot 60 - 2,154 \cdot 30) = 4519620$ кДж/час = $1255,45 \cdot 10^3$ Вт

4.1.2 Расчет средней разности температур $\Delta t'_{\text{ср}}$

В многоходовых теплообменниках средняя движущая сила меньше, чем в одноходовых, из-за того, что возникает смешанное взаимное направление движения теплоносителей. Для уточнения $\Delta t_{\text{ср}}$ воспользуемся уравнением:

$$\Delta t'_{\text{ср}} = \varepsilon \Delta t_{\text{ср}} \quad (15)$$

где $\Delta t_{\text{ср}}$ - среднелогарифмическая разность температур:

$$\Delta t_{cp} = \frac{\Delta t_6 - \Delta t_M}{\ln \frac{\Delta t_6}{\Delta t_M}} \quad (16)$$

$$\left. \begin{array}{l} t_{1H} = 20 \text{ }^{\circ}\text{C} \\ \Delta t_6 = 15 \text{ }^{\circ}\text{C} \\ t_{2K} = 30 \text{ }^{\circ}\text{C} \end{array} \right\} \begin{array}{c} \xrightarrow{\text{Вода}} \\ \xleftarrow{\text{Пирогаз}} \end{array} \left\{ \begin{array}{l} t_{1K} = 40 \text{ }^{\circ}\text{C} \\ \Delta t_M = 20 \text{ }^{\circ}\text{C} \\ t_{2H} = 60 \text{ }^{\circ}\text{C} \end{array} \right.$$

Тогда:

$$\Delta t_{cp} = \frac{15-20}{\ln \frac{15}{20}} = 17,5 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Значение поправочного коэффициента ε определим из графика [8], для чего найдем параметры для случая а – с перекрестно-смешанным током теплоносителей:

$$P = \frac{t_{1K} - t_{1H}}{t_{2H} - t_{1H}} = \frac{40-20}{60-20} = 0,5;$$

$$R = \frac{t_{2H} - t_{2K}}{t_{1K} - t_{1H}} = \frac{60-30}{40-20} = 1,5;$$

При $P = 0,5$ и $R = 1,5$ значение $\varepsilon = 0,85$;

Тогда :

$$\Delta t'_{cp} = 0,85 \cdot 17,5 = 14,9^{\circ}\text{C}$$

4.1.3 Определим ориентировочную поверхность теплообмена.

$$F_{op} = \frac{Q}{k_{op} \Delta t'_{cp}} \quad (24)$$

где k_{op} – ориентировочный коэффициент теплопередачи, $k_{op} = 265 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$ [9]

Тогда:

$$F_{op} = \frac{1255,45 \cdot 10^3}{265 \cdot 14,9} = 306,1 \text{ м}^2$$

Примем ориентировочные значения для кожухотрубчатого теплообменника с плавающей головкой следующие значения [10]:

$L = 6000 \text{ мм}$ – длина труб;

$D = 800 \text{ мм}$ – диаметр кожуха;

$n = 4$ – число ходов по трубам;

$S_{тр} = 0,026 \text{ м}^2$ - площадь проходного сечения одного хода по трубам;

$S_{мтр} = 0,065 \text{ м}^2$ - площадь проходного сечения по межтрубному

пространству;

$d_H = 20 \text{ мм}$ – наружный диаметр труб;

$s = 2 \text{ мм}$ – толщина стенки трубы.

4.1.4 Определим поверхность теплообмена

$$F_{\text{оп}} = \frac{Q}{k \Delta t'_{\text{ср}}}$$

где $F_{\text{оп}}$ – поверхность теплообмена, м^2

Q – тепловая нагрузка, $Q = 1255,45 \cdot 10^3 \text{ Вт}$

$\Delta t'_{\text{ср}}$ – средняя разность температур, $\Delta t'_{\text{ср}} = 14,9 \text{ }^\circ\text{C}$

k – коэффициент теплопередачи, $\text{Вт}/\text{м}^2 \cdot \text{К}$

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}} \quad (17)$$

α_1, α_2 – коэффициенты теплоотдачи, $\text{Вт}/\text{м}^2 \cdot \text{К}$

4.1.5 Определим коэффициент теплоотдачи от пирогаза к наружной поверхности трубного пучка.

$$\alpha_1 = \text{Nu} \frac{\lambda}{d_{\text{н}}} \quad (18)$$

Определим число Рейнольдса в межтрубном пространстве:

$$\text{Re}_{1\text{ср}} = \frac{G_1 d_{\text{н}}}{S_{\text{мтр}} \mu_1}, \quad (19)$$

где $\mu_1 = 1,195 \cdot 10^{-5} \text{ Па} \cdot \text{с}$, при $t_{2\text{ср}} = \frac{40+60}{2} = 50 \text{ }^\circ\text{C}$;

$S_{\text{мтр}} = 0,065 \text{ м}^2$;

$$\text{Re}_{1\text{ср}} = \frac{\frac{69120}{3600} \cdot 0,025}{0,065 \cdot 1,195 \cdot 10^{-5}} = 1266,96 > 1000;$$

Следовательно, число Нуссельта для межтрубного пространства:

$$\text{Nu} = 0,24 \text{ Re}^{0,6} \text{Pr}^{0,36} \left(\frac{\text{Pr}}{\text{Pr}_{\text{ст}}} \right)^{0,25};$$

где Pr – число Прандтля;

$$\text{Pr} = \frac{c \mu}{\lambda}; \quad (20)$$

$c = 2,20 \text{ кДж}/\text{кг} \cdot \text{К}$ – удельная теплоемкость, при $t_{2\text{ср}} = 50 \text{ }^\circ\text{C}$;

$\mu = 1,195 \cdot 10^{-5} \text{ Па} \cdot \text{с}$ – динамический коэффициент вязкости, при $t_{2\text{ср}} = 50 \text{ }^\circ\text{C}$;

$\lambda = 0,056 \text{ Вт}/\text{м} \cdot \text{К}$ – коэффициент теплопроводности, при $t_{2\text{ср}} = 50 \text{ }^\circ\text{C}$.

Тогда:

$$\text{Pr} = \frac{2,20 \cdot 10^3 \cdot 1,195 \cdot 10^{-5}}{0,056} = 11,83;$$

$$\text{Pr}_{\text{ст}} = \frac{c_{\text{ст}} \mu_{\text{ст}}}{\lambda_{\text{ст}}}; \quad (21)$$

где $\text{Pr}_{\text{ст}}$ – критерий Прандтля при температуре стенки $t_{\text{ст}}$;

$t_{\text{ст}} = (t_{1\text{ср}} + t_{2\text{ср}})/2 = (25 + 45)/2 = 35 \text{ }^\circ\text{C}$

$c_{\text{ст}} = 2,154 \text{ кДж}/\text{кг} \cdot \text{К}$ – удельная теплоемкость, при $t_{\text{ст}} = 35 \text{ }^\circ\text{C}$;

$\mu_{\text{ст}} = 1,226 \cdot 10^{-5} \text{ Па} \cdot \text{с}$ – динамический коэффициент вязкости, при $t_{\text{ст}} = 35 \text{ }^\circ\text{C}$;

$\lambda_{\text{ст}} = 0,5072 \text{ Вт}/\text{м} \cdot \text{К}$ – коэффициент теплопроводности, при $t_{\text{ст}} = 35 \text{ }^\circ\text{C}$.

Тогда:

$$Pr = \frac{2,154 \cdot 10^3 \cdot 1,226 \cdot 10^{-5}}{0,5072} = 19,21;$$

Следовательно:

$$Nu = 0,24 \cdot 1266,96^{0,6} \cdot 11,83^{0,36} \left(\frac{11,83}{19,21}\right)^{0,25} = 37,62;$$

Определим α_1 :

$$\alpha_1 = 37,62 \cdot \frac{0,1954}{0,020} = 367,54 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$$

3.1.6 Определим коэффициент теплоотдачи от внутренней поверхности трубного пучка к воде

$$\alpha_2 = Nu \frac{\lambda}{d_{\text{вн}}} \quad (22)$$

Определим критерий Рейнольдса в межтрубном пространстве:

$$Re_{2\text{ср}} = \frac{G_2 d_{\text{вн}}}{S_{\text{тр}} \mu_2}$$

где $\mu_2 = 0,804 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$, при $t_{1\text{ср}} = 30^\circ \text{C}$

$$S_{\text{тр}} = 0,026 \text{ м}^2;$$

$$Re_{2\text{ср}} = \frac{\frac{55080}{3600} \cdot 0,021}{0,026 \cdot 0,804 \cdot 10^{-3}} = 1169,5 > 1000$$

Следовательно, критерий Нуссельта для межтрубного пространства:

$$Nu_{2\text{ср}} = 1,61 (Re \cdot Pr_L^d)^{1/3} \cdot \left(\frac{\mu}{\mu_{\text{ст}}}\right)^{0,14}$$

где Pr – критерий Прандтля;

$$Pr = \frac{c \mu}{\lambda}$$

$c = 4,18 \text{ кДж/кг} \cdot \text{К}$ – удельная теплоемкость, при $t_{1\text{ср}} = 30^\circ \text{C}$;

$\mu = 0,804 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$ – динамический коэффициент вязкости, при $t_{1\text{ср}} = 30^\circ \text{C}$;

$\lambda = 0,618 \text{ Вт/м} \cdot \text{К}$ – коэффициент теплопроводности, при $t_{1\text{ср}} = 30^\circ \text{C}$.

Тогда:

$$Pr = \frac{4,18 \cdot 10^3 \cdot 0,804 \cdot 10^{-3}}{0,618} = 24,81$$

Следовательно:

$$Nu_{2\text{ср}} = 1,61 (1169,5 \cdot 24,81 \cdot \frac{20}{6000})^{1/3} \cdot \left(\frac{2,1 \cdot 10^{-3}}{1,5 \cdot 10^{-3}}\right)^{0,14} = 7,62$$

Определим α_2 :

$$\alpha_2 = 7,62 \cdot \frac{0,22}{0,016} = 104,7 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$$

3.1.7 Определим термическое сопротивление стенки.

$$\Sigma \frac{\delta}{\lambda} = r_{31} + \frac{\delta_{\text{ст}}}{\lambda_{\text{ст}}} + r_{32} \quad (23)$$

где $r_{31} = r_{32} = 17 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$ – термическое сопротивление со стороны воды и пирогаза соответственно;

$\lambda_{\text{ст}} = 17,45 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$ – теплопроводность стенки из нержавеющей стали;
 $\delta_{\text{ст}} = 0,002 \text{ м}$ – толщина стенки теплопередающей поверхности.

