

## Содержание

Введение	8
1 Описание технологического процесса и технологической схемы	9
1.1 Описание основного технологического процесса	9
1.2 Основная схема работы УПСВ	10
2 Расчет нефтегазосепаратора (НГС)	17
2.1. Технологический расчет нефтегазосепаратора	18
2.2 Конструкционный расчет нефтегазосепаратора	20
2.3 Механический расчет нефтегазосепаратора	21
2.3.1 Расчет цилиндрической обечайки	21
2.3.2 Расчет эллиптической крышки	25
2.3.3 Подбор штуцеров	27
2.3.4 Укрепление отверстия	28
2.3.5 Расчет фланцевых соединений	32
2.3.6 Расчет седловых опор	44
3 Расчет отстойника горизонтального(ОГ)	69
3.1 Технологический расчет ОГ	71
3.2 Конструктивный расчет ОГ	73
3.3 Механический расчет ОГ	74
3.3.1 Расчет цилиндрической обечайки	74
3.3.2 Расчет эллиптической крышки	79
3.3.3 Подбор штуцеров	81
3.3.4 Укрепление отверстия	83
3.3.5 Расчет фланцевых соединений	86
3.3.6 Расчет седловых опор	99
4 Расчет газосепаратора сетчатого(ГС)	127
4.1 Технологический расчет ГС	129
4.2 Конструктивный расчет ГС	130
4.3 Механический расчет ГС	132

4.3.1	Расчет цилиндрической обечайки	132
4.3.2	Расчет эллиптической крышки	135
4.3.3	Подбор штуцеров	137
4.3.4	Укрепления отверстия	138
4.3.5	Расчет фланцевых соединений	141
4.3.6	Расчет вертикальных опорных стоек	153
5	Монтаж оборудования	161
5.1	Классификация оборудования по монтажным признакам	161
5.2	Пространственное положение оборудования	162
5.3	Массовые характеристики оборудования	163
5.4	Габаритные характеристики оборудования	165
5.5	Расположение оборудования на территории технологической установки	166
5.6	Описание способа монтажа и расчет монтажного оборудования	167
6	Финансовый менеджмент	175
7	Экологическая и промышленная безопасность	194
7.1	Промышленная санитария	194
7.2	Метеорологические условия	196
7.3	Организация трудового процесса	197
7.4	Средства защиты работающих	200
7.4.1	Средства коллективной защиты	200
7.4.2	Индивидуальные средства защиты	201
7.5	Освещение	202
7.6	Шумы и вибрации	205
7.7	Техника безопасности технологического процесса	206
7.8	Инженерно – технические средства безопасности	208
7.9	Безопасность технологического оборудования	209
7.10	Электробезопасность	210
7.11	Молниезащита	212
7.12	Пожаровзрывобезопасность	213

7.13 Охрана окружающей среды	220
7.14 Чрезвычайные ситуации	221
7.14.1 Производственные аварии	221
7.14.2 Стихийные бедствия	221
7.14.3 Военно-социальные конфликты	222
8 Автоматизация	224
8.1 Управление технологическим процессом	225
9 Приложение	241
Список использованной литературы	252

## **Введение**

В современном мире роль нефти и газа была, есть и в обозримом будущем останется ведущим ресурсом мировой экономики, самым ценным и востребованным ресурсом на планете на сегодняшний день. Нефть определяет внешнюю и внутреннюю политику всех стран. Колебание цены на нефть сказывается сразу на всех секторах экономики.

Технико-экономические преимущества нефти и получаемых на ее основе продуктов обусловили особую роль нефтяной и нефтеперерабатывающей отраслей в мировом хозяйстве. Диапазон использования нефти в хозяйственной деятельности необычайно велик: от использования в качестве топлива для автомобилей и до производства высокотехнологических предметов и материалов на ее основе.

Нефть — природная маслянистая горючая жидкость со специфическим запахом, состоящая в основном из сложной смеси углеводородов различной молекулярной массы и некоторых других химических соединений. Она является природным горючим ископаемым, но отличается от остальных большим содержанием водорода и количеством теплоты, выделяющимся при горении.

Как и в любой другой промышленности одним из основных факторов производства является себестоимость конечного продукта. Таким образом целью дипломного проекта является увеличение производительности аппарата с целью уменьшения себестоимости.

## **1. Описание технологического процесса и технологической схемы**

### **1.1 Описание основного технологического процесса**

Предварительное разделение продукции скважин включает следующие процессы:

- Сепарация нефти от газа;
- Сброс пластовой воды (предварительное обезвоживание).

Сепарация газа от нефти происходит под влиянием гравитационных, инерционных сил и за счет селективной смачиваемости нефти.

Гравитационная сепарация осуществляется вследствие разности плотностей жидкости и газа, т.е. под действием их силы тяжести.

Инерционная сепарация происходит при резких поворотах газонефтяного потока, при этом жидкость, как более инерционная, продолжает двигаться по прямой, а газ меняет свое направление.

Пленочная сепарация основана на явлении селективного смачивания жидкости на металлической поверхности. При прохождении потока газа с некоторым содержанием нефти через насадки капли нефти, соприкасаясь с металлической поверхностью, смачивают ее и образуют на ней сплошную жидкостную пленку. Жидкость на этой пленке держится достаточно хорошо и при достижении определенной толщины начинает непрерывно стекать вниз.

Предварительный сброс пластовой воды применяется для уменьшения коррозии трубопроводов и повышения производительности установок подготовки нефти.

Для обезвоживания нефти на УПСВ «Центр Первомайского месторождения» используют гравитационный отстой нефти в отстойнике. Во время отстоя происходят процессы коагуляции капель воды, и более крупные и тяжелые капли воды под действием сил тяжести (гравитации) оседают на дно и скапливаются в виде слоя подтоварной воды.

Для более эффективного отстоя воды используется ввод в обводненную нефть деэмульгаторов. Деэмульгаторы адсорбируются на поверхности раздела фаз "нефть-вода" и вытесняют или заменяют менее поверхностно-активные природные эмульгаторы, содержащиеся в жидкости. Причем пленка, образующаяся на поверхности капель воды, непрочная, что облегчает слияние мелких капель в крупные, которые легко оседают на дно аппарата.

Эффективность и скорость химического обезвоживания значительно повышается при нагреве нефти (за счет снижения вязкости нефти при нагреве и облегчения процесса слияния капель воды).

## **1.2. Основная схема работы УПСВ-1**

Обводненная нефть, с растворенным в ней газом, с месторождения «Центр и Север» Первомайского месторождения» поступает на УПСВ с входной гребенки через арматуру № 9, 10, 11, 12, 13, 15. Технологической схемой предусмотрена возможность перевода жидкости с УПСВ «Юг Первомайского месторождения» (откр. задвижки № 17, 18, задвижки № 19, 20 закрыты) на вход УПСВ «Центр Первомайского месторождения».

От входной гребенки нефть через задвижку 1вн (задвижка 2вн – закрыта), поступает на первую ступень сепарации в нефтегазосепаратор С-1-1 (НГС-100), где происходит сепарация газа за счет резкого снижения скорости потока в объеме аппарата. Газ, поднимается вверх и, пройдя сетчатые каплеотбойники, через верхний патрубок выходит из сепаратора. Уровень жидкости (LCA-0103) в сепараторе поддерживается клапан РУ-1.

Для увеличения интенсивности обезвоживания нефти на установке, в трубопровод нефти перед нефтегазосепаратором С-1-1 подается деэмульгатор плунжерным насосом поз. П-3. Расходная емкость с деэмульгатором поз. Е-3 и насос расположены в отдельном блок-боксе реагентного хозяйства (БРХ-3).

Основной поток дегазированной нефтяной эмульсии из нефтегазосепаратора С-1-1 через задвижку 5вн, регулятор уровня Ру-1, далее через задвижки 6вн, 8вн, 9вн, (11вн-закрыта) поступает через два коллектора

(маточника) в отстойник ОГ-1. Из коллекторов нефть (через отверстия в верхней части трубы) выходит под распределители эмульсии и через просверленные в них отверстия, поступает тонкими струйками в слой пластовой воды. Распределители эмульсии предназначены для гашения кинетической энергии вытекающих струй эмульсии, равномерного распределения их по сечению аппарата и предотвращения перемешивания нижележащих слоев воды. Часть дегазированной нефтяной эмульсии из нефтегазосепаратора С-1-1 через задвижку 17вн,46вн, 3ДЭ1 поступает на вход путевого подогревателя ПНПТ-1,6ХЛ, где происходит ее нагрев и поступление эмульсии в технологический процесс на вход ОГ-1,2 для нагрева жидкости через задвижку 18вн.

После водной промывки жидкость проходит через промежуточный слой высококонцентрированной эмульсии, играющего роль фильтра. В промежуточном слое мельчайшие капельки воды слипаются в более крупные и под действием силы тяжести оседают в нижнюю часть отстойника, а нефть, как продукт с меньшей плотностью поднимается в верхнюю часть аппарата. Далее нефть попадает в сборные коллектора, расположенные в верхней части аппарата, и через штуцеры выводится из аппарата и через задвижки 37н, 38н, 25вн, (задв. 1н и 1н' - закрыты) поступает в отстойник ОГ-2 где происходит дополнительный отстой нефти от воды.

Уровень раздела фаз в отстойниках ОГ-1(1,83-2,31м от низа аппарата), ОГ-2(1,6-2,17м от низа аппарата) регулируется:

- отводом воды - клапана поз. Ру-2,Ру-3;
- отводом обезвоженной нефти -клапан поз. Ру-4.

Подтоварная вода после узлов учета воды с датчиками расхода жидкости СВУ ДРС-200 поступает на БКНС-32 цеха ППД-2.

Для визуального контроля уровня раздела фаз в отстойнике имеются пробоотборные вентили.

Технологической схемой предусмотрена возможность параллельной работы отстойников ОГ-1 и ОГ-2, а также работа на одном аппарате при выводе второго в ремонт.

Нефть из отстойника ОГ-2 через задвижки 2н, 2н', 39н, Ру-4, 41н (задв. 3н, 12вн, 40н – закрыты) поступает в буферную емкость БЕ, где происходит вторая ступень сепарации, после чего нефть через задвижку 4н поступает на прием нефтенасосной, оборудованной тремя насосами ЦНС-105-294.

Уровень нефти в буферной емкости БЕ поддерживается в пределах 1,5-2,3м клапаном Рпн, установленным на линии нагнетания насосов поз. ЦНС-1,2,3 с сигнализацией низкого и высокого уровня в операторной.

При работе путевого подогревателя с использованием насосных агрегатов ЦНС-105-294 нефть поступает на путевой подогреватель ПНПТ-1,6ХЛ через задвижки 23н, 29н/. После нагрева, нефть поступает на установку после С-1- через задвижку №18вн , где происходит смешивание с нефтяной эмульсией и нагрев последней.

На приемных линиях насосов установлены сетчатые фильтры поз. Ф-1, 2, 3.

Для плавного пуска и регулирования частоты вращения электродвигателей насосов ЦНС -1,2 установлены станции управления с частотным преобразователем серии «Электрон-05».

Технологической схемой предусмотрена возможность работы нефтегазосепаратора С-1-2 в качестве сепаратора первой ступени при выводе нефтегазосепаратора С-1-1 в ремонт. Для этого необходимо открыть задвижки 41вн, 40вн закрыть 37вн, 39вн.

Технологической схемой предусмотрена возможность работы нефтегазосепаратора С-1-2 в качестве сепаратора второй ступени при выводе буферной емкости БЕ в ремонт. Для этого необходимо открыть задвижки 42вн, 42н,44вн, 45вн, 33вн, 34вн, 35вн, 36вн, закрыть 4н, 3н,41н

Для внутрихозяйственного учета количества нефти от нагнетания насосов подается на узел учета. В состав УУН входят рабочая, резервная и контрольная линии.

Измерение расхода производится Турбинные преобразователи расхода Норд - 100

Для непрерывного измерения объемной доли воды в потоке нефти на узле учета установлен влагомер поточный ПИП-ВСН

Для определения качества нефти аналитическим путем в лабораторных условиях в БКК установлен пробоотборник для ручного отбора проб «СТАНДАРТ – Р» который состоит из:

- диспергатора;
- крана – манипулятора;
- рычага;

Отбор проб вручную производится с помощью рычага

Для дополнительной очистки от механических примесей нефть на узле учета проходит через сетчатые фильтры Ф-5, 6, представляющие собой емкость с установленным внутри нее фильтрующим элементом (металлическая сетка).