Тогда:

$$\Sigma \frac{\delta}{\lambda} = 17 \cdot 10^{-5} + \frac{0,002}{17,45} + 17 \cdot 10^{-5} = 4,54 \cdot 10^{-4}.$$

Коэффициент теплопередачи рассчитываем по формуле:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \Sigma \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}} = \frac{1}{\frac{1}{367,54} + 4,54 \cdot 10^{-4} + \frac{1}{104,57}} = 175,7 \text{ Вт/м}^2\cdot\text{К}$$

С учетом этого определим требуемую площадь поверхности теплопередачи:

$$F = \frac{Q}{K \Delta t'_{\text{cp}}} = \frac{1255,45 \cdot 10^3}{175,7 \cdot 14,9} = 466,8 \text{ м}^2$$

По ГОСТ 15122-79 примем следующие параметры кожухотрубчатого теплообменника с плавающей головкой:

$F = 247 \text{ м}^2$ – поверхность теплообмена;

$L = 6000 \text{ мм}$ – длина труб;

$D = 800 \text{ мм}$ – диаметр кожуха;

$n = 4$ – число ходов по трубам;

$S_{\text{тр}} = 0,026 \text{ м}^2$ – площадь проходного сечения одного хода по трубам;

$S_{\text{мтр}} = 0,065 \text{ м}^2$ – площадь проходного сечения по межтрубному

пространству;

$d_{\text{н}} = 20 \text{ мм}$ – внутренний диаметр труб;

$s = 2 \text{ мм}$ – толщина стенки трубы.

Определим необходимое число теплообменников в одном ряду:

$$z_p = \frac{F}{F_1} = \frac{466,8}{247} = 1,88$$

$$F_1 = 247 \cdot 2 = 494 \text{ м}^2$$

При этом запас поверхности теплообмена:

$$\Delta = \frac{494 - 466,8}{466,8} \cdot 100\% = 5,82\% < 10\%, \text{ что является нормой.}$$

3.1.8 Определим общее число труб.

Общее труб можно определить из уравнения:

$$n = \frac{F}{\pi d_{\text{н}} L}$$

где $F = 247 \text{ м}^2$ – поверхность теплообмена;

$d_{\text{н}} = 25 \text{ мм}$ – наружный диаметр труб;

$L = 6000 \text{ мм}$ – длина труб;

Тогда:

$$n = \frac{247}{3,14 \cdot 0,025 \cdot 6} = 656 \text{ шт.}$$

Число сегментных перегородок принимаем равной – 12, при длине труб – 6 м и диаметре кожуха – 0,8 м [10]

3.2 Расчет на прочность

3.2.1. Расчет толщин стенок обечаек и патрубков.

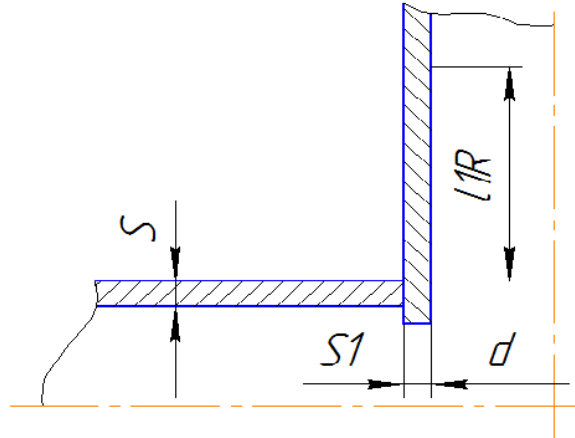


Рисунок 11 – Толщина стенки корпуса

Толщина стенок обечайки корпуса:

Материал аппарата: сталь 09Г2С ГОСТ 5520-69.

$$S_R = \frac{P_M \cdot D}{2 \cdot \varphi \cdot \sigma_{\text{доп}} - P_M} + C = \frac{6,3 \cdot 800}{2 \cdot 177 \cdot 1,0 - 6,3} + 2,8 = 17,3 \text{ см}, \quad (24)$$

где $\varphi=1,0$ – коэффициент прочности продольного сварного шва; [11]

$C=2,8$ мм – прибавка на коррозию и минусовый допуск;

Принимается толщина $S=20$ мм.

Толщина стенки обечайки

распределительной камеры:

Материал: сталь 09Г2С ГОСТ 5520-69.

$$S_R = \frac{P_T \cdot D}{2 \cdot \varphi \cdot \sigma_{\text{доп}} - P_T} + C = \frac{1,0 \cdot 800}{2 \cdot 177 \cdot 1,0 - 1,0} + 2,8 = 5,06 \text{ мм}$$

Принимается толщина $S=25$ мм.

Толщина стенки патрубка штуцера d_y250 :

Материал: сталь 09Г2С ГОСТ 5520-69.

$$S_{1R} = \frac{P_M \cdot (d + 2 \cdot C)}{2 \cdot \varphi \cdot \sigma_{\text{доп}} - P_M} + C = \frac{6,3 \cdot (233 + 2 \cdot 2,0)}{2 \cdot 177 \cdot 1,0 - 6,3} + 2,0 = 6,29 \text{ см}$$

Принимается толщина $S=20$ мм.

Толщина стенки патрубка штуцера d_y200 :

Материал: сталь 09Г2С ГОСТ 5520-69.

$$S_{1R} = \frac{P_T \cdot (d + 2 \cdot C)}{2 \cdot \varphi \cdot \sigma_{\text{доп}} - P_T} + C = \frac{1,0 \cdot (187 + 2 \cdot 2,0)}{2 \cdot 177 \cdot 1,0 - 1,0} + 2,0 = 2,54 \text{ мм}$$

Принимается толщина $S=16$ мм.

Толщина стенки обечайки крышки корпуса:

Материал: сталь 09Г2С ГОСТ 5520-69.

$$S_R = \frac{P_M \cdot D}{2 \cdot \varphi \cdot \sigma_{\text{доп}} - P_M} + C = \frac{6,3 \cdot 900}{2 \cdot 177 \cdot 1,0 - 6,3} + 2,8 = 19,1 \text{ см},$$

Принимается толщина $S = 25$ мм.

3.2.2. Расчет толщины эллиптического днища.

Внутренняя высота эллиптической части днища $H_{\text{вн}} = 225$ мм.

Радиус кривизны в центре днища (внутренний) $R = \frac{D^2}{4 \cdot H_{\text{вн}}} = \frac{900^2}{4 \cdot 225} = 900$ мм.

Расчетная и принятая толщина днища:

Материал: сталь 09Г2С ГОСТ 5520-69.

$$S_R = \frac{P_M \cdot R}{2 \cdot \varphi \cdot \sigma_{\text{доп}} - 0.5 \cdot P_M} + C = \frac{6.3 \cdot 900}{2 \cdot 1.77 \cdot 1.0 - 0.5 \cdot 6.3} + 2.8 = 19.0 \text{ см},$$

Принимается толщина $S = 25$ мм.

3.2.3. Расчет наибольшего диаметра одиночного отверстия, не требующего дополнительного укрепления в концевых обечайках корпуса.

Расчетный диаметр обечайки корпуса $D_R = D = 800$ мм.

Толщина стенки корпуса:

$S = 25.0$ мм - исполнительная,

$S_R = 14.5$ мм – расчетная.

Наибольший диаметр одиночного отверстия, не требующего дополнительного укрепления: [11]

$$d_0 = 2 \cdot \left[\left(\frac{S - C}{S_R} - 0.8 \right) \cdot \sqrt{D_R} \cdot (S - C) \right] =$$
$$= 2 \cdot \left[\left(\frac{25 - 2.8}{14.5} - 0.8 \right) \cdot \sqrt{800} \cdot (25 - 2.8) \right] = 194.8 \text{ мм},$$

Условие укрепления $d_0 \geq d_R = d + 2C$,

При расчете S_R принимаем $C = 0$; $\varphi = 1$.

Условия укрепления:

$$l_{1R}(S_1 - S_{1R} - C)X_1 + \sqrt{D_R(S - C)} \cdot (S - S_R - C) \geq 0.5(d_R - d_{0R}) \cdot S_R,$$
$$81.6 \cdot (20 - 4.28 - 2) \cdot 1.0 + \sqrt{800(25 - 2.8)} \cdot (25 - 14.5 - 2.8) \geq$$
$$0.5(237 - 53.3) \cdot 14.5,$$
$$2145 > 1332,$$

Условие укрепления отверстия выполнено за счет толщины стенки патрубка.

3.2.4. Расчет толщины трубной решетки.

Наружный диаметр прокладки :

$D_H = 790$ мм – для подвижной трубной решетки.

Внутренний диаметр прокладки:

$D_B = 761$ мм - для подвижной трубной решетки.

Средний диаметр прокладки:

$D_{\text{ср}} = 775.5$ мм – для подвижной трубной решетки,

$D_{\text{ср}} = 890$ мм – для неподвижной трубной решетки,

Шаг расположения отверстий в решетке:

$t = 32$ мм – для подвижной трубной решетки,

$t=32\text{ мм}$ – для неподвижной трубной решетки.

Диаметр отверстия в решетке:

$d_0=25,15\text{ мм}$ – для подвижной трубной решетки,

$d_0=25,15\text{ мм}$ – для неподвижной трубной решетки.

Толщина стенки трубы:

$S_T=2,0\text{ мм}$ – для подвижной трубной решетки,

$S_T=2,0\text{ мм}$ – для неподвижной трубной решетки.

Расчетный диаметр отверстия в решетке:

$d_E=d_0 - S_T=23,15\text{ мм}$ – для подвижной трубной решетки,

$d_E=d_0 - S_T=23,15\text{ мм}$ – для неподвижной трубной решетки.

Эффективный коэффициент ослабления:

$\psi_E = 1 - \frac{d_E}{t}=0,277$ мм– для подвижной трубной решетки,

$\psi_E = 1 - \frac{d_E}{t}=0,277$ мм– для неподвижной трубной решетки.

Расчетная и принятая толщина трубной решетки:[11]

Материал: сталь 09Г2С ГОСТ 5520-69.

$$S_R = \frac{D_{cn}}{4,2} \sqrt{\frac{P_M}{\varphi \cdot \sigma_{доп}}} + C + C_1 = \frac{775,5}{4,2} \sqrt{\frac{6,3}{0,277 \cdot 177}} + 2,8 + 5,0 = 77,4\text{ мм},$$

Принимается толщина подвижной трубной решетки $S= 85\text{ мм}$.

$$S_R = \frac{D_{cn}}{4,2} \sqrt{\frac{P_M}{\varphi \cdot \sigma_{доп}}} + C + C_1 = \frac{890}{4,2} \sqrt{\frac{6,3}{0,277 \cdot 177}} + 2,8 + 5,0 = 87,7\text{ мм},$$

Принимается толщина неподвижной трубной решетки $S= 90\text{ мм}$.

3.2.5. Расчет плоской крышки распределительной камеры.

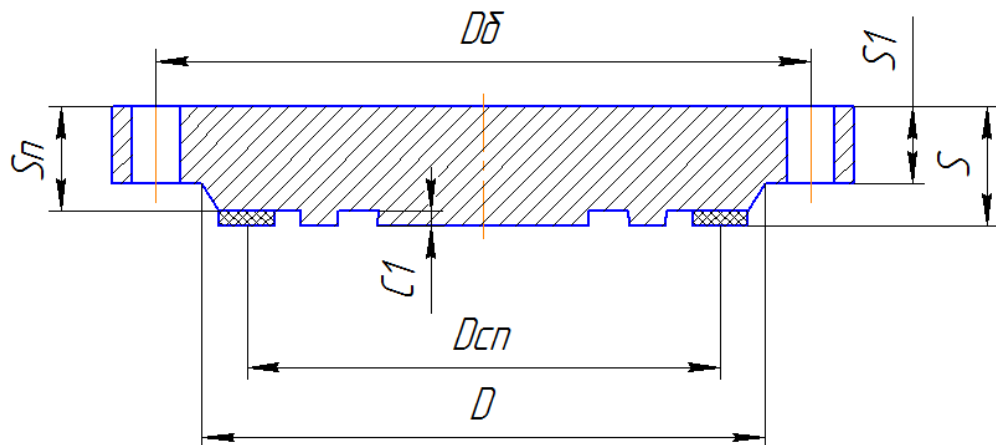


Рисунок 12 – Плоская крышка распределительной камеры

Наружный диаметр прокладки :

$D_H = 863\text{ мм}$.

Внутренний диаметр прокладки:

$D_B=839\text{ мм}$.

Средний диаметр прокладки:

$$D_{cn} = \frac{D_H + D_B}{2} = 852 \text{ мм.}$$

Полная ширина прокладки:

$$b = \frac{D_H - D_B}{2} = 13,0 \text{ мм.}$$

Расчетная ширина уплотнения:

$$b_0 = 0,5 \cdot b = 6,5 \text{ мм при } b \leq 15,0$$

Прокладочный коэффициент:

$$m = 2,5;$$

Удельное давление смятия прокладки:

$$q = 20,0;$$

Прокладка – ПОН, ПМБ ГОСТ 481-80.

Диаметр болтовой окружности:

$$D_{\delta} = 905 \text{ мм};$$

Равнодействующая внутреннего давления:

$$Q_3 = 0,785 \cdot D_{cn}^2 \cdot P_T = 0,785 \cdot 852^2 \cdot 1,0 = 569835H$$

Реакция прокладки в рабочих условиях:

$$R_n = 2 \cdot 3,14 \cdot m \cdot b_0 \cdot p_T \cdot D_{cn} = 2 \cdot 3,14 \cdot 2,5 \cdot 6,5 \cdot 1,0 \cdot 852 = 86947H$$

Болтовая нагрузка в рабочих условиях:

$$P_{\delta} = Q_{\delta} + R_n = 656782H$$

Площадь поперечного сечения шпильки по внутреннему диаметру резьбы:

$$f_{\delta} = 225 \text{ мм}^2$$

Допускаемое напряжение для материала шпилек при $t=100 \text{ С}$:

Материал- сталь 35Х

$$[\sigma] = 230 \text{ МПа}$$

Принятое количество шпилек:

$$n = 40$$

Условие прочности шпилек:

$$\sigma_p = \frac{P_{\delta}}{n \cdot f_{\delta}} \leq [\sigma],$$

$$\sigma_p = 73,0 < 230;$$

$$\text{Коэффициент } \psi = \frac{P_{\delta}}{Q_{\delta}} = 1,153;$$

$$\text{Коэффициент } K_1 = 0,44;$$

$$\text{Коэффициент } K_2 = 0,8 \sqrt{\frac{D_{\delta}}{D_{cn}} - 1} = 0,2$$

$$\text{Коэффициент ослабления } K_0 = 1,0$$

Расчетная толщина в месте уплотнения:

$$S_{nR} = \max \left\{ K_2 \sqrt{\frac{P_{\delta}}{[\sigma]}}; 0,6 \frac{P_{\delta}}{[\sigma] D_{cn}} \right\} + C;$$

$$S_{nR} = 15,6;$$

Расчетная толщина вне зоны уплотнения:

$$S_{1R} = \max \left\{ K_2 \sqrt{\frac{P_{\bar{\sigma}}}{[\sigma]}}; 0,6 \frac{P_{\bar{\sigma}}}{[\sigma]D} \right\} + C; \quad (25)$$

$$S_{1R} = 15,6;$$

Максимальная расчетная толщина крышки:

$$S_R = \max \{ S'_R; S_{nR}; S_{1R} \}; \quad (26)$$

$$S_R = 34,6;$$

Принятая толщина крышки:

$$S = 45,0 \text{ мм};$$

$$S_n = 40,0 \text{ мм};$$

$$S_1 = 34,0 \text{ мм};$$

4.2.6. Расчет узла плавающей головки.

Фланец с днищем:

$$l_2 = \frac{D_{\bar{\sigma}} - D}{2}; \quad l_3 = \frac{D_{\bar{\sigma}} - D_{cn}}{2}; \quad (27)$$

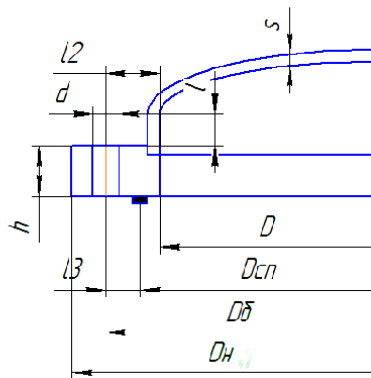


Рисунок 13 – Фланец с днищем

Средний диаметр прокладки $D_{cn} = 775,5 \text{ мм}$;

Ширина прокладки $b = 14,5 \text{ мм}$;

Ширина шипа $T = 4,0 \text{ мм}$;

Эффективная ширина прокладки $b_0 = \frac{T+b}{2} = 9,25 \text{ мм}$;

Прокладочный коэффициент:

$$m = 2,5;$$

Удельное давление смятия прокладки:

$$q = 20,0;$$

Прокладка – ПОН, ПМБ ГОСТ 481-80.

Принятое количество, диаметр резьбы шпилек и отверстия:

$$n = 40; \quad d = 23; \quad M20;$$

Площадь поперечного сечения шпильки:

$$f_{\bar{\sigma}} = 225 \text{ мм}^2;$$

Модуль продольной упругости материала шпильки:

$$E_{\bar{\sigma}}^{20} = 2,15 \cdot 10^5 \text{ МПа};$$

$$E_{\bar{\sigma}} = 2,15 \cdot 10^5 \text{ МПа};$$

Допускаемое напряжение для шпилек при температурах:

$$[\sigma]_{\bar{\sigma}}^{20} = 230 \text{ МПа};$$

$$[\sigma]_6 = 230 \text{ МПа};$$

Внутренний диаметр фланца $D=670$ мм;

Диаметр болтовой окружности фланца и полукольца:

$$D_6=830 \text{ мм};$$

Наружный диаметр фланца:

$$l_2 = 80 \text{ мм}; l_3 = 27,25 \text{ мм};$$

Модуль продольной упругости материала фланца:

$$E^{20} = 1,99 \cdot 10^5 \text{ МПа};$$

$$E=1,91 \cdot 10^5 \text{ МПа};$$

Внутренние диаметры полукольца:

$$D_6 = 764 \text{ мм};$$

$$D_p=790 \text{ мм};$$

Линейные размеры полукольца:

$$l=30 \text{ мм};$$

$$b=15 \text{ мм};$$

Плечи полукольца и диаметр D_2 :

$$r=6,5 \text{ мм}; r_1 = 22,5 \text{ мм}; r_2=26,5 \text{ мм}; D_2 = 777 \text{ мм};$$

Внутренний диаметр днища крышки:

$$D=676 \text{ мм};$$

3.2.7. Расчет днища крышки.