Контроль состояния (засоренности) фильтра производится по перепаду давления между показаниями манометров установленных на входе и выходе (перепад давления не более 1 кгс/см<sup>2</sup>).

После узла учета нефть подается в нефтепровод УПСВ "Центр Первомайского месторождения" – УПН п.Пионерный (диаметр - 273х6мм, длина – 25,29км).

Газ из нефтегазосепаратора С-1-1 поступает в нефтегазосепаратор С-1-2 через задвижку 1г, задвижки 2г и 3г – закрыты. Жидкость из нефтегазосепаратора С-1-2 через задвижку 1к по мере накопления сбрасывается в дренажную емкость ДЕ-1.

Газ из нефтегазосепаратора С-1-2 через задвижки 4г, 5г поступает в вертикальный газовый сепаратор ГС-1 для дополнительной сепарации задвижка 28г открыта (задв.30г – закрыта).

После сепаратора ГС-1 газ через узел учета газа (УУГ) подается в газопровод УПСВ "Центр Первомайского месторождения" – УПН п.Пионерный (диаметр - 426х7мм, длина - 24км). Измерение расхода газа производится датчиком расхода газа «Dymetic-1223-K» поз. FI 0307.

Для работы путевого подогревателя газ после ГС-1 поступает для дополнительной сепарации в вертикальный газосепаратор ГС-3 через задвижку. 49г. Далее, через задв. 42г, далее через задвижки №54г, 55г, 3Д334 на СЦВ для отделения капельной жидкости, измерение расхода производится датчиком расхода газа «Dymetic-1223-K» поз. FI 0201, ГРП и поступает на вход блок розжига путевого подогревателя . ПНПТ-1,6ХЛ. В процессе сжигания попутного газа происходит нагрев промежуточного теплоносителя, который в свою очередь нагревает нефть.

Невостребованный потребителями газ утилизируется на факеле высокого давления. Измерение расхода производится датчиком расхода газа «Dymetic-1223-K» поз. FI 0303.

Для предотвращения попадания воздуха в факельные системы подается продувочный газ, обеспечивающей скорость потока в расчете на сечение факельного ствола под оголовком не менее 0,9 м/с

Газ для продувки из коллектора после сепаратора ГС-1 поступает для дополнительной сепарации в вертикальный газосепаратор ГС-3 через задв. 49г. Далее, через задв. 42г, поступает на узел учета газа. Измерение расхода производится датчиком расхода газа «Dymetic-1223» поз. FI 0308. После узла учета газ через задвижку № 44г поступает в коллектор факела низкого давления и через шаровой кран №43г в коллектор факела высокого давления.

Газ после второй ступени сепарации из буферной емкости БЕ для дополнительной сепарации поступает в вертикальный газосепаратор ГС-2 через задвижки 16г, 31г (задв. 9г, 11г, 12г, 14г, 17г, 18г, 19г, 33г – закрыты).

Далее газ через задвижку 32г поступает в УУГ. Измерение расхода производится датчиком расхода газа «Dymetic-1223-K» поз. FI 0302.

Далее газ низкого давления утилизируется на факельной установке НД.

Для предотвращения образования гидратных пробок подается метанол из блока метанольного хозяйства (БРХ-1) в газопроводы:

- газ из нефтегазосепаратора С-1-1
- газ из нефтегазосепаратора С-1-2
- газ из буферной емкости БЕ
- коллектор газа ВД перед сепаратором ГС-1

из стационарной метанольницы в газопроводы:

- коллектор газа ВД перед узлом учета газа ВД
- трубопровод подачи газа на УПН.

На газопроводах ВД и НД установлены расширительные камеры, где происходит улавливание конденсата, который через задв. 3к и 4к поступает в конденсатосборники ЕК-1, ЕК-2 (ЕПП-12,5). При наполнении ЕК-1, ЕК-2 срабатывает датчик уровня и подаются звуковой, световой сигналы в операторной. Конденсат откачивается погружными электронасосными агрегатами в линию поступления нефти на прием насосов ЦНС-1,2,3.

Откачка дренажных емкостей ДЕ-1, ДЕ-5, производится на прием насосов ЦНС-1,2,3. Откачка дренажных емкостей ДЕ-2 производится в линию выхода нефти из нефтегазосепаратора С-1-1 на вход отстойников через задвижку 2е, 02, при этом задвижка 01 закрыта или через задвижки 2е, 01, 33вн, 34вн, 35вн, 36вн и на прием насосов ЦНС-1,2,3 при этом задв. 02 – закрыта.

Откачка дренажных емкостей ЕПС-1 производится в линию сброса подтоварной воды из ОГ-1,2 на РВС-1 БКНС через задвижки 7е, 11е, 01, 03 при этом задвижка 02 закрыта.

Откачка дренажной емкости ЕПС-2 производится через задвижки № 8е, 12е, 13е, 01, 03 в линию сброса подтоварной воды из ОГ-1,2 на РВС-1 БКНС при этом задвижка 02 будет закрыта.

Откачка дренажных емкостей ДЕ-3 производится в линию выхода продукции из С-1-1 на прием отстойников через задвижки 3е, 13е, 02 при этом 01, 12е закрыта или через задвижки 3е, 13е, 01, 33вн, 34вн, 35вн, 36вн и на прием насосов при этом задв. 02, 12е – закрыта.

Откачка дренажных емкостей ДЕ-4 производится в линию выхода продукции из С-1-1 на прием отстойников через задвижку 4е, 02 при этом задвижка 01 закрыта.

Откачка дренажных емкостей ДЕ-6 производится через задвижки 6е, 8р, 10р при этом задвижка 4р закрыта.

От пункта слива нефтесодержащей жидкости (НСЖ), обслуживаемый ЦТОРТиЛПА-2 жидкость подается через задвижку поз.1ж на вход в отстойники поз.ОГ-1 и ОГ-2. Пункт предназначен для приема нефтесодержащей жидкости собранной из аварийных разливов Васюганской группы нефтяных месторождений.

## **2. Расчет нефтегазосепаратора**

Проектная производительность сепараторов 2000, 5000, 10000, 20000, и 30000 т/сут по нефти, при объемах емкостей соответственно 8, 14, 28, 56 и 80 м<sup>3</sup>, давлениях – 0,6; 1,6; 2,5; 4,0; 6,4 МПа, и температурах 0 до +100 °С. Они предназначены для отделения газа от нефти на 1 ступени сепарации и качественной очистки газа перед подачей его в выходной трубопровод.

Сепаратор представляет собой горизонтальный аппарат, внутри которого непосредственно у вводного штуцера смонтированы сливные полки обеспечивающие выделение основного количества газа. У штуцера выхода газа смонтированы вертикальный и горизонтальный фильтры очистки газа. Штуцер выхода нефти оборудован устройством, предотвращающим образование воронки.

Нефтегазовая смесь поступает через вводной штуцер на сливные полки, где и происходит основное выделение газа. Далее нефть движется по аппарату, занимая по высоте приблизительно половину диаметра, при этом из нефти выделяется газ, не успевший выделиться ранее. Выделившийся газ вместе с

частицами нефти, которые находятся во взвешенном состоянии, поступает на фильтры грубой и тонкой очистки газа. Очищенный газ через штуцер выхода газа выходит из аппарата. Дегазированная нефть через штуцер нефти, расположенный в нижней части, также выводится из сепаратора[19].

## 2.1 Технологический расчет НГС.

Расчет ведется по методике, изложенной в [2].

Определение геометрических размеров аппарата:

Нагрузка на НГС по нефти [2, с. 8]:

Рабочее давление среды в аппарате [2, с.8]:

Температура среды в аппарате [2, с. 8]:

Давление насыщения пластовой нефти [2,с.6]:

Пластовая температура [2, с.6]:

Плотность среды [2, с. 6]:

Газонасыщенность пластовой нефти [2, с. 6]:

$$N := 15000 \text{ м}^3/\text{сут}$$

$$P_{\text{раб}} := 0.4 \text{ МПа}$$

$$T := 30 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$P_{\text{нас}} := 10.2 \text{ МПа}$$

$$T_{\text{пл}} := 43 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\rho_{\text{H}} := 885 \text{ кг/м}^3$$

$$Y_{\text{T}} := 104.7 \text{ м}^3/\text{т}$$

Данные взяты из Технологического регламента УПН, ЦППН 4

Средняя молекулярная масса:

$$M_{\text{T}} := 29.285 \text{ кг/моль}$$

Плотность газа:

$$\rho_{\text{T}} := 1.23 \text{ кг/м}^3$$

Средняя молекулярная масса нефти[2]:

$$M_{\text{H}} := 44.3 \cdot \frac{\rho_{\text{H}} + \rho_{\text{T}} \cdot Y_{\text{T}}}{1030 - \rho_{\text{H}} + 1.845 \cdot Y_{\text{T}}} = 132.804 \text{ кг/моль}$$

Молярная доля газообразной фазы в сепараторе равна[2]:

$$n_{\text{T}} = 0.403 \cdot n_{\text{H}}$$

$$N_{\text{V}} := \frac{n_{\text{T}}}{n_{\text{H}} + n_{\text{T}}} \quad N_{\text{V}} := 0.356$$

Отсюда следует:

Так как масса вещества равна произведению числа молей вещества на его молекулярную массу, то масса нефти в сепараторе равна:

$$m_{\text{H}} = n_{\text{H}} \cdot M_{\text{H}}$$

соответственно газа

$$m_{\text{T}} = n_{\text{T}} \cdot M_{\text{T}}$$

$$O_{\text{т}} := 0.803 \cdot \frac{M_{\text{T}}}{M_{\text{H}}} = 0.177$$

Так как максимальная нагрузка сепаратора 15000 м<sup>3</sup>/сут по жидкости, обводненной до 40 %, то нефти в ней:

$$N_n := N \cdot 0.6 = 9 \times 10^3 \text{ м}^3/\text{сут}$$

Масса которой равна:

$$G_n := N_n \cdot \frac{\rho_n}{10^3} = 7.965 \times 10^3 \text{ кг/сут}$$

Массовая нагрузка на сепаратор по газу:

$$G_g := G_n \cdot Ot \cdot 10^3 = 1.41 \times 10^6 \text{ т/сут}$$

Объемная нагрузка на сепаратор:

$$Q_g := 22.4 \cdot \frac{G_g}{M_g} = 1.079 \times 10^6 \text{ м}^3 / \text{сут}$$

Подбираем по [2, табл.2.13] НГС6-3000 с пропускной способностью по газу 1,5\*10<sup>6</sup> м<sup>3</sup>/сут.

Основные параметры НГС6-3000:

Длина сепаратора: 12620 мм

Условный диаметр: 3000 мм

## 2.2 Конструктивный расчет НГС.

Скорость нефтегазовой смеси на входе в аппарат:

$$\omega_{ПА} := 1 \text{ м/с}$$

При объемном расходе:

$$V_{см} := 550 \text{ м}^3/\text{ч}$$

Диаметр входного штуцера для нефтегазовой смеси:

$$d_{вш} := \sqrt{4 \cdot \frac{V_{см}}{\pi \cdot \omega_{ПА} \cdot 3600}}$$

$$d_{\text{вш}} = 0.441$$

Принимаем диаметр входа нефтегазовой смеси с учетом возникновения нештатных ситуаций, сопровождающихся увеличением расхода равный:

$$D_{\text{вш}} := 400 \text{ мм}$$

Скорость выхода нефтегазовой смеси принимаем равным:

$$\omega_{\text{пн}} := \omega_{\text{па}}$$

Тогда диаметры штуцеров соответственно тоже равны:

$$D_{\text{выш}} := D_{\text{вш}} = 400 \text{ мм}$$

Размеры остальных штуцеров принимаем конструктивно, исходя из функционального назначения.