Высота эллиптической части днища:[11]

$$H_{6H} = 158 \text{ мм};$$

Радиус кривизны в вершинах днища:

$$R = \frac{D^2 - 6,76^2}{4 \cdot H_{6H}} = 723 \text{ мм};$$

Коэффициент $K_3 = 0,9$;

Коэффициент запаса устойчивости:

$$n_y = 2,4;$$

Модуль упругости при расчетной температуре:

$$E=1,91 \cdot 10^5 \text{ МПа};$$

Расчетная толщина стенки от действия внутреннего давления:

$$S_R = \frac{P_T \cdot R}{2 \cdot \varphi \cdot \sigma_{\text{доп}} - P_T} + 2C = \frac{1,0 \cdot 723}{2 \cdot 177 \cdot 1,0 - 1,0} + 2 + 2,8 = 6,85 \text{ мм};$$

Расчетная толщина стенки от действия наружного давления:

$$S_R = \max \left\{ \frac{K_3 \cdot R}{510} \sqrt{\frac{n_y \cdot P_M}{10^{-6} \cdot E}}; \frac{R \cdot P_M}{2 \cdot \sigma_{\text{доп}}} \right\} + 2C =$$

$$\max \left\{ \frac{0,9 \cdot 723}{510} \sqrt{\frac{2,4 \cdot 6,3}{10^{-6} \cdot 1,91 \cdot 10^3}}; \frac{6,3 \cdot 723}{2 \cdot 177} \right\} + 2 + 2,8 =$$

$$= \max \{11,4; 12,9\} + 4,8 = 17,7 \text{ мм};$$

Принятая толщина днища:

$$S = \max \{S_R; S'_R\};$$

(28)

$$S=22 \text{ мм};$$

Допускаемое внутреннее избыточное давление:

$$[P]_p' = \frac{2 \cdot (S-2C) \cdot \sigma_{don}}{R+0,5 \cdot (S-2C)} \geq P_T; \quad (29)$$

$$[P]_p' = \frac{2 \cdot (22 - 2 \cdot 2,8) \cdot 177}{723 + 0,5 \cdot (22 - 2 \cdot 2,8)} = 9,74 \text{ мм};$$

Допускаемое давление из условия устойчивости:

$$[P]_E = \frac{26 \cdot 10^{-6} \cdot E}{n_y} \left[\frac{100 \cdot (S-2C)^2}{K_y \cdot R} \right] = \frac{26 \cdot 10^{-6} \cdot 1,91 \cdot 10^5}{2,4} \left[\frac{100 \cdot (22-2 \cdot 2,8)^2}{0,9 \cdot 723} \right] = 14,45 \text{ мм};$$

Допускаемое наружное давление:

$$[P] = \frac{[P]_p}{\sqrt{1 + \left(\frac{[P]_p}{[P]_E} \right)^2}} \geq P_{M,j} \quad (30)$$

$$[P] = 7,21 \text{ МПа} > 6,3 \text{ МПа};$$

Допускаемое давление из условий прочности:

$$[P]_p = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot (S - 2C)}{R + (S - 2C) \cdot 0,5} = 8,32;$$

4.2.8 Расчет фланца крышки.

Расчетный изгибающий момент в рабочих условиях:

$$M_{02} = Q_d \cdot l_2 + R_n \cdot l_3 = 39302395 \text{ н} \cdot \text{мм};$$

безразмерный коэффициент:

$$\delta = \frac{D_n - D - 2d}{D} = 0,237;$$

Расчетный изгибающий момент при затяжке шпилек до подачи внутреннего давления:

$$M_{01} = P_{\delta} \cdot l_3 = 22563000 \text{ н} \cdot \text{мм};$$

Допускаемое напряжение фланца:

$$[\sigma]_k^{20} = 183 \text{ МПа};$$

$$[\sigma]_k = 160 \text{ МПа};$$

Приведенные толщины фланца крышки:

$$h_{01} = 1,13 \cdot \sqrt{\frac{M_{01}}{D \cdot \delta \cdot [\sigma]_k^{20}}} = 31,5 \text{ мм};$$

$$h_{02} = 1,13 \cdot \sqrt{\frac{M_{02}}{D \cdot \delta \cdot [\sigma]_k^t}} = 44,4 \text{ мм};$$

$$h_0 = \frac{S}{\sqrt{\delta}} = 51,4 \text{ мм};$$

$$h_{10} = \min\{h_0; h_{01}\};$$

$$h_{10} = 31,5 \text{ мм};$$

3.2.9 Расчет полукольца.

Допускаемое напряжение материала полукольца:

Материал: сталь 09Г2С ГОСТ 5520-69.

$$[\sigma]^{20} = 183 \text{ МПа};$$

$[\sigma]=160$ МПа;

Вспомогательный размер $h_k = 1,85$ мм;

Толщина полукольца в опасном сечении: $H=19$ мм;

Расчетная и принятая толщина полукольца:

$$H_{1R} = H + h_2 + C = 19,0 + 32 + 2,0 = 53,0 \text{ мм};$$

Принимается $H_1=55,0$ мм.

Сумма коэффициентов местных сопротивлений для всасывающей линии:

$$\sum \xi_{\text{вс}} = \xi_1 + 2 \cdot \xi_2 + 3 \cdot \xi_3 = 0,5 + 2 \cdot 0,5 + 3 \cdot 0,11 = 1,83 \quad (31)$$

где $\xi_1=0,5$ - вход в трубу (с острыми краями);

$\xi_2=0,5$ - прямооточный вентиль (для $d=100$ мм и $Re > 3 \cdot 10^5$);

$\xi_3=AB=1,0 \cdot 0,11=0,11$ - отвод под углом 90°

Тогда:

$$\Delta p_{\text{вс}} = \left(\lambda \cdot \frac{L_{\text{вс}}}{d} + \sum \xi_{\text{вс}} \right) \cdot \frac{\rho \cdot \omega^2}{2} = \left(0,804 \cdot \frac{10}{0,103} + 1,83 \right) \cdot \frac{996 \cdot 0,87^2}{2} = 1495,3 \text{ Па}$$

Потери напора на всасывающей линии:

$$H_{\text{п.вс}} = \frac{\Delta p_{\text{вс}}}{\rho \cdot g} = \frac{1495,3}{996 \cdot 9,8} = 0,158 \text{ м}$$

Сумма коэффициентов местных сопротивлений для нагнетательной линии:

$$\sum \xi_{\text{н}} = \xi_1 + 2 \cdot \xi_2 + 2 \cdot \xi_3 + 2 \cdot \xi_4 = 1 + 2 \cdot 0,11 + 2 \cdot 4,1 + 2 \cdot 0,5 = 9,43$$

где $\xi_1=1$ - выход из трубы;

$\xi_2=A_2B_2=1,0 \cdot 0,11=0,11$ - отвод под углом 90° ;

$\xi_4=4,1$ - нормальный вентиль (при $d=100$ мм);

$\xi_5=0,5$ - прямооточный вентиль (при $Re > 3 \cdot 10^5$).

Тогда:

$$\Delta p_{\text{н}} = \left(0,804 \cdot \frac{15}{0,103} + 9,43 \right) \cdot \frac{996 \cdot 0,87^2}{2} = 4674,2 \text{ Па}$$

Потери напора на нагнетательной линии:

$$H_{\text{н}} = \frac{\Delta p_{\text{н}}}{\rho \cdot g} = \frac{4674,2}{996 \cdot 9,8} = 0,496 \text{ м}$$

Общие потери напора:

$$H_{\text{п}} = H_{\text{н}} + H_{\text{вс}} = 0,496 + 0,158 = 0,654 \text{ м}$$

3. Выбор насоса.

По формуле рассчитаем полный напор, развиваемый насосом:

$$H = \frac{p_2 - p_1}{\rho \cdot g} + H_{\text{г}} + H_{\text{п}} = \frac{0,2 \cdot 10^6}{996 \cdot 9,8} + 4 + 0,654 = 25,89 \text{ м}$$

Полезная мощность насоса:

$$N = V \cdot \rho \cdot H \cdot g = 55,3 \cdot 961 \cdot 25,89 \cdot 9,8 / 3600 = 3,2 \text{ кВт}$$

Для центробежного насоса средней производительности примем $\eta = 0,6$. Тогда мощность, потребляемая двигателем насоса:

$$N_{\text{дв}} = 3,2 / 0,6 = 5,3 \text{ кВт}$$

По таблице устанавливаем, что по заданным производительности и напору следует выбрать центробежный насос марки X20/53, для которого при оптимальных условиях работы производительность $Q = 5,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$, напор 31 м, к.п.д. насоса 0,5. Насос снабжен двигателем ВАО-41-2. Номинальной мощностью 5,5 кВт.

4 Расчет центробежного насоса

4.1 Технологический расчет центробежного насоса

Центробежный насос необходимо установить для подачи воды в холодильник Т-13, работающим под избыточным давлением 0,5 МПа. Геометрическая высота подъема жидкости 4 м, температура жидкости 30°C. На линии нагнетания ($L_n = 15,0$ м) находятся два нормальных вентиля, два прямооточных и два отвода под углом 90°. На линии всасывания ($L_v = 10,0$ м) установлено два нормальных вентиля и один прямооточный. Следует выбрать насос по напору и мощности.

Расчет ведем по методике

1. Выбор диаметра трубопровода проведем приняв скорость воды во всасывающий и нагнетательной линиях одинаковой равной 1,5 м/с;

$$d = \sqrt{\frac{v}{(0,785 \cdot \omega)}} = \sqrt{\frac{55,3}{(3600 \cdot 0,785 \cdot 1,5)}} = 0,103 \text{ м} \quad (32)$$

Выбираем трубопровод из стали марки Х18Н10Т диаметром 60 х 3,5 мм. Уточним скорость движения воды $\omega = 0,87$ м/с.

2. Расчёт потерь на трение и местные сопротивления.

Определим режим течения воды:

$$Re = \frac{\omega \cdot d \cdot \rho}{\mu} = \frac{0,87 \cdot 0,103 \cdot 996}{0,804 \cdot 10^{-3}} = 175745,3$$

Режим турбулентный.