### 2.3 Расчет цилиндрической обечайки

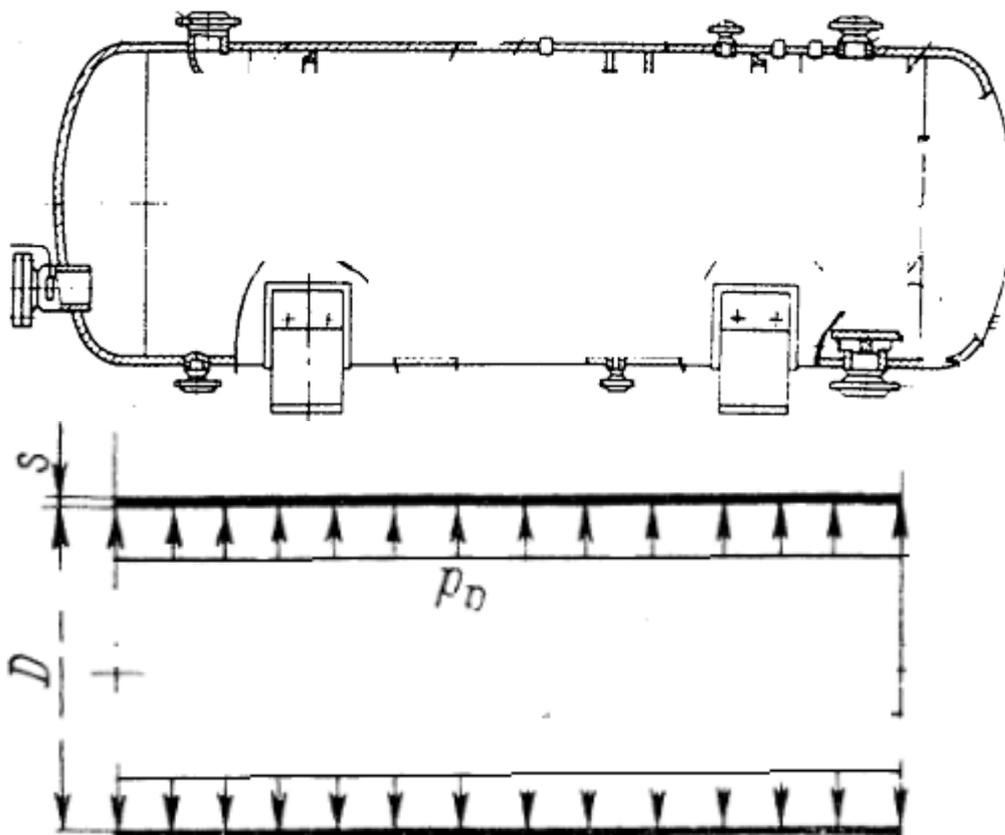


Рисунок № 2.1 "Расчетная схема обечайки".

Исходные данные:

Абсолютная нормальная температура:

$$T_0 := 273 \text{ К}$$

Абсолютная температура газа в сепараторе:

$$T := T_0 + 30 = 303 \text{ К}$$

Атмосферное давление:

$$P_0 := 1.013 \cdot 10^5 \text{ Па}$$

Рабочее давление в сепараторе:

$$P := 0.59 \cdot 10^6 \text{ Па}$$

Материал: *сталь 09Г2С*.

Классификация 09Г2С: Сталь конструкционная низколегированная.

Назначение:

Сталь 09Г2С применяется: для изготовления различных деталей и элементов сварных металлоконструкций, работающих при температуре от -70 до +425 °С; паровых котлов, аппаратов и емкостей, работающих под давлением при температуре от -70 до +450 °С; ответственных листовых сварных конструкций в химическом и нефтяном машиностроении, судостроении; деталей трубопроводной арматуры после закалки и отпуска; сварных переходов, фланцев, сварных тройников и других фасонных деталей трубопроводов АС с температурой эксплуатации от -60 °С до +350 °С; в качестве основного слоя при изготовлении горячекатаных двухслойных коррозионностойких листов; горячекатаного корытного и одножелобчатого профилей для сельскохозяйственных машин; бесшовных горячедеформированных хладостойких труб для газлифтных систем и обустройства газовых месторождений; электросварных прямошовных труб диаметром 530 мм группы прочности К50 для строительства газопроводов, нефтепроводов и нефтепродуктопроводов; большегрузных контейнеров.

**Основные характеристики стали определяем согласно ГОСТ Р 52857.1-2007: допустимое напряжение, предел текучести, модуль упругости.**

Рабочая температура среды аппарата:

$$t_p := 30 \text{ градусов}$$

Допускаемое напряжение материала при рабочей температуре:

$$\sigma_d := 193.7 \cdot 10^6 \text{ Па}$$

Допускаемое напряжение материала при температуре 20 градусов:

$$\sigma_{d20} := 196 \cdot 10^6 \text{ Па}$$

Предел текучести материала при 20 градусах:

$$\sigma_{t20} := 300 \cdot 10^6 \text{ Па}$$

Модуль упругости:

$$E := 1.94 \cdot 10^{11} \text{ Па}$$

Плотность материала:

$$\rho_{\text{мет}} := 7850 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

Диаметр сепаратора:

$$D := 3 \text{ м}$$

Размеры днища и крышки: [3, стр. 446]

Высота отбортованной части крышки:

$$h := 0.07 \text{ м}$$

Высота крышки:

$$H_{\text{д}} := 0.75 + h = 0.82 \text{ м}$$

Скорость коррозии материала от действия заданной среды[2]:

$$P_{\text{кор}} := 0.0001 \frac{\text{м}}{\text{год}}$$

Расчетное время эксплуатации аппарата[2]:

$$t_{\text{лет}} := 20 \text{ лет}$$

Длина горизонтальной обечайки:

$$L_{\text{г}} := 13.13 \text{ м}$$

Высота аппарата:

$$H_{\text{ап}} := 3 \text{ м}$$

Объем аппарата:

$$V_{\text{ап}} := 100 \text{ м}^3$$

Коэффициент заполнения аппарата[1]:

$$\chi := 0.7$$

Объем аппарата, занятый жидкостью:

$$V_{\text{ж}} := \chi \cdot V_{\text{ап}} = 70 \text{ м}^3$$

Тип шва: стыковой или тавровой с двухсторонним сплошным проваром, автоматический контроль 100%.

Коэффициент прочности сварных швов:

$$\phi := 1$$

**Прибавки к расчетным толщинам конструктивных элементов[3]:**

Прибавка для компенсации коррозии и эрозии:

$$c_1 := P_{\text{кор}} \cdot t_{\text{лет}} = 2 \times 10^{-3} \text{ м}$$

Прибавка для компенсации минусового допуска;

$$c_2 := 0 \text{ м}$$

Технологическая прибавка;

$$c_3 := 0 \text{ м}$$

Прибавки к расчетным толщинам конструктивных элементов:

$$c := c_1 + c_2 + c_3 = 2 \times 10^{-3} \text{ м}$$

**Расчет давления:**

Гидростатическое давление в аппарате:

Плотность воды при гидроиспытаниях (температура 20 градусов)[2]:

$$\rho_{\text{вод}} := 998 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

Высота свободного падения:

$$g := 9.8 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Высоту гидравлического столба принимаем равной высоте аппарата.

$$H_{\text{гид}} := H_{\text{ап}}$$

$$P_{\text{гид}} := g \cdot H_{\text{гид}} \cdot \rho_{\text{вод}} = 2.934 \times 10^4 \text{ Па}$$

Расчетное давление:

$$P_{\text{рас}} := (P + P_{\text{гид}}) = 6.193 \times 10^5 \text{ Па}$$

Давление при гидроиспытаниях[4]:

$$P_{\text{и}} := 1.25 \cdot P_{\text{рас}} \cdot \frac{\sigma_{\text{Д20}}}{\sigma_{\text{Д}}} = 7.834 \times 10^5 \text{ Па}$$

Условное давление (для выбора узлов и фланцевых соединений):

$$P_{\text{усл}} := P_{\text{рас}} \cdot \frac{\sigma_{\text{Д20}}}{\sigma_{\text{Д}}} = 6.267 \times 10^5 \text{ Па}$$

**Расчет толщины стенок корпуса**

**Согласно ГОСТ Р 52857.2-2007[4], определяем толщины стенок обечайки, днища (крышки), проводим проверку на прочность стенок корпуса аппарата.**

**Расчетная толщина стенки цилиндрической обечайки:**

$$s_{p1} := \max \left( \left( \begin{array}{l} P_{\text{рас}} \cdot \frac{D}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_{\text{Д}} - P_{\text{рас}}} \\ P_{\text{и}} \cdot \frac{D}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_{\text{Д}} - P_{\text{и}}} \end{array} \right) \right) = 6.079 \times 10^{-3} \text{ м}$$

Исполнительная толщина стеки обечайки:

$$s_{и1} := s_{p1} + c = 8.079 \times 10^{-3} \text{ м}$$

**Принимаем толщину стенки обечайки:**

$$s_1 := 0.009 \text{ м}$$

Рассчитаем максимальное давление которое может быть оказана, при эксплуатаций, или при гидроиспытаниях на корпус аппарата.

$$P_1 := \max(P_{\text{рас}}, P_{\text{и}}) = 7.834 \times 10^5 \text{ Па}$$

*Проверка условий применимости формул безмоментной теории:*

$$\text{Пров}_1 := \begin{cases} \text{"Условия применения формул выполняются"} & \text{if } \frac{s_1 - c}{D} \leq 0.1 \\ \text{"Условия применения формул НЕ выполняются"} & \text{if } \frac{s_1 - c}{D} > 0.1 \end{cases}$$

$\text{Пров}_1 = \text{"Условия применения формул выполняются"}$

Расчет допускаемого внутреннего избыточного давления:

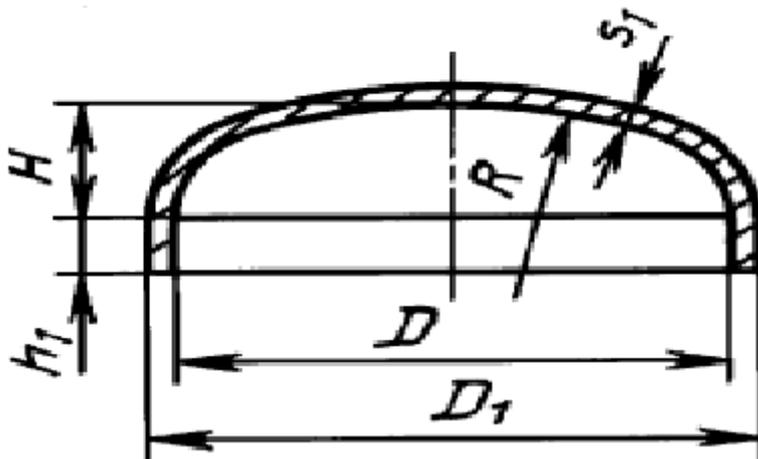
$$P_{д1} := \frac{2 \cdot \sigma_D \cdot \phi \cdot (s_1 - c)}{D + (s_1 - c)} = 9.018 \times 10^5 \text{ Па}$$

Проверка условия прочности стенок, цилиндрической обечайки от действия внутреннего давления:

$$\text{Пров}_2 := \begin{cases} \text{"Условие прочности выполняется"} & \text{if } P_{д1} \geq P_1 \\ \text{"Условие прочности НЕ выполняется"} & \text{if } P_{д1} < P_1 \end{cases}$$

$\text{Пров}_2 = \text{"Условие прочности выполняется"}$

### 2.3.1 Расчет толщины стенки днища аппарата



Рассчитываем согласно источнику [4].

Рисунок № 2.2. "Расчетная схема эллиптического днища".