Среднее значение абсолютной шероховатости стенок труб $e = 0,2$ мм, относительная шероховатость $d_3/e = 103/0,2 = 515$. По графику находим значение коэффициента трения $\lambda = 0,804 \cdot 10^{-3} \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$

Сумма коэффициентов местных сопротивлений для всасывающей линии:

$$\sum \xi_{\text{вс}} = \xi_1 + 2 \cdot \xi_2 + 3 \cdot \xi_3 = 0,5 + 2 \cdot 0,5 + 3 \cdot 0,11 = 1,83$$

где $\xi_1 = 0,5$ - вход в трубу (с острыми краями);

$\xi_2 = 0,5$ - прямооточный вентиль (для $d=100$ мм и $Re > 3 \cdot 10^5$);

$\xi_3 = AB = 1,0 \cdot 0,11 = 0,11$ - отвод под углом 90°

Тогда:

$$\Delta p_{\text{вс}} = \left(\lambda \cdot \frac{L_{\text{вс}}}{d} + \sum \xi_{\text{вс}} \right) \cdot \frac{\rho \cdot \omega^2}{2} = \left(0,804 \cdot \frac{10}{0,103} + 1,83 \right) \cdot \frac{996 \cdot 0,87^2}{2} = 1495,3 \text{ Па}$$

Потери напора на всасывающей линии:

$$H_{\text{п.вс}} = \frac{\Delta p_{\text{вс}}}{\rho \cdot g} = \frac{1495,3}{996 \cdot 9,8} = 0,158 \text{ м} \quad (34)$$

Сумма коэффициентов местных сопротивлений для нагнетательной

линии:

$$\sum \xi_n = \xi_1 + 2 \cdot \xi_2 + 2 \cdot \xi_3 + 2 \cdot \xi_4 = 1 + 2 \cdot 0,11 + 2 \cdot 4,1 + 2 \cdot 0,5 = 9,43$$

где $\xi_1 = 1$ - выход из трубы;

$\xi_2 = A_2 B_2 = 1,0 \cdot 0,11 = 0,11$ - отвод под углом 90° ;

$\xi_4 = 4,1$ - нормальный ventиль (при $d=100\text{мм}$);

$\xi_5 = 0,5$ - прямооточный ventиль (при $Re > 3 \cdot 10^5$).

Тогда:

$$\Delta p_n = \left(0,804 \cdot \frac{15}{0,103} + 9,43 \right) \cdot \frac{996 \cdot 0,87^2}{2} = 4674,2 \text{ Па}$$

Потери напора на нагнетательной линии:

$$H_n = \frac{\Delta p_n}{\rho \cdot g} = \frac{4674,2}{996 \cdot 9,8} = 0,496 \text{ м}$$

Общие потери напора:

$$H_{\text{п}} = H_n + H_{\text{вс}} = 0,496 + 0,158 = 0,654 \text{ м}$$

3. Выбор насоса.

По формуле рассчитаем полный напор, развиваемый насосом:

$$H = \frac{p_2 - p_1}{\rho \cdot g} + H_{\text{г}} + H_{\text{п}} = \frac{0,2 \cdot 10^6}{996 \cdot 9,8} + 4 + 0,654 = 25,89 \text{ м}$$

Полезная мощность насоса:

$$N = V \cdot \rho \cdot H \cdot g = 55,3 \cdot 961 \cdot 25,89 \cdot 9,8 / 3600 = 3,2 \text{ кВт}$$

Для центробежного насоса средней производительности примем $\eta = 0,6$. Тогда мощность, потребляемая двигателем насоса:

$$N_{\text{дв}} = 3,2 / 0,6 = 5,3 \text{ кВт}$$

По таблице устанавливаем, что по заданным производительности и напору следует выбрать центробежный насос марки X20/53, для которого при оптимальных условиях работы производительность $Q = 5,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$, напор 31 м, к.п.д. насоса 0,5. Насос снабжен двигателем ВАО-41-2.

Номинальной мощностью 5,5 кВт.

4.2 Механический расчет насоса

4.2.1 Расчет толщины стенки корпуса

$$S = \frac{P \cdot D_{\text{в}}}{2 \cdot [\sigma] - P} + C$$

где $P=1,5 \text{ МПа}$ - давление нагнетания насоса;

$D_{\text{в}}=0,146 \text{ м}$ - внутренний диаметр корпуса;

$[\sigma]=152 \text{ МПа}$ - предел прочности для стали 12Х18Н9ТЛ;

$C=0,002 \text{ м}$ - прибавка на коррозию.

$$S = \frac{1,5 \cdot 10^6 \cdot 0,146}{2 \cdot 152 \cdot 10^6 - 1,5 \cdot 10^6} + 0,002 = 0,0028 \text{ м}$$

Примем: $S=6 \text{ мм}$

5.2.2. Расчет изгибающих и крутящих моментов.

Строим эпюру изгибающих моментов. Определяем реакцию опор А и

В.

$G_K = 20 \text{ Н}$ - вес рабочего колеса;

$G_M = 35 \text{ Н}$ - вес муфты.

Сумма моментов относительно точки А.

$$\sum M_A = R_B \cdot 358 + G_K \cdot 214 - G_M \cdot 414 = 0$$

$$R_B = \frac{G_M \cdot 414 - G_K \cdot 214}{358} = \frac{14490 \cdot 4280}{358} = 28,52 \text{ Н.}$$

Сумма моментов относительно точки В.

$$\sum M_B = G_K \cdot 572 - R_A \cdot 358 - G_M \cdot 56 = 0 \quad R_A = 26,48 \text{ Н.}$$

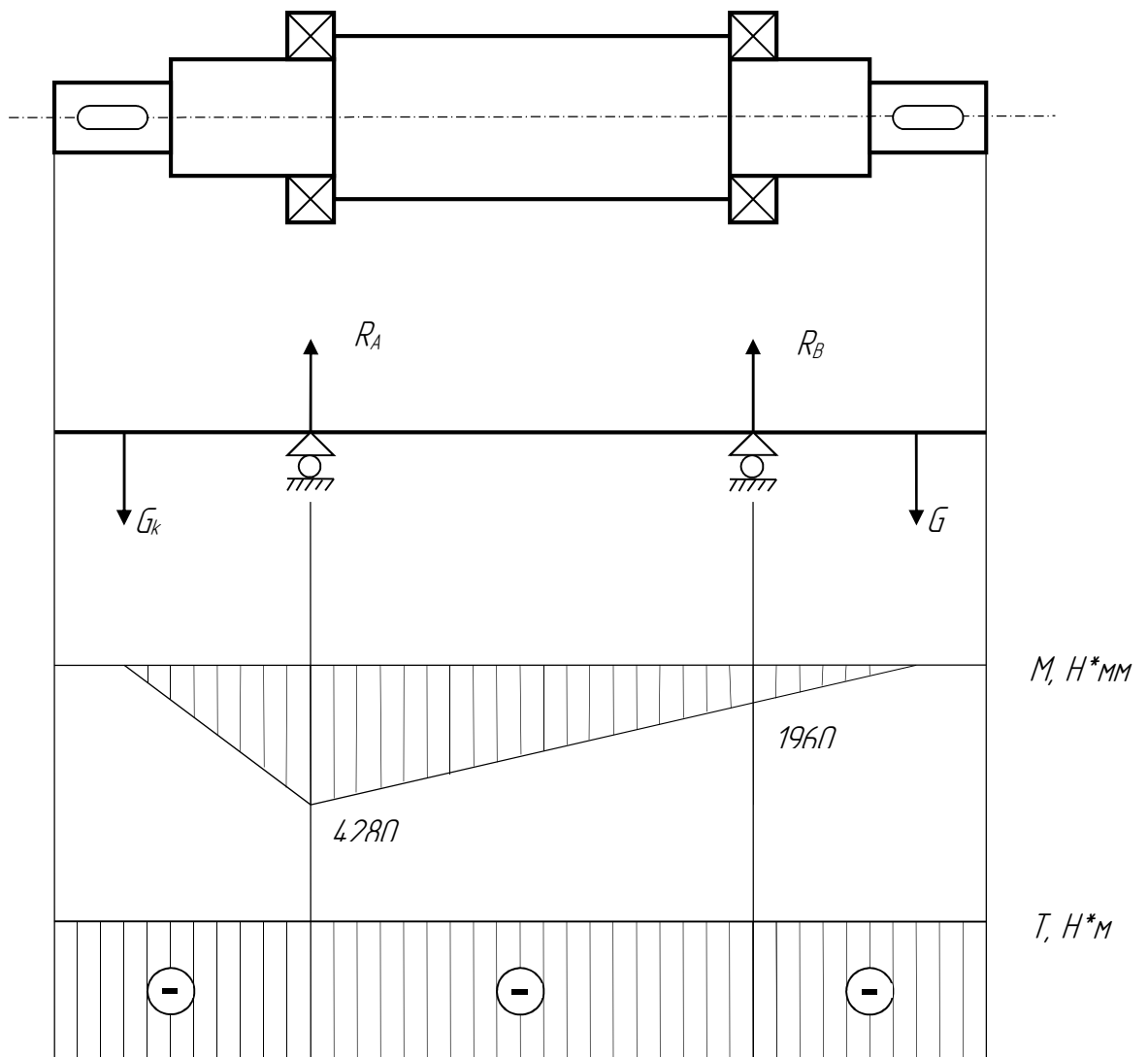


Рисунок 14. Эпюры изгибающих и крутящих моментов.