Радиус кривизны в вершине днища (для эллиптических днищ):

$$R_1 := \frac{D^2}{4 \cdot H_d} = 2.744 \text{ м}$$

Расчет толщины стенки днища под действием внутреннего избыточного давления:

$$s_{p2} := \max \left( \left( \begin{array}{l} P_{рас} \cdot \frac{R_1}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_D - 0.5 \cdot P_{рас}} \\ P_{и} \cdot \frac{R_1}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_D - 0.5 \cdot P_{и}} \end{array} \right) \right) = 5.554 \times 10^{-3} \text{ м}$$

Исполнительная толщина стеки оболочки:

$$s_{и2} := s_{p2} + c = 7.554 \times 10^{-3} \text{ м}$$

Принимаем исполнительную толщину днища и крышки:

$$s_2 := 0.009 \text{ м}$$

Проверка условия применимости формул безмоментной теории:

$$\text{Пров}_3 := \begin{cases} \text{"Условия выполняются"} & \text{if } \begin{cases} 0.002 \leq \frac{s_2 - c}{D} \leq 0.1 \\ 0.2 \leq \frac{H_d}{D} \leq 0.5 \end{cases} \\ \text{"Условия НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Пров}_3 = \text{"Условия выполняются"}$$

Расчет допускаемого внутреннего избыточного давления:

$$P_{д2} := \frac{2 \cdot \sigma_d \cdot \phi \cdot (s_2 - c)}{R_1 + (s_2 - c)} = 9.858 \times 10^5 \text{ Па}$$

Проверка условия прочности стенок, эллиптического днища (крышки):

$$\text{Пров}_4 := \begin{cases} \text{"Условие прочности выполняется"} & \text{if } P_{д2} \geq P_1 \\ \text{"Условие прочности НЕ выполняется"} & \text{if } P_{д2} < P_1 \end{cases}$$

$$\text{Пров}_4 = \text{"Условие прочности выполняется"}$$

### 2.3.3 Подбор штуцеров

**Выбор штуцеров:** Подбираем стандартные штуцера согласно общим техническим требованиям АТК 24.218.06-90[5].

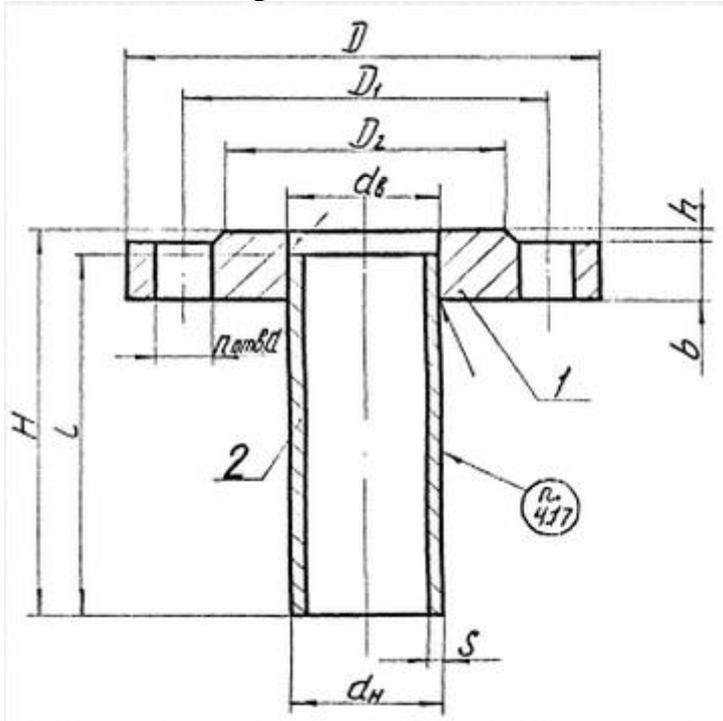


Рисунок №2.3 "Штуцер с гладкой уплатнительной поверхностью на условное давлени до 1.6 МПа. фланец по ГОСТ 12821-80[6]

Таблица 2.1 "Таблица штуцеров"

обозначение	Назначение	Кол.	Проход условный, D <sub>y</sub> , мм	Давление условное, P <sub>y</sub> , Па	Тип уплотнит. поверхности
А	Вход нефтегазовой смеси	1	400	0,6	Гладкая
Б	Вход нефти	1	400	0,6	
В	Выход газа	1	400	0,6	
Г	Выход нефти	1	400	0,6	
Д	Для предохранительного клапана	1	200	0,6	
Е	Для дренажа	1	150	0,6	
Ж	Для регулятора уровня	2	50	4,0	
И	Для сигнализаций уровня	2	50	4,0	
К	Для пропарки	1	50	0,6	
Л	Для указателя уровня	2	25	2,5	
М	Для манометра	1	25	6,3	
Н	Для термометра ртутного	1	50	2,5	
П	Для дифманометра	2	25	6,3	
Р	Люк - лаз	1	450	0,6	
С	Для очистки	1	300	0,6	
Т	Для термометра сопротивления	1	50	0.6	

Расчетный диаметр одиночного отверстия, не требующий дополнительного укрепления при наличии избыточной толщины стенки сосуда:

$$d_{01} := 2 \cdot \left( \frac{s_1 - c}{s_{p1}} - 0.8 \right) \cdot \sqrt{D \cdot (s_1 - c)} = 0.102$$

Для всех штуцеров, чей диаметр больше 102 мм, рассчитаем укрепление отверстий

### 2.3.4 Укрепление отверстий

Штуцер Люк - лаз

Тип штуцера - проходящий без укрепления.

материал несущего элемента - Сталь 09Г2С

Толщина стенки несущего элемента:

$$s_1 = 9 \times 10^{-3} \text{ м}$$

Внутренний диаметр штуцера:

$$D_{y1} := 0.45 \text{ м}$$

Толщина стенки штуцера:

$$s_{ш1} := 0.006 \text{ м}$$

Длинна штуцера:

$$l_1 := 0.200 \text{ м}$$

Смещение штуцера:

$$l_{ш1} := 1.6 \text{ м}$$

Угол поворота штуцера:

$$\theta_1 := 0$$

Длинна внутренней части штуцера:

$$l_3 := 0.075 \text{ м}$$

Допускаемые напряжения для материала штуцера 09Г2С, при температуре 30 градусов:

$$\sigma_{Д1} := \sigma_{Д} = \blacksquare \text{ Па}$$

Тип шва: стыковой или тавровый с двухсторонним сплошным проваром, автоматический контроль 100%. согласно ГОСТ Р 52857.1-2007[3]

Коэффициент прочности сварных швов:

$$\phi_1 := 0.9$$

Расчетный диаметр цилиндрической обечайки:

$$D_r := 3 \text{ м}$$

Расчетная толщина стенки штуцера:

$$s_{p1ш} := \max \left[ \begin{array}{l} \frac{P_{усл} \cdot (D_{y1} + 2 \cdot c)}{2 \cdot \sigma_{Д} \cdot \phi_1 - P_{усл}} \\ \frac{P_{и} \cdot (D_{y1} + 2 \cdot c)}{2 \cdot \sigma_{Д} \cdot \phi_1 - P_{и}} \end{array} \right] = 1.022 \times 10^{-3} \text{ м}$$

Исполнительная толщина стенки штуцера:

$$s_{и1ш} := s_{p1ш} + c = 3.022 \times 10^{-3} \text{ м}$$

Толщина стенки штуцера:

$$s_{шт1} := 0.005 \text{ м}$$

### **Расчет укрепления отверстия по ГОСТ Р 52857.3-2007 [7]**

Расчетный диаметр одиночного отверстия, не требующий дополнительного укрепления при наличии избыточной толщины стенки сосуда:

$$d_{01} := 2 \cdot \left( \frac{s_1 - c}{s_{p1}} - 0.8 \right) \cdot \sqrt{D_r \cdot (s_1 - c)} = 0.102 \text{ м}$$

Проверка дальнейшего расчета укреплений отверстий:

$$\text{Пров}_{шт1} := \begin{cases} \text{"необходимо укрепление отверстия"} & \text{if } d_{01} < D_{y1} \\ \text{"укрепление отверстия не требуется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Пров}_{шт1} = \text{"необходимо укрепление отверстия"}$$

Отношения допускаемых напряжений:

-для внешней части штуцера:

$$\chi_1 := \min \left( 1, \frac{\sigma_{Д1}}{\sigma_{Д}} \right) = 1$$

для накладного кольца:

$$\chi_2 := 0$$

для внутренней части штуцера:

$$\chi_3 := \min \left( 1, \frac{\sigma_{Д1}}{\sigma_{Д}} \right) = 1$$

Условный расчетный диаметр отверстия:

$$d_{y1} := D_{y1} + 2 \cdot s_1 \cdot (1 - \chi_1) = 0.45 \text{ м}$$

Расчетный диаметр отверстия (ось штуцера совпадает с нормалью к поверхности в центре отверстия):

$$d_{p1} := d_{y1} + 2 \cdot c = 0.454 \text{ м}$$

Расчетная длина внешней части штуцера:

$$l_{1p} := \min[l_1, 1.25 \cdot \sqrt{(D_{y1} + 2 \cdot c) \cdot (s_{ш1} - c)}] = 0.046 \text{ м}$$

Толщина внутренней части штуцера:

$$s_{ш3} := s_{ш1} = 5 \times 10^{-3} \text{ м}$$

Расчетная длина внутренней части штуцера:

$$l_{3p} := \min[l_3, 0.5 \cdot \sqrt{(D_{y1} + 2 \cdot c) \cdot (s_{ш3} - c - c)}] = 0.011 \text{ м}$$

Толщина накладного кольца:

$$s_{ш2} := 0.01 \text{ м}$$

Расчетная длина накладного кольца:

$$l_{2p} := \sqrt{D_r \cdot (s_{ш2} + s_1 - c)} = 0.226 \text{ м}$$

Ширина зоны укрепления в обечайке:

$$L_{01} := \sqrt{D_r \cdot (s_1 - c)} = 0.145 \text{ м}$$

Расчетная ширина зоны укрепления в обечайке:

$$l_p := L_{01} = 0.145 \text{ м}$$

Расчетный диаметр одиночного отверстия, не требующий дополнительного укрепления:

$$d_{0p} := 0.4 \cdot \sqrt{D_r \cdot (s_1 - c)} = 0.058 \text{ м}$$

$$X := l_{1p} \cdot (s_1 - s_{ш1} - c) + l_{2p} \cdot s_{ш2} + l_{3p} \cdot (s_1 - c - c) = 2.404 \times 10^{-3}$$

Условие укрепления отверстия:

$$Us1\_uk := \begin{cases} \text{"условие выполняется"} & \text{if } X \geq 0.5 \cdot (d_{p1} - d_{0p}) \cdot s_1 \\ \text{"условие НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$Us1\_uk = \text{"условие выполняется"}$$

Остальные штуцера рассчитываем и укрепляем аналогичным образом.

Сводим в таблицу параметров штуцеров

Таблица. 2.2 "Параметры штуцеров"

Обоз.	Проход условный, D <sub>y</sub> , мм	d <sub>H</sub>	D	D <sub>1</sub>	D <sub>4</sub>	D <sub>6</sub>	b	d	L	H	s
А	400	426	580	525	473	474	32	30	200	250	12
Б	400	426	580	525	473	474	32	30	200	250	12
В	400	426	580	525	473	474	32	30	200	250	12
Г	400	426	580	525	473	474	32	30	200	250	12
Д	200	219	335	295	259	260	21	22	140	200	8
Е	150	159	280	240	203	204	19	18	140	200	6
Ж	50	57	160	125	67	88	17	18	120	169	4
И	50	57	160	125	67	88	17	18	120	169	4
К	50	57	160	125	67	88	17	18	120	169	4
Л	25	32	115	85	57	58	14	14	120	160	3.5
М	25	32	115	85	57	58	14	14	120	160	3.5
Н	50	57	160	125	67	88	17	18	120	169	4
П	25	32	115	85	57	58	14	14	120	160	3.5
Р	450	470	640	570	523	524	36	30	200	250	12
С	300	325	460	410	363	364	24	26	180	240	10
Т	50	57	160	125	67	88	17	18	120	169	4

### 2.3.5 Расчет фланцевых соединений

Расчет фланцевого соединения:

Исходные данные:

Диаметр штуцера

$$D_{шт} := 0.45$$

Материал для болта: Сталь 35 Х

Материал для фланца: Сталь 09Г2С

допускаемое напряжение материала при расчетной температуре для болта:

$$\sigma_b := 230 \cdot 10^6 \text{ Па}$$

допускаемое напряжение материала при температуре 20 градусов для болта:

$$\sigma_{b20} := 230 \cdot 10^6 \text{ Па}$$

Выберем плоскую неметаллическую прокладку паронит с условным давлением до 2.5 МПа и температура в интервале от -200 до 400 С.

Материал прокладки: Паронит.

Таблица. 2.3 "Характеристики неметаллической прокладки"[8, с. 98]

Материал прокладки	Коэффициент K <sub>np</sub>	Давление обжатия прокладки, МПа		Модуль упругости E <sub>p</sub> , МПа
		Минимальное	Допустимое	
Паронит толщиной ? 1мм	2,5			2000

Толщина прокладки:

$$h_{п} := 0.002 \text{ м}$$

Диаметр болта (рекомендуемый)[8 с. 95]:

$$d_6 := 0.02 \text{ м}$$

Нормативный зазор между гайкой и обечайкой:

$$u := 0.006 \text{ м}$$

Ширина прокладки[8 с. 96]:

$$b_{\Pi} := 0.01 \text{ м}$$

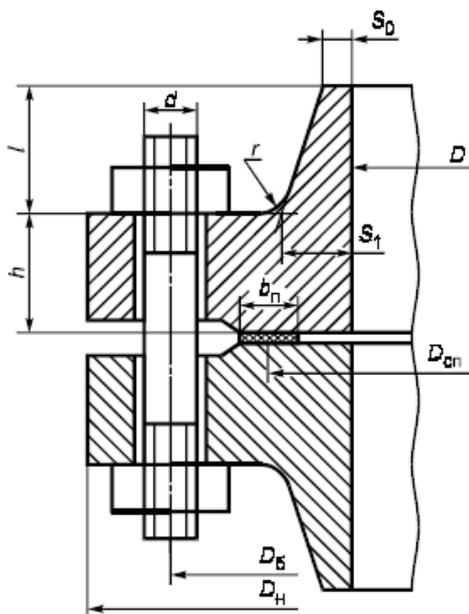


Рисунок 2.4. "Фланцевые соединения с приварными в стык фланцами, с гладкой уплотнительной поверхностью".

**Расчет фланцевого соединения: Расчет проводим согласно ГОСТ Р 52857.4-2007[9]:**

Условное давление:

Рассчитаем максимальное давление которое может быть оказана, при эксплуатации, или при гидроиспытаниях на штуцер или фланец аппарата.

$$P_3 := \max(P_{\text{усл}}, P_{\text{и}}) = 7.834 \times 10^5 \text{ Па}$$

Толщина цилиндрической части втулки принята:

$$s_0 := 0.008 \text{ м}$$

$$s_2 = 9 \times 10^{-3} \text{ м}$$

Прибавка на коррозию:

$$c_k := 0.002 \text{ м}$$

Эффективная ширина прокладки:

-для плоских прокладок:

при

$$b_{\Pi} \leq 15$$

$$b_0 := b_{\Pi} = 0.01 \text{ м}$$

Расчетный диаметр болтовой окружности фланцев:

$$D_6 := D_{\text{ш}} + 2 \cdot (2 \cdot s_2 + d_6 + u) = 0.538 \text{ м}$$

конструктивная добавка для размещение гаек по диаметру фланца.

$$a := 0.04 \text{ м}$$

Расчетный наружный диаметр фланцев:

$$D_H := D_6 + a = 0.578 \text{ м}$$

Наружный диаметр прокладки:

$$e := 0.03 \text{ м}$$

$$D_{HP} := D_6 - e = 0.508 \text{ м}$$

Средний диаметр прокладки:

$$D_{CP} := D_{HP} - b_0 = 0.498 \text{ м}$$

Удельное давление обжатия прокладки:

$$q_{обж} := 20 \cdot 10^6 \text{ Па}$$

Усилие для смятия прокладки при затяжке [8, с. 98]:

$$P_{обж} := 0.5 \cdot \pi \cdot D_{CP} \cdot b_0 \cdot q_{обж} = 1.565 \times 10^5 \text{ Па}$$

прокладочный коэффициент [8, с. 98]:

$$k_{пр} := 2.5$$

Усилие для обеспечения герметичности фланцевого соединения :

$$R_n := \pi \cdot D_{CP} \cdot b_0 \cdot k_{пр} \cdot P_3 = 3.064 \times 10^4 \text{ Н}$$

шаг расположение болтов:

$$t_{ш} := 3.8 \cdot d_6 = 0.076 \text{ м}$$

Количество болтов необходимых для обеспечения герметичности соединения:

$$n_6 := \pi \cdot \frac{D_6}{t_{ш}} = 22.239$$

примем количество болтов (принимая кратное четырем):

$$n_6 := 24 \text{ болтов}$$

Расчетная площадь поперечного сечения болтов [8, с. 98]:

$$f_6 := 2.35 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$$

Суммарная площадь сечения болтов по внутреннему диаметру резьбы диаметра:

$$A_6 := n_6 \cdot f_6 = 5.64 \times 10^{-3} \text{ м}^2$$

Равнодействующая нагрузка от давления:

$$Q_d := 0.785 \cdot P_3 \cdot D_{CP}^2 = 1.525 \times 10^5 \text{ Н}$$

Плечи действий усилия в болтах:

-Для приваренных встык фланцев:

$$b := 0.5 \cdot (D_6 - D_{CP}) = 0.02 \text{ м}$$

Коэффициент  $\beta_1$  определяем согласно [8, с. 95]:

$$\frac{D_{ш}}{s_0} = 56.25$$

$$\beta_1 := 2.1$$

Толщина конической части втулки:

$$s_{1B} := \beta_1 \cdot s_0 = 0.017 \text{ м}$$

Уклон втулки (принимаем):

$$i := \frac{1}{3}$$

Высота втулки:

$$h_B := 0.5 \cdot \sqrt{D_{\text{ш}} \cdot (s_0 - c_K)} = 0.026$$

Эквивалентная толщина втулки фланца:

$$s_{\text{ЭК}} := s_0 \cdot \left[ 1 + \frac{h_B \cdot (\beta_1 - 1)}{h_B + 0.25 \cdot (\beta_1 + 1) \cdot \sqrt{D_{\text{ш}} \cdot s_0}} \right] = 0.011$$

Высота фланца:

для фланцев приваренных встык при условном давлении.

$$\lambda_{\text{ф}} := 0.32$$

$$\lambda_{\text{ф}} \cdot \sqrt{D_{\text{ш}} \cdot s_{\text{ЭК}}} = 0.023 \text{ м}$$

$$h_{\text{ф}} := 0.023 \text{ м}$$

(Взяли высоту фланца).

$$\text{Усл}_1 := \begin{cases} \text{"Условия выполняются"} & \text{if } h_{\text{ф}} \geq \lambda_{\text{ф}} \cdot \sqrt{D_{\text{ш}} \cdot s_{\text{ЭК}}} \\ \text{"Условия не выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Усл}_1 = \text{"Условия выполняются"}$$

Плецо усилий от давления на фланец :

$$e := 0.5 \cdot (D_{\text{сп}} - D_{\text{ш}} - s_{\text{ЭК}}) = 0.018 \text{ м}$$

По приложению И ГОСТа 52857.4-2007 для паронитовой прокладки:

коэффициент обжатия прокладки:

$$K_{\text{обж}} := 0.9$$

модуль продольной упругости:

$$E_{\text{п}} := 0.02 \cdot 10^{11} \text{ Па}$$

толщина прокладки:

$$h_{\text{п}} := 0.002 \text{ м}$$

Податливость прокладки:

$$y_{\text{п}} := \frac{h_{\text{п}} \cdot K_{\text{обж}}}{E_{\text{п}} \cdot \pi \cdot D_{\text{сп}} \cdot b_{\text{п}}} = 5.753 \times 10^{-11}$$

Расстояние между опорными поверхностями гаек:

$$l_{\text{го}} := 2 \cdot (h_{\text{ф}} + h_{\text{п}}) = 0.05 \text{ м}$$

Эффективная длина болта:

$$l_{\text{б}} := l_{\text{го}} + 0.28 \cdot d_{\text{б}} = 0.056 \text{ м}$$

Модуль упругости при температуре 20 градусов:

-Для болта из стали 20ХН3А:

$$E_{\text{б20}} := 1.9 \cdot 10^{11} \text{ Па}$$

$$y_{\phi} := \frac{l_{\phi}}{E_{\phi 20} \cdot f_{\phi} \cdot n_{\phi}} = 5.189 \times 10^{-11}$$

Параметр длинны обечайки:

$$l_0 := \sqrt{D_{\text{ш}} \cdot s_0} = 0.06 \text{ м}$$

Отношение наружного диаметра тарелки фланца к внутреннему диаметру:

$$K := \frac{D_{\text{вн}}}{D_{\text{ш}}} = 1.129$$

$$\beta_T := \frac{K^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot 0.43429 \cdot \ln(K)) - 1}{(1.05 + 1.945 \cdot K^2) \cdot (K - 1)} = 1.865$$

$$\beta_U := \frac{K^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot 0.43429 \cdot \ln(K)) - 1}{1.36 \cdot (K^2 - 1) \cdot (K - 1)} = 17.632$$

$$\beta_Y := \frac{1}{K - 1} \cdot \left[ 0.69 + 5.72 \cdot \frac{K^2 \cdot (0.43429 \cdot \ln(K))}{K^2 - 1} \right] = 16.206$$

$$\beta_Z := \frac{(K^2 + 1)}{(K^2 - 1)} = 8.289$$

$$\frac{s_{1B}}{s_0} = 2.1$$

$$\frac{h_B}{l_0} = 0.433$$

по рисунку K1 и K2 согласно ГОСТ Р 52857.4-2007 определяем:

$$\beta_F := 0.85$$

$$\beta_V := 0.25$$

Вычислим коэффициент :

$$\lambda := \frac{\beta_F \cdot h_{\phi} + l_0}{\beta_T \cdot l_0} + \frac{\beta_V \cdot h_{\phi}^3}{\beta_U \cdot l_0 \cdot s_0^2} = 0.756$$

Модуль упругости материала фланца при температуре 20 градусов:

$$E_{20} := 2 \cdot 10^{11} \text{ Па}$$

Модуль упругости материала фланца при рабочей температуре:

$$E := 2 \cdot 10^{11} \text{ Па}$$

Модуль упругости материала болта при температуре 20 градусов:

$$E_{\phi} := 1.9 \cdot 10^{11} \text{ Па}$$

Угловая податливость фланца при затяжке:

$$y_{\phi} := \frac{0.91 \cdot \beta_v}{\lambda \cdot s_0^2 \cdot l_0 \cdot E_{20}} = 3.919 \times 10^{-7}$$

Жесткость фланцевого соединения:

$$\gamma := \frac{1}{y_{\Pi} + y_{\delta} \cdot \frac{E_{\delta 20}}{E_{\delta}} + 2 \cdot b^2 y_{\phi} \cdot \frac{E_{20}}{E}} = 2.365 \times 10^9$$

### Усилия возникающие от температурных деформаций

Температурный коэффициент линейного расширения материала фланцев (09Г2С)

$$\alpha_{\phi 1} := 11.6 \cdot 10^{-6}$$

$$\alpha_{\phi 2} := 11.6 \cdot 10^{-6}$$

$$\alpha_{\phi} := 11.6 \cdot 10^{-6}$$

болтов Сталь 35Х

$$\alpha_2 := 13.4 \cdot 10^{-6}$$

Расчетная температура неизолированных фланцев:

$$t_{\phi 1} := 0.96 \cdot t_p = 28.8 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_{\phi 2} := 0.96 \cdot t_p = 28.8 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Расчетная температура болтов:

$$t_{\delta} := 0.95 \cdot t_p = 28.5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Усилия возникающие от температурных деформаций:

$$Q_t := \gamma \cdot [\alpha_{\phi 1} \cdot h_{\phi} \cdot (t_{\phi 1} - 20) + \alpha_{\phi 2} \cdot h_{\phi} \cdot (t_{\phi 2} - 20) - \alpha_2 \cdot (h_{\phi} - h_{\delta}) \cdot (t_{\delta} - 20)]$$

$$Q_t = 1.11 \times 10^4 \text{ Н}$$

Коэффициент жесткости фланцевого соединения нагруженного внутренним давлением:

$$\alpha := 1 - \frac{y_{\Pi} - 2 \cdot y_{\phi} \cdot e \cdot b}{y_{\Pi} + y_{\delta} + 2 \cdot e \cdot y_{\phi} \cdot b} = 1.581$$

Угловая податливость фланца:

$$y_{\phi H} := \left(\frac{\pi}{4}\right)^3 \cdot \frac{D_{\delta}}{E_{20} \cdot D_H \cdot h_{\phi}^3} = 1.853 \times 10^{-7}$$

$$\alpha_M := y_{\delta} + 2 \cdot y_{\phi H} \cdot b \cdot \left(b + e - \frac{e^2}{D_{\text{сн}}}\right) = 3.316 \times 10^{-10}$$

Коэффициент жесткости фланцевого соединения:

$$k_{ж} := \frac{y_{\phi} + 0.5 \cdot y_{\phi} \cdot (D_{\phi} - D_{ш} - s_{эк}) \cdot (D_{\phi} - D_{сп})}{y_{п} + y_{\phi} + 0.5 \cdot y_{\phi} \cdot (D_{\phi} - D_{сп})^2} = 1.547$$

Нагрузка действующая на фланец:

$$F := P_3 \cdot \pi \cdot \frac{D_{сп}^2}{4} = 1.526 \times 10^5 \text{ Н}$$

Болтовая нагрузка в условиях монтажа:

$$P_{пр} := 20 \cdot 10^6 \text{ Па}$$

Давления для прокладки

$$F_{\phi 1} := \max(k_{ж} \cdot F + R_n, 0.5 \cdot \pi \cdot D_{сп} \cdot b_0 \cdot P_{пр}) = 2.667 \times 10^5 \text{ Н}$$