Построим эпюру изгибающих моментов М:

I участок ($Z_1 = 0$) = 0 $M_{(Z_1=214)} = -G_K \cdot 214 = -20 \cdot 214 = -4280 \text{ Н*мм};$

II участок ($Z_2 = 0$) = $-G_K \cdot 214 = -20 \cdot 214 = -4280 \text{ Н*мм}$

$M(Z_2 = 572) = -G_K \cdot 572 + R_A \cdot 358 = -20 \cdot 572 + 26,48 \cdot 358 = -1960 \text{ Н*мм};$

III участок ($Z_3 = 0$) = $-G_M \cdot 0 = 0$ $M(Z_3 = 56) = -G_M \cdot 56 = -1960 \text{ Н*мм};$

Построим эпюру крутящих моментов Т. По всей протяженности вала крутящий момент Т_{кр.} будет постоянным:

$$T_{кр.} = \frac{N_{дв.}}{\omega_{кр.}} [\text{Н*м}], \quad (36)$$

где $N_{дв} = 4 \text{ кВт}$ - мощность электродвигателя;

$\omega_{кр.}$ - угловая скорость вращения вала.

$$\omega_{кр.} = \frac{\pi \cdot n}{30} = \frac{3,14 \cdot 2900}{30} = 303,53 \text{ рад/с},$$

где $n = 2900 \text{ об/мин.}$ - частота вращения вала.

$$T_{кр.} = \frac{4000}{303,53} = 28,004 \text{ Н*м.}$$

Максимальный изгибающий момент находим в точке А, считая что сечение в точке А подвергается максимальному напряжению. Эквивалентное напряжение в точке А:

$$\sigma_{эkv} = \sqrt{\frac{M_{эkv}}{\omega}} [\text{Н/м}^2], \quad (35)$$

где $M_{эkv}$ - эквивалентный изгибающий момент в точке А;

$$M_{эkv} = \sqrt{0,75 \cdot T_{кр.}^2 + M_{изА}^2} = \sqrt{0,75 \cdot 28,004^2 + 4,28^2} = 24,6 \text{ Н*м};$$

$$\omega = \frac{\pi \cdot d_{\max}^3}{3 \cdot D} = \frac{3,14 \cdot 0,05^3}{30} = 12 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3;$$

$$\sigma_{эkv} = \frac{24,6}{12 \cdot 10^{-6}} = 2,05 \cdot 10^6 \text{ Н/м}^2;$$

По условию прочности $\sigma_{эkv} \leq [\sigma]_H$, где $[\sigma]_H$ - допустимое напряжение материала вала на изгиб. $[\sigma]_H = 0,45 \cdot [\sigma]_B$, где $[\sigma]_B = 590 \text{ Н/м}^2$ - предел выносливости материала.

$$[\sigma]_H = 0,45 \cdot 590 = 215,5 \text{ МН/м}^2$$

$$[\sigma_{эkv}] < [\sigma] - \text{условие выполняется.}$$

4.2.3. Расчет критической скорости вала.

Расчет ведем по инженерной программе Ween Critik.

Результаты расчета на критическую скорость вращения.

Число участков с постоянным диаметром 6.

Таблица 4.2.3 Исходные данные по каждому участку:

№ участка	Диаметр	Длина
1	38,0	45,0
2, 6	40,0	50,0
3, 5	50,0	80,0
4	60,0	140,0

Максимальный изгиб момента сил инерции: 403,635 кг/см

Максимальный статический прогиб вала: 0,034757 мм

Критическая скорость вращения вала: 1089 рад/сек

Критическая частота: 10410 об/мин

Коэффициент нарастания колебаний 1,244

Максимальный прогиб при данной частоте работы: 0,043250 мм

Максимальное значение изгиба при данной частоте: 29,472 кг/см².

Для нормальной работы вала необходимо чтобы выполнялось следующие условие:

$$n_p < n_{кр} \cdot 0,7$$

$n_p = 2900$ об/мин - рабочая частота вращения вала;

$n_{кр.} = 10410$ об/мин - критическая частота вращения вала.

$$0,7 \cdot n_{кр.} = 0,7 \cdot 10410 = 7287 \text{ об/мин}$$

$$2900 < 7287$$

Следовательно, $n = 2900$ об/мин - удовлетворяет нашему условию.

Вал - жесткий.

5 Обеспечение производственной и экологической безопасности

Таблица 5.1

	Пределы воспламенения, % (об.)		Категория взрывоопасности	Температурная группа
	нижн.	верхн.		
Метан	5,28	14,1	ПА	T1
Этилен	2,8	36,35	ПВ	T2
Этан	3,3	12,5	ПА	T1
Пропилен	2,3	11,1	ПА	T2

5.1.2 Опасные и вредные производственные факторы проектируемой установки

Узел связан с применением легковоспламеняющихся, взрывоопасных и токсичных газов и жидкостей, которые образуют с воздухом взрывоопасные смеси.

При содержании паров и газов жидкостей выше предельно допустимых норм они оказывают вредное воздействие на организм человека и могут вызвать отравление.

Узел связан с применением электрической энергии, пара, сжатого воздуха, азота, горячей воды, щелочи.

В цехе имеются разнообразные по конструкции и назначению аппараты, которые находятся под давлением газа с высокой и низкой температурой.

1. Токсичность обусловлена с применением токсичных газов и жидкостей, которые при превышении предельно допустимых концентраций оказывают вредное воздействие на организм человека и могут вызвать отравление.

2. Взрывоопасность обусловлена с применением взрывоопасных газов и жидкостей, которые с воздухом образуют взрывоопасные смеси.

3. Пожароопасность обусловлена с применением в процессе производства легковоспламеняющихся жидкостей и газов.

4. Опасность поражения электрическим током обусловлена с применением электрической энергии в процессе производства. Электротравмы при прикосновении к металлическим токопроводящим частям электрооборудования, оказавшимся под напряжением из-за отсутствия или неисправности защитного заземления или зануления.

Возникновение статического электричества из-за отсутствия или неисправности заземления технологического оборудования, воздухопроводов, трубопроводов.

5. Шум и вибрация обусловлены с применением в процессе производства центробежных насосов.

6. Наружная установка находится в районе грозовой деятельности.

7. Механические травмы при прикосновении к неогражденным движущимся или вращающимся частям машин и механизмов, при выполнении погрузочно-разгрузочных и ремонтных работ с нарушением правил охраны труда.

5.2 Обеспечение электробезопасности и защита от статического электричества.

5.2.1 Выбор средств защиты от поражения электрическим током.

При выборе электрооборудования исходим из следующих данных: взрыво-пожароопасных свойств веществ образующихся в производстве и класса взрывоопасной зоны. В соответствии с «Техническим регламентом о безопасности оборудования для работы во взрывоопасных средах» (постановление правительства № 86 от 24 февраля 2010г) во взрывоопасных зонах необходимо использовать взрывозащищенное электрооборудование.

Маркировку применяемого электрооборудования производят в соответствии с «Техническим регламентом о безопасности оборудования для работы во взрывоопасных средах» (постановление правительства № 86 от 24 февраля 2010г).

Для защиты производственного персонала от поражения электрическим током предусмотрена изоляция проводов и защитное заземление. Сопротивление заземляющего устройства не более 4 Ом.

5.3.2 Защита от статического электричества. Возникновение и накопление электрических зарядов статического электричества при обработке материалов – диэлектриков может нарушить нормальный ход технологического процесса, а также стать источником воспламенения взрывопожарных веществ.

Согласно ГОСТ 12.01.18-86 производство относится к 3 классу. Электростатической искробезопасности (ЭСИБ) сильной электризации ($\rho_v > 10^8 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ и имеет место разбрызгивание).

Таблица 5.3.2. – Возможность накапливания зарядов статического электричества и способы нейтрализации

Наименование стадии технологической операции, оборудования, транспортных устройств	Перечень веществ диэлектриков способных подвергаться электризации		Основные технич мероприятия по защите от статического электричества
	Наименование веществ	Удельное объемное сопротивление, Ом·м	
Перекачивание по трубопроводу	пирогаз	10^{13}	заземление скорость движения и истечения 1,8 м/с

5.3.3 Расчет заземления. Заземляющее устройство устанавливается вокруг аппарата. Отдельные заземлители представляют собой стальные стержни, забитые вглубь земли на глубину 3 м.

Сопротивление стального стержня:

$$R_{CT} = \frac{\rho}{2\pi d} \cdot \ln \frac{2l}{d} = \frac{50 \text{ Ом}}{2 \cdot 3,14 \cdot 2,5 \text{ м}} \cdot \ln \frac{2 \cdot 2,5 \text{ м}}{0,025 \text{ м}} = 16,87 \text{ Ом} \quad (37)$$

где $\rho=50 \text{ Ом}$ - удельное сопротивление грунта;

$l=2,5 \text{ м}$ - длина;

$d=2,5 \cdot 10^{-2} \text{ м}$ - диаметр стержня.

Количество стержней для заземления:

$$n = \frac{R_{CT}}{[R] \cdot \eta_b} = \frac{16,87 \text{ Ом}}{4 \text{ Ом} \cdot 0,85} = 4,96 \approx 5 \quad (38)$$

где $[R]=4 \text{ Ом}$ - допускаемое сопротивление;

$\eta_b=0,85$ - коэффициент использования вертикальных электродов группового заземления.

Принимаем $n=5$.

Все заземлители соединяются полосой из стали на глубине 0,5 м.

Сопротивление полосы растекания тока:

$$R_n = \frac{\rho}{2\pi \cdot l} \cdot \ln \frac{2l^2}{d \cdot t} = \frac{50 \text{ Ом}}{2 \cdot 3,14 \cdot 2,5 \text{ м}} \cdot \ln \frac{2 \cdot 2,5^2 \text{ м}^2}{0,02 \text{ м} \cdot 0,5 \text{ м}} = 3,75 \text{ Ом}$$

где $l=2,5 \text{ м}$ -длина полосы;

$b=0,04 \text{ м}$ - ширина;

$t=0,5 \text{ м}$ - глубина залегания;

$d=0,05b=0,02 \text{ м}$.

Сопротивление растеканию тока:

$$R' = \frac{R_{CT}}{5} = \frac{16,87 \text{ Ом}}{5} = 3,37 \text{ Ом} \quad (39)$$

При учете коэффициента использования горизонтального полосового электрода, соединяющего вертикальные электроды группового заземлителя

$\eta_r=0,88$, общее сопротивление составит:

$$R_{ОБЩ} = \frac{R'}{\eta_r} = \frac{3,37 \text{ Ом}}{0,88} = 3,8 \text{ Ом} \quad (41)$$

Тогда сопротивление контура будет:

$$R_{КОН} = \frac{R_n \cdot R_{ОБЩ}}{R_n + R_{ОБЩ}} = \frac{3,74 \text{ Ом} \cdot 3,8 \text{ Ом}}{3,74 \text{ Ом} + 3,8 \text{ Ом}} = 1,8 \text{ Ом} \quad (42)$$

Так как сопротивление всего контура меньше допустимого, эксплуатация аппарата безопасна.

5.4.2. Освещение производственных помещений и наружных установок.

При освещении производственных помещений используется естественное – за счёт солнечного излучения, искусственное – за счёт источников искусственного света, и совмещённое освещение.

Освещённость нормируется СНиП 23 – 05 – 03.