Болтовая нагрузка в рабочих условиях:

$$F_{\phi 2} := F_{\phi 1} + (1 - k_{ж}) \cdot F + Q_t = 1.943 \times 10^5 \text{ Н}$$

Допускаемое напряжения материала фланца.

$$\sigma_{дф20} := 196 \cdot 10^6 \text{ Па}$$

$$\sigma_{дф} := 194.5 \cdot 10^6 \text{ Па}$$

внешняя осевая сила:

$$P_{\phi 1} := \max[\alpha \cdot (Q_d + F) + (R_n), \alpha \cdot (Q_d + F) + R_n - Q_t] = 5.129 \times 10^5 \text{ Н}$$

Найдем приведенную нагрузку, вызванную воздействием изгибающего момента и внешней силы:

$$Q_{FM} := F = 1.526 \times 10^5 \text{ Н}$$

Номинальное допускаемое напряжение для болтов:

$$\sigma_{днб} := 230 \cdot 10^6 \text{ Па}$$

Нагрузка на болты при затяжке, необходимая для обеспечения обжатия прокладки и минимального начального натяжения болтов:

$$P_{\phi 2} := \max(P_{обж}, 0.4 \cdot \sigma_{днб} \cdot A_{\phi}) = 5.189 \times 10^5 \text{ Н}$$

Расчетная нагрузка на шпильки фланцевого соединения:

-при затяжке:

$$P_{мб} := \max(P_{\phi 1}, P_{\phi 2}) = 5.189 \times 10^5 \text{ Па}$$

При рабочих условиях:

$$P_{рб} := P_{мб} + (1 - \alpha) \cdot (Q_d + F) + Q_t = 3.528 \times 10^5 \text{ Па}$$

Расчетные напряжения в болтах при затяжке:

$$\sigma_{\phi 1} := \frac{P_{мб}}{A_{\phi}} = 9.2 \times 10^7 \text{ Па}$$

В рабочих условиях

$$\sigma_{\text{б2}} := \frac{P_{\text{рб}}}{A_{\text{б}}} = 6.255 \times 10^7 \text{ Па}$$

Допустимое напряжение болтов:

$$\sigma_{\text{бд}} := \sigma_{\text{днб}} \cdot 1.2 = 2.76 \times 10^8 \text{ Па}$$

Условие прочности болтов при затяжке:

$$\text{Услов}_1 := \begin{cases} \text{"Условия прочности выполняются"} & \text{if } \sigma_{\text{б1}} \leq \sigma_{\text{бд}} \\ \text{"Условия прочности не выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Услов}_1 = \text{"Условия прочности выполняются"}$$

Условие прочности болтов в рабочих условиях:

$$\text{Услов}_2 := \begin{cases} \text{"Условия прочности выполняются"} & \text{if } \sigma_{\text{б2}} \leq \sigma_{\text{бд}} \\ \text{"Условия прочности не выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Услов}_2 = \text{"Условия прочности выполняются"}$$

Паронит мягкая прокладка, поэтому в соответствии с ГОСТ Р 52857.4-2007[8] проверяется условие прочности прокладки:

Расчетное удельное давление:

$$q := \frac{\max(P_{\text{мб}}, P_{\text{рб}})}{\pi \cdot D_{\text{сп}} \cdot b_{\text{п}}} = 3.317 \times 10^7 \text{ Па}$$

Допускаемое удельное давление определяется по приложению И:

$$q_{\text{д}} := 130 \cdot 10^6 \text{ Па}$$

$$\text{Услов}_3 := \begin{cases} \text{"Условия прочности выполняются"} & \text{if } q \leq q_{\text{д}} \\ \text{"Условия прочности не выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Услов}_3 = \text{"Условия прочности выполняются"}$$

### Расчет фланца на статическую прочность:

Коэффициент учитывающий изгиб тарелки фланца между болтами:

$$C_{\text{ф}} := \max \left( 1, \sqrt{\frac{\frac{\pi \cdot D_{\text{б}}}{n_{\text{б}}}}{2 \cdot d_{\text{б}} + \frac{h_{\text{ф}} \cdot 6}{k_{\text{пр}} + 0.5}}} \right) = 1$$

Расчетный изгибающий момент действующий на фланец при затяжке:

$$M_{\text{м}} := C_{\text{ф}} \cdot P_{\text{мб}} \cdot b = 1.038 \times 10^4 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Расчетный изгибающий момент, действующий на фланец в рабочих условиях:

$$M_{\text{р}} := C_{\text{ф}} \cdot \max \left[ \left[ P_{\text{рб}} \cdot b + (Q_{\text{д}} + Q_{\text{ФМ}}) \cdot e \right], e \cdot |Q_{\text{д}} + Q_{\text{ФМ}}| \right] = 1.268 \times 10^4 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Расчетные напряжения во фланце при затяжке:

коэффициент увеличения изгибных напряжений для плоского фланца ( по приложению ГОСТ Р 52857.2-2007 Рисунок К.4)

$$\frac{h_B}{l_0} = 0.433$$

$$f := 1.5$$

Прибавка на коррозию:

$$c_k := 0.002 \text{ м}$$

Приведенный диаметр приварного встык фланца с конической втулкой:

$$D_{пр} := \begin{cases} D_{ш} & \text{if } D_{ш} \geq 20 \cdot s_{1B} \\ (D_{ш} + s_0) & \text{if } \begin{cases} f > 1 \\ D_{ш} \leq 20 \cdot s_{1B} \end{cases} \\ (D_{ш} + s_{1B}) & \text{if } \begin{cases} D_{ш} \leq 20 \cdot s_{1B} \\ f = 1 \end{cases} \end{cases} = 0.45 \text{ м}$$

$$\sigma_{1M} := \frac{M_M}{\lambda \cdot (s_{1B} - c_k)^2 \cdot D_{пр}} = 1.393 \times 10^8 \text{ Па}$$

$$\sigma_{0M} := \sigma_{1M}$$

Напряжение в тарелке приварного встык фланца в условиях затяжки:

-радиальное напряжение:

$$\sigma_{RM} := \frac{M_M \cdot (1.33 \cdot \beta_F \cdot h_\phi + l_0)}{\lambda \cdot h_\phi^2 \cdot l_0 \cdot D_{ш}} = 8.266 \times 10^7 \text{ Па}$$

-окружное напряжение

$$\sigma_{TM} := \frac{\beta_Y \cdot M_M}{h_\phi^2 \cdot D_{ш}} - \beta_Z \cdot \sigma_{RM} = 2.132 \times 10^7 \text{ Па}$$

Расчетные напряжения во фланце в рабочих условиях:

Меридиональное изгибающее напряжение для плоского фланца:

$$\sigma_{1P} := \frac{M_P}{\lambda \cdot (s_{1B} - c_k)^2 \cdot D_{пр}} = 1.701 \times 10^8 \text{ Па}$$

$$\sigma_{0P} := \sigma_{1P}$$

Окружное мембранное напряжения от действия давления во втулке приварного встык фланца:

$$\sigma_{POMO} := \frac{Q_d + F}{2 \cdot (s_{1B} - c_k) \cdot (D_{ш} - c_k)} = 2.301 \times 10^7 \text{ Па}$$

Напряжения в тарелке приварного встык фланца:

-радиальное напряжение:

$$\sigma_{PR} := \frac{M_P \cdot (1.33 \cdot \beta_F \cdot h_\phi + l_0)}{\lambda \cdot h_\phi^2 \cdot l_0 \cdot D_{ш}} = 1.01 \times 10^8 \text{ Па}$$

-окружное напряжение:

$$\sigma_{PT} := \frac{\beta_Y \cdot M_P}{h_\phi^2 \cdot D_{ш}} - \beta_Z \cdot \sigma_{PR} = 2.604 \times 10^7 \text{ Па}$$

### Условия статической прочности фланцев:

-при затяжке:

$$B := \max(|\sigma_{OM} + \sigma_{RM}|, |\sigma_{OM} + \sigma_{TM}|) = 2.219 \times 10^8 \text{ Па}$$

с учетом стесненности температурных деформаций

$$K_T := 1.3$$

$$\sigma_{НОМ} := 194.1 \cdot 10^6$$

$$\sigma_{НОМ} \cdot K_T = 2.523 \times 10^8$$

$$У4 := \begin{cases} \text{"Условия прочности выполняются."} & \text{if } B \leq \sigma_{НОМ} \cdot K_T \\ \text{"Условия прочности не выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

У4 = "Условия прочности выполняются."

-в рабочих условиях:

$$B := \max(|\sigma_{OP} - \sigma_{POMO} + \sigma_{PR}|, |\sigma_{OP} - \sigma_{POMO} + \sigma_{PR}|, |\sigma_{OP} + \sigma_{POMO}|) = 2.481 \times 10^8 \text{ Па}$$

$$\text{Услов}_5 := \begin{cases} \text{"Условия прочности выполняются"} & \text{if } B \leq \sigma_{НОМ} \cdot K_T \\ \text{"Условия прочности не выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Услов<sub>5</sub> = "Условия прочности выполняются"

Условие статической прочности выполняется

### Проверка углов поворота фланцев

Угол поворота приварного встык фланца в рабочих условиях:

$$\Theta := M_P \cdot u_\phi \cdot \frac{E_{20}}{E} = 4.967 \times 10^{-3}$$

в рабочих условиях

$$K_\Theta := 1.3$$

$$\Theta_{доп} := 0.006$$

$$N := K_\Theta \cdot \Theta_{доп} = 7.8 \times 10^{-3}$$

$$\text{Услов}_6 := \begin{cases} \text{"Условия выполняются"} & \text{if } \Theta \leq N \\ \text{"Условия не выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Услов<sub>6</sub> = "Условия выполняются"

### Подбор стандартных фланцев: согласно ГОСТ 12821-80[6]

Внутренний диаметр штуцера:

$$D_{ш} = 0.45 \text{ м}$$

Наружный диаметр фланца:

$$D_{\text{н}} := 580 \text{ м}$$

Наружный диаметр прокладки:

$$D_{\text{нп}} := 508 \text{ м}$$

Диаметр болтовой окружности фланцев:

$$D_{\text{б}} := 538 \text{ м}$$

(высота фланца).

$$h_{\text{ф}} = 0.023 \text{ м}$$

Диаметр болта:

$$d_{\text{б}} = 0.02 \text{ м}$$

### Фланец 1-450-09Г2С-230 ст 09Г2С ГОСТ 12821-80

#### 2.3.6 Расчет опор аппарата:

Опоры горизонтальных аппаратов типа ОГ с внутренним диаметром от 800 до 4000 мм (по МН ,5132—63) [3, стр. 681].

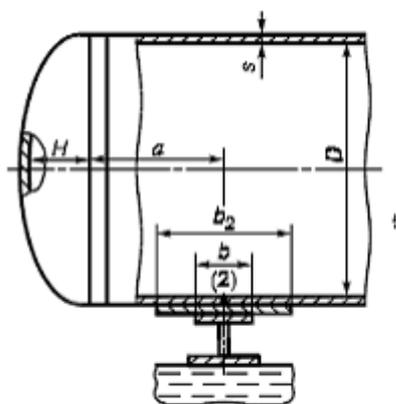


Рисунок №2.5. "Цилиндрическая обечайка, не подкрепленная элементами жесткости".

Опора имеет одно ребро.