Произведем расчет искусственного освещения помещения операторной по коэффициенту использования светового потока по следующим формулам:

$$i = S / [H_p \cdot (A + B)] \quad (43)$$

где i – индекс помещения;

S – площадь освещаемого помещения ($S = 40 \text{ м}^2$);

H_p – принятая высота подвеса светильников ($H_p = 2,5 \text{ м}$);

A – длина помещения ($A = 8 \text{ м}$);

B – ширина помещения ($B = 5 \text{ м}$).

$$i = 40 / [2,5 \cdot (8 + 5)] = 1,23.$$

$$N = E_n \cdot S \cdot R \cdot Z / (F \cdot \eta)$$

где N – количество ламп;

E_n – нормированная минимальная освещенность, лк;

R – коэффициент запаса (1,3 – 1,8);

Z – поправочный коэффициент учитывающий неравномерность освещения (1,1 – 1,5);

S – площадь освещаемого помещения, ($S = 40 \text{ м}^2$);

F – световой поток выбранных ламп, лм $F = 4550$;

η – коэффициент светового потока ($\eta = 40 \%$).

$$N = 300 \cdot 1,5 \cdot 40 \cdot 1,6 / 4550 \cdot 0,4 = 15,82;$$

По результатам расчета для освещения помещения операторной принимаются тринадцать светильников с диффузно - рассеивающим отражением, по две лампы в каждом, оснащенные лампами ЛБ-40 с величиной световой отдачи 70,0 лм/Вт. В помещении операторной необходимо предусмотреть аварийное освещение (5% основного, но не менее 2 лк).

По данным расчета составим таблицу.

Таблица 5.3.3. Нормируемая освещённость по СНиП 23 – 05 – 03

Цех, участок, зона.	Минимальный размер объекта, мм	Разряд зрительн. раб.	Подряд зрительн. раб.	Характер фона и объекта фон/контр	Вид освещения Иск/ест	Норма освещения		Индекс с пом. i	Источн. света	Тип светильника	Мощн. ламп, Вт
						Иск. освещ, лк	Естествен. освещ, %				
Помещение операторной	0,5 - 1	IV	б	средн. / малый	Общ./бок.	300	4	1,23	ЛБ 40	диф. - расс. отр.	65

Аварийное, эвакуационное освещение (на полу помещений не менее 2 лк, на открытых территориях не менее 0,2 лк) необходимо в насосных, компрессорных станциях, открытых площадках абсорберов, на площадках дозирования реагента. Вдоль границы территории цеха устроено охранное освещение.

5.4.3 Защита работающих от производственного шума, вибрации.

Таблица 5.4. Фактические уровни шума на рабочих местах

Рабочее место	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах, Гц								Уровень звука, дБ
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Постоянные рабочие места и рабочие зоны в производственных помещениях	99	92	86	83	80	78	76	74	85

По источнику возникновения вибрации узел относится к категории 3 (технологическая вибрация).

Фактические уровни вибрации, воздействующие на организм человека в производственных условиях, приведены в таблице 5.5.

5.5.2 Защита зданий и сооружений от разрядов атмосферного электричества.

Защита от молний - комплекс защитных мер, предназначенных для обеспечения безопасности людей и зданий, оборудования и материалов от разрядов молнии. Молнии способны вызвать возгорание и разрушение зданий, поэтому необходимо принять специальные меры защиты от них.

Выбор и расчет защитных сооружений регламентирован руководящим документом СО 153.34.21.122-03.

Прогнозируемое количество ударов молнии в здание, не защищенное молниеотводом, в год:

- для высотных сооружений (колонные аппараты):

$$N = 9 \cdot \pi \cdot h^2 \cdot n \cdot 10^{-6} = 9 \cdot 3,14 \cdot 26^2 \cdot 2 \cdot 10^{-6} = 0,984;$$

где $h = 26$ м - высота здания или сооружения; $n = 2$ - удельная плотность ударов молний в землю, $1/(\text{км}^2 \cdot \text{год})$, определяется в зависимости от среднегодовой продолжительности гроз.

Так как $N < 1$, то выбираем зону защиты типа Б со степенью надежности 95% и более.

Для защиты здания выбираем одиночный тросовый молниеотвод для зоны Б и зоны защиты ≤ 150 м.

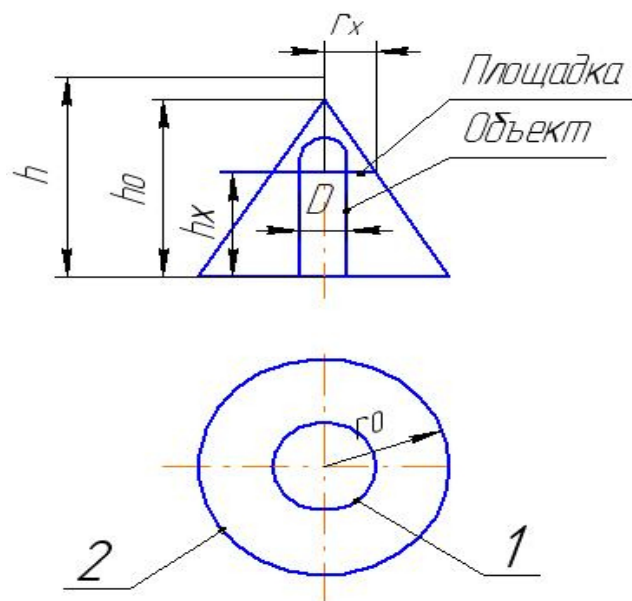


Рисунок 15 – Зона защиты одиночного тросового молниеотвода

где 1-граница зоны защиты на уровне h_x ; 2- граница зоны защиты на уровне земли.

Расчет молниеотводов.

Высота одиночного стержневого молниеприемника для зоны Б определяется по формуле:

$$h = (r_x + 1,63 \cdot h_x) / 1,5 = (2,5 + 1,63 \cdot 26) / 1,5 = 29 \text{ м}$$

где $h_x = 26$ м- высота защищаемого объекта;

$r_x = r(\text{колонны}) + L = 0,7 + 1,5 = 2,2$ м - радиус зоны защиты на высоте h_x , м.

$$h_0 = 0,92 \cdot h = 0,92 \cdot 29 = 26,68 \text{ м}$$

$$r_0 = 1,5 \cdot h = 1,5 \cdot 29 = 43,5 \text{ м}$$

Система одиночного тросового молниеотвода обеспечит защиту данного

сооружения, так как $43,5 \text{ м} < 150 \text{ м}$.

Согласно РД 34.21.122-87 предельно допустимое значение сопротивления растеканию тока не должно превышать 10 Ом, тогда импульсное сопротивление заземления будет равно:

$$R_U = \alpha \cdot R \quad (44)$$

где $\alpha = 0,9$ - коэффициент импульса, который зависит от удельного сопротивления грунта.

$$R_U = 0,9 \cdot 10 \text{ Ом} = 9 \text{ Ом}.$$

По этой величине выбираем тип заземлителя. Им может быть горизонтально расположенная в грунте на глубине 0,8 м стальная полоса сечением 4x40 мм, длиной 10 м, в качестве молниеотвода следует использовать стальной прут сечением не менее 100 мм².

Выбор методов и средств тушения пожара.

Технологическая установка обеспечена:

сухотрубам для подключения пожарной воды – 5 шт;
лафетными стволами - 5 шт;
- кольцами орошения колонн, подключенные к пожарному водоводу - 5 шт.
- первичными средствами пожаротушения и пожарным инвентарем
пожарными ящиками в комплекте, песок 0,5м³, две лопаты (совковая.
штыковая), два огнетушителя - ОПУ-5, асбестовое полотно 1.5x1.5, лом.

5.5.4 Защита окружающей среды. Узел должен быть обеспечен доброкачественной питьевой водой. Бачки должны иметь плотно закрывающиеся крышки. Вода в бачках меняется каждую смену.

Производственное водоснабжение подает воду для технологических целей, например, охлаждения оборудования.

В данном узле предусмотрено оборотное водоснабжение, при котором используемую воду после необходимой обработки возвращают в производство. В такой схеме из источника водоснабжения постоянно берут только небольшое количество воды, в основном для восполнения потерь на испарение и утечку.

6 Технико-экономический расчёт производства

Краткая характеристика производства:

Название предприятия – завод “ПАО ”Казаньоргсинтез”

Юридический статус – Государственное предприятие.

В данном технико-экономическом обосновании проекта усовершенствования узла щелочной очистки пирогаза введено следующее новшество: заменены контактные устройства, стоимость которых меньше, которые позволяют увеличить производительность и эффективность.

Таблица 6.1.Расчёт капитальных затрат на здания и сооружения по проекту и аналогу.

Наименование зданий	Объём зданий, куб.м	1 куб.м, руб.	Стоимость руб.	Амортизация	
				%	Сумма, тыс.руб.
Насосная №1	842,7	1000	842700	3,2	26966,4
Насосная №2	604,1	1000	604100	3,2	19331,2
Котельная №1	403,3	1300	524290	3,2	16777,28
Котельная №2	407,5	1300	529750	3,2	16952
Лаборатория	76	800	60800	3,2	1945,6
Склад	71	300	21300	3,2	681,6
Склад	110,2	300	33060	3,2	1057,92
Итого:	2514,8		2616000		83712
Наименование сооружений	Масса сооружений, т	1т, руб	Стоимость тыс.руб.	Амортизация	
				%	Сумма, тыс.руб.
Металло-конструкция №1	50	500	25000	10	2500
Металло-конструкция №2	60	500	30000	10	3000
Монифольд №1	85	600	51000	10	5100
Монифольд №2	100	600	114000	10	11400
Итого:	385		220000		22000
Всего:			2836000		90752

6.2.2 Расчет капитальных затрат на оборудование аналога.