Внутренний диаметр обечайки:

$$D = 3 \text{ м}$$

Толщина стенки обечайки:

$$s_1 = 9 \times 10^{-3} \text{ м}$$

Прибавки к расчетным толщинам конструктивных элементов:

$$c = 2 \times 10^{-3} \text{ м}$$

Ширина опоры:

$$b := 0.8 \text{ м}$$

Ширина подкладного листа:

$$b_2 := 0.8 \text{ м}$$

Угол охвата опоры:

$$\delta_1 := 120^\circ$$

Угол охвата листа:

$$\delta_2 := 140^\circ$$

Расстояние до днища:

$$a := 2.5 \text{ м}$$

Высота опоры:

$$H := 0.58 \text{ м}$$

Толщина подкладного листа:

$$s_{\text{л}} := 0.016 \text{ м}$$

Толщина опоры:

$$s_{\text{оп}} := 0.016 \text{ м}$$

Плотность водонефтяной жидкости[2]:

$$\rho_{\text{ж}} := 900 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

Коэффициент заполнения аппарата[1]:

$$\chi := 0.7$$

Объем аппарата, занятый жидкостью:

$$V_{\text{ж}} := \chi \cdot V_{\text{ап}} = 70 \text{ м}^3$$

Рабочая температура среды аппарата:

$$t_{\text{р}} = 30 \text{ }^{\circ}$$

Рабочее давление в сепараторе:

$$P = 5.9 \times 10^5 \text{ Па}$$

Коэффициенты запаса прочности:

$$n_{\text{р}} := 2.4$$

- для рабочих условий

$$n_{\text{и}} := 1.8$$

- для условий испытаний

**Определим допускаемые осевые сжимающие усилия согласно**

**ГОСТ Р 52857.2-2007[2]**

**Для рабочих условий.**

Определим допускаемое осевое сжимающее усилие из условия прочности:

$$F_{\text{д.пл}} := \pi \cdot (D + s_1 - c)(s_1 - c) \cdot \sigma_{\text{д}} = 1.281 \times 10^7 \text{ Н}$$

Допускаемое осевое сжимающее усилие из условия местной устойчивости в пределах упругости:

$$F_{\text{д.Е11}} := \frac{31 \cdot 10^{-5} \cdot E}{n_{\text{р}}} \cdot D^2 \cdot \left[ \frac{100 \cdot (s_1 - c)}{D} \right]^{2.5} = 6.115 \times 10^6 \text{ Н}$$

Приведенная расчетная длинна:

$$l_{\text{пр}} := L_{\text{Г}} = 13.13 \text{ м}$$

Гибкость  $\lambda$ :

$$\lambda := \frac{2.83 \cdot l_{\text{пр}}}{D + s_1 - c} = 12.357$$

Допускаемое осевое сжимающее усилие из условия общей устойчивости в пределах упругости:

$$F_{дЕ21} := \frac{\pi \cdot (D + s_1 - c) \cdot (s_1 - c) \cdot E}{n_p} \cdot \left(\frac{\pi}{\lambda}\right)^{2.5} = 1.796 \times 10^8 \text{ Н}$$

Допускаемое осевое сжимающее усилие в пределах упругости из условия устойчивости:

$$F_{дЕ1} := \begin{cases} \min(F_{дЕ11}, F_{дЕ21}) & \text{if } \frac{L_T}{D} \geq 10 \\ F_{дЕ11} & \text{if } \frac{L_T}{D} < 10 \end{cases}$$

$$F_{дЕ1} = 6.115 \times 10^6 \text{ Н}$$

Допускаемое осевое сжимающее усилие для рабочих условий:

$$F_{д.р1} := \frac{F_{д.п1}}{\sqrt{1 + \left(\frac{F_{д.п1}}{F_{дЕ1}}\right)^2}} = 5.518 \times 10^6 \text{ Н}$$

Определим допускаемый изгибающий момент.

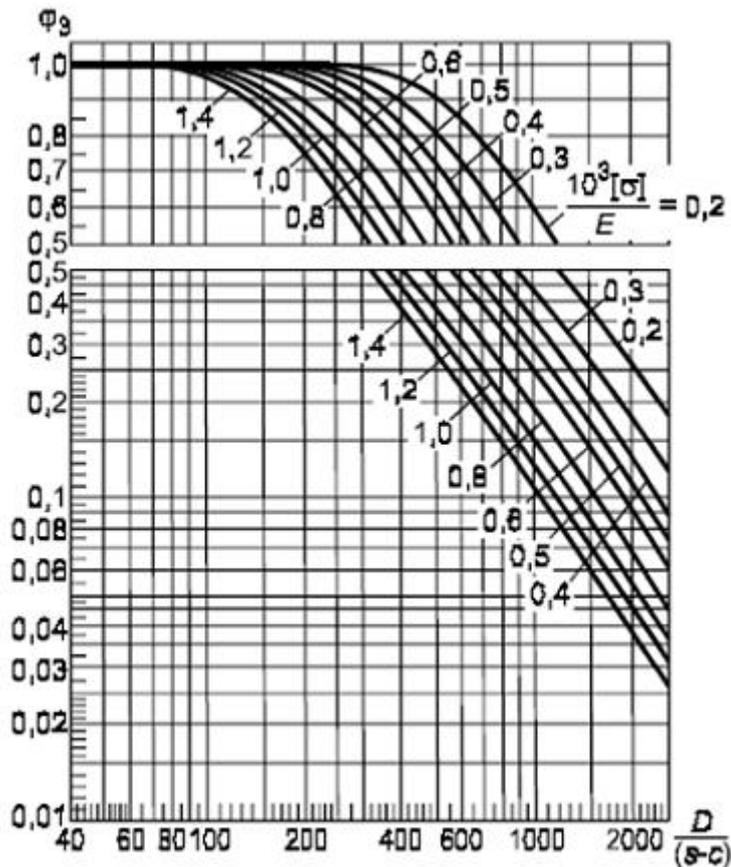


Рисунок №2.6. "График для определения коэффициента  $\phi_3$ ".

$$\frac{D}{(s_1 - c)} = 428.571$$

$$\frac{10^3 \cdot \sigma_D}{E} = 0.969$$

- коэффициент снижения допускаемых напряжений

$$\phi_3 := 0.5$$

$$M_{д1} := \frac{\pi}{4} \cdot D \cdot (D + s_1 - c) \cdot (s_1 - c) \cdot \sigma_D \cdot \phi_3 = 4.803 \times 10^6 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Определим допускаемое осевое сжимающее усилие из условия прочности:

$$Q_{д.п1} := 0.25\pi \cdot D(s_1 - c) \cdot \sigma_D = 3.195 \times 10^6 \text{ Н}$$

Определим допускаемое осевое сжимающее усилие в пределах упругости из условия местной устойчивости:

$$Q_{д.Е1} := \frac{2.4 \cdot E \cdot (s_1 - c)^2}{n_p} \cdot \left[ 0.18 + 3.3 \frac{D \cdot (s_1 - c)}{L_T^2} \right] = 1.768 \times 10^6 \text{ Н}$$

Допускаемое осевое сжимающее усилие для рабочих условий:

$$Q_{д1} := \frac{Q_{д.п1}}{\sqrt{1 + \left( \frac{Q_{д.п1}}{Q_{д.Е1}} \right)^2}} = 1.547 \times 10^6 \text{ Н}$$

**Масса незаполненного аппарата:**

Масса обечайки №1:

$$m_{об1} := \left[ \pi \cdot \frac{(D + 2 \cdot s_1)^2}{4} \right] - \left( \pi \cdot \frac{D^2}{4} \right) \cdot L_T \cdot \rho_{мет} = 8.769 \times 10^3 \text{ кг}$$

Масса днища [1, 447]:

$$m_{дн1} := 1315 \text{ кг}$$

Масса крышки [1, 447]:

$$m_{кр1} := 1315 \text{ кг}$$

Масса незаполненного аппарата:

$$m_{ап} := m_{об1} + m_{кр1} + m_{дн1} = 1.14 \times 10^4 \text{ кг}$$

**Масса заполненного жидкостью аппарата:**

*В рабочих условиях:*

Масса аппарата заполненного жидкостью:

$$m_{ж1} := V_{ж} \cdot \rho_{ж} = 6.3 \times 10^4 \text{ кг}$$

Общая масса заполненного жидкостью аппарата:

$$m_{ап1} := m_{ап} + m_{ж1} = 7.44 \times 10^4 \text{ кг}$$

*В условиях гидроиспытания:*

Плотность воды при температуре гидроиспытаний, 20 градусов:

$$\rho_{\text{вод}} := 998 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

Масса аппарата заполненного жидкостью:

$$m_{\text{ж2}} := V_{\text{ап}} \cdot \rho_{\text{вод}} = 9.98 \times 10^4 \text{ кг}$$

Общая масса заполненного жидкостью аппарата:

$$m_{\text{ап2}} := m_{\text{ап}} + m_{\text{ж2}} = 1.112 \times 10^5 \text{ кг}$$

**Вес аппарата в рабочих условиях:**

$$G_{\text{ап1}} := m_{\text{ап1}} \cdot g = 7.291 \times 10^5 \text{ Н}$$

**Вес аппарата в условиях гидроиспытаний:**

$$G_{\text{ап2}} := m_{\text{ап2}} \cdot g = 1.09 \times 10^6 \text{ Н}$$

**Определения расчетных усилий:**

Проверка устойчивости аппарата осуществляется согласно **ГОСТ Р 52857.5-2007[10]**, путем сравнения моментов и усилий от опор с допускаемыми.

Поэтому для дальнейшего расчета необходимо определить значения допускаемых усилий и моментов.

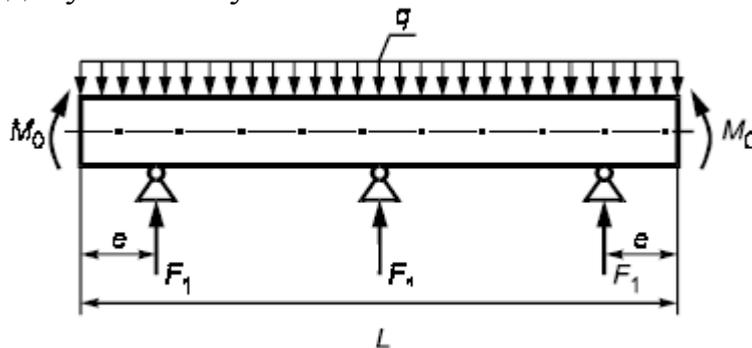


Рисунок №2.7. "Расчетная схема определения усилий".

Расчетные формулы применимые при выполнении условий:

$$\text{Услов}_1 := \begin{cases} \text{"формулы применимы"} & \text{if } \begin{cases} 60 \leq \delta_1 \leq 180 \\ \delta_2 \geq \delta_1 + 20 \\ \frac{s_1 - c}{D} \leq 0.5 \end{cases} \\ \text{"формулы НЕ применимы"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Услов<sub>1</sub> = "формулы применимы"

Высота выпуклой части днища:

$$H_{\text{дг}} := 0.75 \text{ м}$$

Распределенная нагрузка сосуда

$$q_1 := \frac{G_{\text{ап1}}}{L_{\text{г}} \cdot \frac{4}{3} \cdot H_{\text{дг}}} = 5.553 \times 10^4 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$$

$$M_{01} := q_1 \cdot \frac{D^2}{16} = 3.124 \times 10^4 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Опорное усилие в рабочих условиях:

$$F_{11} := \frac{G_{\text{анл}}}{2} = 3.646 \times 10^5 \text{ Н}$$

Момент над опорой:

$$e := a = 2.5 \text{ м}$$

$$M_{11} := \frac{q_1 \cdot e^2}{2} - M_{01} = 1.423 \times 10^5 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Максимальный момент между опорами 1 и 2:

$$M_{12p} := M_{01} + F_{11} \cdot \left( \frac{L_{\Gamma}}{2} - a \right) - \frac{q_1}{2} \left( \frac{L_{\Gamma}}{2} + \frac{2}{3} \cdot H_{\text{дг}} \right)^2 = 1.273 \times 10^5 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

*Несущую способность обечайки в сечении между опорами следует проверять при условии:*

$$\text{Услов}_2 := \begin{cases} \text{"Проверять"} & \text{if } M_{12p} > M_{11} \\ \text{"НЕ Проверять"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Услов}_2 = \text{"НЕ Проверять"}$$

*Поперечное усилие в сечении оболочки над опорой:*

$$Q_{1p} := \frac{L_{\Gamma} - 2 \cdot a}{L_{\Gamma} + \frac{4}{3} \cdot H_{\text{дг}}} \cdot F_{11} = 2.098 \times 10^5 \text{ Н}$$

Проверка несущей способности обечайки в сечении между опорами.