Таблица 6.2.2. Затраты капитальные на оборудование аналога

Элементы затрат	Кол-во единиц	Стоимость, руб.		Амортизационные отчисления	
		Единицы	общая	Норма %	Сумма, руб
1	2	3	4	5	6
1. Технологическое оборудование					
1.1. Колонна абсорбционная	1	4200768	4200768	9	378088.1
1.2. Холодильник	1	2013050	2013050	10	201305
1.3. Насос	2	266667	533334	12.5	66666.75
Итого:			6780485		646060
2. Электрооборудование и электромонтажные работы (5% от общей стоимости технологического оборудования)			337357.6	9	30362.2
3. Транспортно-заготовительные расходы (10% от общей стоимости технологического оборудования)			674715.2	9	60724
4. Стоимость монтажа (10% от общей стоимости технологического оборудования)			674715.2	9	60724
5. Стоимость и монтаж КИП и ЭВМ (5% от общей стоимости технологического оборудования)			337357.6	9	30362
6. Прочее оборудование (15% от общей стоимости технологического оборудования)			1012072.8	9	91086.6
Всего капитальных затрат на оборудование			9783370		919318.8

6.2.3 Расчет капитальных затрат на оборудование проекта.

Таблица 6.2. Затраты капитальные на оборудование проекта

Элементы затрат	Кол-во единиц	Стоимость, руб		Амортизационные отчисления	
		единицы	общая	Норма %	Сумма, руб
1	2	3	4	5	6
1. Технологическое оборудование					
1.1. Колонна абсорбционная	1	3430839	3430839	9	296078.9
1.2. Холодильник	1	2013050	2013050	10	201305
1.3. Насос	1	266667	266667	12.5	33333,7
Итого:			5977223		547302.565
2. Электрооборудование и электромонтажные работы (5% от общей стоимости технологического оборудования)			298861	9	26897.5
3. Транспортно заготовительные расходы (10% от общей стоимости технологического оборудования)			597722.3	9	53795
4. Стоимость монтажа (10% от общей стоимости технологического оборудования)			597722.3	9	53795
5. Стоимость и монтаж КИП и ЭВМ (5% от общей стоимости технологического оборудования)			298861	9	26897.5
6. Прочее оборудование (15% от общей стоимости технологического оборудования)			896583.5	9	80692.5
Всего капитальных затрат на оборудование			8666973		789380

6.2.4 Смета капитальных затрат.

Таблица 6.2.4. Смета капитальных затрат

Основные фонды	Базовый вариант		Проект	
	Стоимость, руб	%, к итогу	Стоимость, руб	%, к итогу
Здания и постройки	2836000	22.5	2836000	24.7
Оборудование	9783370	77.5	8666973	75.3
Итого:	12619370	100,0	11502973	100,0

Расчет нормируемых оборотных средств:

По базовому варианту:

$$\text{НОС} = \text{ОПФ} \cdot 0,12 = 12619370 \cdot 0,12 = 1514324,4 \text{ (руб.)}$$

По проекту:

$$\text{НОС} = \text{ОПФ} \cdot 0,12 = 11502973 \cdot 0,12 = 1380356,76 \text{ (руб.)}$$

Расчет капитальных вложений:

По базовому варианту:

$$\text{КВ} = \text{ОПФ} + \text{НОС} = 12619370 + 1514324,4 = 14133694,4 \text{ (руб.)}$$

По проекту:

$$\text{КВ} = \text{ОПФ} + \text{НОС} = 11502973 + 1380356,76 = 12883329,76 \text{ (руб.)}$$

Удельные капиталовложения:

$$K_{\text{уд}} = \text{КВ} / M_n \quad (42)$$

$$K_{\text{уд}}(\text{баз.}) = 14133694,4 / 1905161 = 7,42 \text{ руб./т}$$

$$K_{\text{уд}}(\text{пр.}) = 12883329,76 / 1905161 = 6,76 \text{ руб./т}$$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Автоматизация узла щелочной очистки пирогаза обеспечивает равномерное и экономичное использование всех ресурсов, безопасную работу при заданном режиме, срабатывание сигнализации при понижении или повышении технологических параметров.

Автоматизация данного производства помогает человеку управлять созданных им же машинами. Кроме того данное производство опасно для здоровья обслуживающего персонала. Использование промышленного ЭВМ и программируемых контроллеров позволяет улучшить условия труда, сократить численность персонала, получить точную информацию о параметрах технологического процесса, улучшить качество продукции, равномерно и экономично использовать ресурсы, и тем самым снизить капитальные затраты.

Выводы по проекту. В данной работе были изучены основы процесса абсорбции на примере узла щелочной очистки пирогаза от сероводорода и двуокиси углерода в цехе очистки и осушки пирогаза на заводе этилена ПАО «Казаньоргсинтез». Было спроектировано и рассчитано основное технологическое оборудование:

1) Абсорбционная колонны К-7, предназначенная для очистки пирогаза от сероводорода и двуокиси углерода, который поступает из отделения компрессии цеха №65-76 с давлением $(36-38) \text{ кгс/см}^2$ температурой $(35-40)^\circ$. Внутренние устройства: нерегулярная насадка «Инжехим 2000». $D=1400 \text{ мм}$.

2) Кожухотрубчатый теплообменник Т-13 (холодильник), предназначенный для охлаждения очищенного пирогаза до температуры 30°C . В качестве хладагента используется охлаждающая вода, движущаяся по трубному пространству. $D=800 \text{ мм}$, количество труб $n=656$.

3) Насос для подачи теплоносителя в теплообменник Т-13.

На основе технологических и механических расчетов выполнены чертежи оборудования и внутренних устройств колонны. Предложен вариант замены тарелок на нерегулярные насадки, что позволило снизить себестоимость проектируемого и увеличить эффективность очистки от вредных примесей. В результате этих мероприятий, улучшены технико-экономические показатели узла очистки ДМК, произведен расчет показывающий, что проектируемое производство окупится через 0,2 года.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Производство этилена: технологический регламент / ОАО Казаньоргсинтез . –Казань, 2008. - 1685с.
- 2 Поникаров И.И. Расчет машин и аппаратов химических производств и нефтегазопереработки (примеры и задачи) / И.И.Поникаров, С.И.Поникаров, С.В.Рачковский. – М.: Альфа-М, 2008. - 720 с.
- 3 Чернобыльский И. И. Машины и аппараты химических производств / И.И.Чернобыльский, А.Г.Бондарь, Б.А.Гаевский. - М.: Машиностроение, 1975. - 454 с.
- 4 ГОСТ 24755-89. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность укрепления отверстий.- Взамен ГОСТ 25755-81; введ. 1989-10-16.- М.:Изд-во стандартов,1989.- 45с.
- 5 Основы конструирования и расчёта химико-технологического и природоохранного оборудования: справочник в 3 т.Т.1 /А.С. Тимонин.- Калуга: Издательство Н. Бочкарёвой, 2002.- 846 с.:ил.
- 6 ГОСТ Р 51274-99. Сосуды и аппараты. Аппараты колонного типа. Нормы и методы расчета на прочность.- Введ. впервые; введ. 2000-01-01. - М.: Изд-во стандартов,2000.- 22с.
- 7 ГОСТ Р 51273-99. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Определение расчётных усилий для аппаратов колонного типа от ветровых нагрузок и сейсмических воздействий.- Введ. впервые; введ. 1999-07-08. - М.: Изд-во стандартов,1999.- 17с.
- 8 Дытнерский Ю.И. Основные процессы и аппараты химической технологии: Пособие по проектированию / Г.С.Борисов, В.П. Брыков, Ю.И. Дытнерский. под. ред. Ю.И. Дытнерского, 2-е изд., М.:Химия, 1991.-496 с.
- 9 Павлов К.Ф. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии / К.Ф.Павлов, П.Г. Романков , А.А. Носков. - Л.: Химия, 1987.-576с
- 10 Павлов К.Ф. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии / К.Ф.Павлов, П.Г. Романков , А.А. Носков. - Л.: Химия, 1987.-576с.
- 10 Расчет теплообменника / ТГТУ; сост.А.Б. Мозжухин, Е.А.Сергеева. под ред. Н.Ц. Гатаповой. - Тамбов, 2001. - 32 с.
- 11 Основы конструирования и расчёта химико-технологического и природоохранного оборудования: справочник в 3 т.Т.1 /А.С. Тимонин.- Калуга: Издательство Н. Бочкарёвой, 2002.- 846 с.:ил.
- 12 Обеспечение производственной и экологической безопасности / Казан. гос. технол. ун-т; сост.Ф.М. Гимранов, Д.К. Шаяхметов, И.В. Чепегин и др.- Казань, 1998.- 60 с.

заведующего кафедрой / начальника структурного подразделения

Обнаруженные в работе замещения
не обладают признаками типича.
Работа прижата самостоятельной

Дата

Подпись заведующего кафедрой /

начальника структурного подразделения

Окончательное решение в отношении допуска к защите, включая обоснование:

Данная работа допускается к защите

 27.09.2021

Дата

Подпись заведующего кафедрой /

начальника структурного подразделения

Протокол анализа Отчета подобия Научным руководителем

Заявляю, что я ознакомился(-ась) с Полным отчетом подобия, который был сгенерирован Системой выявления и предотвращения плагиата в отношении работы:

Автор: Сулейманов Р. Р.

Название: Технологические процессы и оборудование для очистки пирогаза в производстве этилена

Координатор: Тогыс Карманов

Коэффициент подобия 1:9.2

Коэффициент подобия 2:3.9

Замена букв: 16

Интервалы: 0

Микропробелы: 0

Белые знаки: 0

После анализа Отчета подобия констатирую следующее:

- ☐ обнаруженные в работе заимствования являются добросовестными и не обладают признаками плагиата. В связи с чем, признаю работу самостоятельной и допускаю ее к защите;
- ☐ обнаруженные в работе заимствования не обладают признаками плагиата, но их чрезмерное количество вызывает сомнения в отношении ценности работы по существу и отсутствием самостоятельности ее автора. В связи с чем, работа должна быть вновь отредактирована с целью ограничения заимствований;
- ☐ обнаруженные в работе заимствования являются недобросовестными и обладают признаками плагиата, или в ней содержатся преднамеренные искажения текста, указывающие на попытки сокрытия недобросовестных заимствований. В связи с чем, не допускаю работу к защите.

Обоснование:

Обнаруженные в работе заимствования являются добросовестными и не обладают признаками плагиата. В связи с чем признаю работу самостоятельной и допускаю ее к защите.

Дата

27.09.2021г.

Подпись Научного руководителя