Определим коэффициент  $K_9$ :

$$y := \frac{D}{(s_1 - c)} = 428.571$$

$$x := \frac{L_{\Gamma}}{D} = 4.377$$

$$K_{9,1} := 1.6 - 0.20924 \cdot (x - 1) + 0.028702 \cdot x \cdot (x - 1) + 0.4795 \cdot 10^{-3} \cdot y \cdot (x - 1)$$

$$K_{9,2} := -0.29936 \cdot 10^{-2} \cdot (x - 1) \cdot x^2 - 0.85692 \cdot 10^{-6} \cdot (x - 1) \cdot y^2$$

$$K_{9,3} := -0.75955 \cdot 10^{-8} \cdot y^2 \cdot (x - 1) \cdot x + 0.82748 \cdot 10^{-4} \cdot (x - 1) \cdot x^3$$

$$K_{9,4} := 0.88174 \cdot 10^{-6} \cdot x^2 \cdot (x - 1) \cdot y - 0.2391 \cdot 10^{-6} \cdot x \cdot y \cdot (x - 1) + 0.48168 \cdot 10^{-9} \cdot (x - 1) \cdot y^3$$

$$K_9 := \max(K_{9,1} + K_{9,2} + K_{9,3} + K_{9,4}, 1) = 1.44$$

*Проверим условие прочности в рабочих условиях:*

$$\frac{P \cdot D}{4(s_1 - c)} + \frac{4 \cdot M_{12p} \cdot K_9}{\pi \cdot D^2(s_1 - c)} = 6.692 \times 10^7$$

$$\text{Услов}_3 := \begin{cases} \text{"Условия прочности выполняются"} & \text{if } \sigma_D \geq \frac{P \cdot D}{4(s_1 - c)} + \frac{4 \cdot M_{12p} \cdot K_9}{\pi \cdot D^2(s_1 - c)} \\ \text{"Условия прочности не выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Услов<sub>3</sub> = "Условия прочности выполняются"

Условие устойчивости в рабочих условиях:

$$\frac{M_{12p}}{M_{д1}} = 0.026$$

$$\text{Услов}_4 := \begin{cases} \text{"Условие устойчивости выполняется"} & \text{if } 1 > \frac{M_{12p}}{M_{д1}} \\ \text{"Условие устойчивости не выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Услов<sub>4</sub> = "Условие устойчивости выполняется"

**Проверка несущей способности оболочки, неукрепленной кольцами жесткости в области опорного узла:**

**Расчет №1**

Подкладной лист рассматривают как седловую опору шириной  $b_2$  с углом охвата  $\delta_2$ :

$$\delta_2 := 2.44361 \text{ радиан}$$

Параметр, определяемый расстоянием до днища:

$$\gamma := 2.83 \cdot \frac{a}{D} \cdot \sqrt{\frac{(s_1 - c)}{D}} = 0.114$$

Параметр, определяемый шириной пояса опоры, вычисляют по формуле:

$$\beta_{\text{оп}} := 0.91 \cdot \frac{b_2}{\sqrt{D \cdot (s_1 - c)}} = 5.024$$

Общее меридиональное мембранное напряжение изгиба:

$$\sigma_{\text{мх}} := \frac{4 \cdot M_{11}}{\pi \cdot D^2 \cdot (s_1 - c)} = 2.876 \times 10^6 \text{ Па}$$

Коэффициент, учитывающий влияние угла охвата опоры:

$$K_{13} := \frac{1}{\sin(0.5 \cdot \delta_2)} \cdot \max\left(1.7 - \frac{2.1 \cdot \delta_2}{\pi}, 0\right) = 0.071$$

Коэффициент, учитывающий влияние расстояния до днища:

$$K_{15} := \min\left(1, \frac{0.8 \cdot \sqrt{\gamma} + 6 \cdot \gamma}{\delta_2}\right) = 0.39$$

Коэффициент, учитывающий влияние угла охвата опоры:

$$K_{12} := \frac{1.15 - 0.1432 \cdot \sin(\delta_2)}{\sin(0.5 \cdot \delta_2)} = 1.126$$

Коэффициент, учитывающий влияние ширины пояса опоры:

$$K_{10} := \max\left(\frac{e^{-\beta_1} \cdot \sin(\beta_1)}{\beta_1}, 0.25\right) = 0.25$$

Коэффициент  $\nu_1$  для определения коэффициента  $K_1$ :

$$\nu_1 := \frac{-0.23 \cdot K_{13} \cdot K_{15}}{K_{12} \cdot K_{10}} = -0.023$$

Коэффициент  $K_2$

В рабочих условиях:

$$K_{2p} := 1.25$$

В условиях испытаний:

$$K_{2и} := 1.05$$

$$\nu_{21} := -\sigma_{\text{мх}} \cdot \frac{1}{K_{2p} \cdot \sigma_{\text{Д}}} = -0.012$$

$$\nu_{22} := \frac{1}{K_{2p} \cdot \sigma_{\text{Д}}} \cdot \left[ \frac{D \cdot P}{4 \cdot (s_1 - c)} - \sigma_{\text{мх}} \right] = 0.249$$

Общее мембранное напряжение в эллиптическом днище:

$$\sigma_{\text{м}} := \frac{D \cdot P}{4 \cdot (s_1 - c)} = 6.321 \times 10^7 \text{ Па}$$

$$\nu_2 := \frac{\sigma_{\text{м}}}{K_{2p} \cdot \sigma_{\text{Д}} \cdot \phi} = 0.261$$

При  $\nu_2 < 0$  принимают  $\nu_{2, \text{кв}} := |\nu_2|$ , а знак  $\nu_1$  меняют на обратный.

$$K_1 := \frac{1 - \nu_2}{\left(\frac{1}{3} + \nu_2 \cdot \nu_1\right) + \sqrt{\left(\frac{1}{3} + \nu_2 \cdot \nu_1\right)^2 + (1 - \nu_2^2) \cdot \nu_1^2}} = 1.128$$

При  $\nu_{21} < 0$  принимают  $\nu_{21, \text{кв}} := |\nu_{21}|$ , а знак  $\nu_1$  меняют на обратный.

$$\nu_{1, \text{кв}} := 0.043$$

$$\nu_{21} = 0.012$$

$$K_{\nu_{11}} := \frac{1 - \nu_{21}}{\left(\frac{1}{3} + \nu_{21} \cdot \nu_1\right) + \sqrt{\left(\frac{1}{3} + \nu_{21} \cdot \nu_1\right)^2 + (1 - \nu_{21}^2) \cdot \nu_1^2}} = 1.476$$

$$K_{\nu_{21}} := \frac{1 - \nu_{22}}{\left(\frac{1}{3} + \nu_{22} \cdot \nu_1\right) + \sqrt{\left(\frac{1}{3} + \nu_{22} \cdot \nu_1\right)^2 + (1 - \nu_{22}^2) \cdot \nu_1^2}} = 1.088$$

$$K_{\text{кв}} := \min(K_{\nu_{21}}, K_{\nu_{11}}) = 1.088$$

Предельное напряжение изгиба:

$$\sigma_{i2} := K_1 \cdot K_{2p} \cdot \sigma_{\text{Д}} = 2.635 \times 10^8 \text{ Па}$$

Допускаемое опорное усилие от нагрузки в меридиональном направлении:

$$F_{\text{доп21}} := \frac{0.7 \cdot \sigma_{i2} \cdot \sqrt{D \cdot (s_1 - c) \cdot (s_1 - c)}}{K_{10} \cdot K_{12}} = 7.946 \times 10^6 \text{ Н}$$

Коэффициент, учитывающий влияние угла охвата опоры:

$$K_{14} := \frac{1.45 - 0.43 \cdot \delta_2}{\sin(0.5 \cdot \delta_2)} = 0.425$$

Коэффициент, учитывающий влияние расстояния до днища:

$$K_{16} := 1 - \frac{0.65}{1 + (6 \cdot \gamma)^2} \cdot \sqrt{\frac{\pi}{3 \cdot \delta_2}} = 0.71$$

Коэффициент, учитывающий влияние ширины пояса опоры:

$$K_{17} := \frac{1}{1 + 0.6 \cdot \delta_2 \cdot \frac{b_2}{D} \cdot \sqrt[3]{\frac{D}{(s_1 - c)}}} = 0.253$$

Коэффициент, учитывающий влияние ширины пояса опоры:

$$K_{11} := \frac{1 - e^{-\beta_1} \cdot \cos(\beta_1)}{\beta_1} = 0.198$$

Коэффициент  $v_1$  для определения коэффициента  $K_1$ :

$$v_{11} := \frac{-0.53 \cdot K_{11}}{K_{14} \cdot K_{16} \cdot K_{17} \cdot \sin(0.5 \cdot \delta_2)} = -1.465$$

$$v_{21} := 0$$

$$v_{22} := \frac{D \cdot P}{2 \cdot (s_1 - c)} \cdot \frac{1}{(K_{2p} \cdot \sigma_{\text{д}})} = 0.522$$

$$K_{v21} := \frac{1 - v_{22}}{\left(\frac{1}{3} + v_{22} \cdot v_1\right) + \sqrt{\left(\frac{1}{3} + v_{22} \cdot v_1\right)^2 + (1 - v_{22}^2) \cdot v_1^2}} = 0.306$$

$$K_{v11} := \frac{1 - v_{21}}{\left(\frac{1}{3} + v_{21} \cdot v_1\right) + \sqrt{\left(\frac{1}{3} + v_{21} \cdot v_1\right)^2 + (1 - v_{21}^2) \cdot v_1^2}} = 0.356$$

$$K_1 := \min(K_{v21}, K_{v11}) = 0.306$$

Предельное напряжение изгиба:

$$\sigma_{i3} := K_1 \cdot K_{2p} \cdot \sigma_{\text{д}} = 7.413 \times 10^7 \text{ Па}$$

Допускаемое опорное усилие от нагрузки в окружном направлении, вычисляемое по формуле:

$$F_{\text{доп31}} := \frac{0.9 \cdot \sigma_{i3} \cdot \sqrt{D \cdot (s_1 - c) \cdot (s_1 - c)}}{K_{17} \cdot K_{16} \cdot K_{14}} = 8.858 \times 10^5 \text{ Н}$$

$$s_{ef} := (s_1 - c) \cdot \sqrt{1 + \left[ \frac{s_{л}}{(s_1 - c)} \right]^2} = 0.017 \text{ м}$$

Эффективное осевое усилие от местных мембранных напряжений, действующих в области опоры:

$$F_{B1} := F_{11} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot \sqrt{\frac{D}{(s_1 - c)}} \cdot K_{13} \cdot K_{15} = 1.638 \times 10^5 \text{ Н}$$

### Проверка условий устойчивости:

Условие устойчивости в рабочих условиях:

$$\text{Услов}_5 := \begin{cases} \text{"Условие устойчивости выполняется"} & \text{if } \frac{F_{B1}}{F_{д.р1}} + \frac{M_{11}}{M_{д1}} + \left( \frac{Q_{1p}}{Q_{д1}} \right)^2 \leq 1 \\ \text{"Условие устойчивости не выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Услов<sub>5</sub> = "Условие устойчивости выполняется"

### Расчет №2

Подкладной лист рассматривают как усиление стенки сосуда. Во всех формулах принимаем опору шириной  $b$  с углом охвата  $\delta_1$ :

$$\delta_{1.} := 2.094395 \text{ радиан}$$

Параметр, определяемый расстоянием до днища:

$$\gamma := 2.83 \cdot \frac{a}{D} \cdot \sqrt{\frac{(s_1 - c)}{D}} = 0.114$$

Параметр, определяемый шириной пояса опоры, вычисляют по формуле:

$$\beta_{1.} := 0.91 \cdot \frac{b}{\sqrt{D \cdot (s_1 - c)}} = 5.024$$

Общее меридиональное мембранное напряжение изгиба:

$$\sigma_{max} := \frac{4 \cdot M_{11}}{\pi \cdot D^2 \cdot (s_1 - c)} = 2.876 \times 10^6 \text{ Па}$$

Коэффициент, учитывающий влияние угла охвата опоры:

$$K_{13} := \frac{1}{\sin(0.5 \cdot \delta_1)} \cdot \max\left(1.7 - \frac{2.1 \cdot \delta_1}{\pi}, 0\right) = 0.346$$

Коэффициент, учитывающий влияние расстояния до днища:

$$K_{15} := \min\left(1, \frac{0.8 \cdot \sqrt{\gamma} + 6 \cdot \gamma}{\delta_1}\right) = 0.455$$

Коэффициент, учитывающий влияние угла охвата опоры:

$$K_{12} := \frac{1.15 - 0.1432 \cdot \sin(\delta_1)}{\sin(0.5 \cdot \delta_1)} = 1.185$$

Коэффициент, учитывающий влияние ширины пояса опоры:

$$K_{10} := \max\left(\frac{e^{-\beta_1} \cdot \sin(\beta_1)}{\beta_1}, 0.25\right) = 0.25$$

Коэффициент  $\nu_1$  для определения коэффициента  $K_1$ :

$$\nu_1 := \frac{-0.23 \cdot K_{13} \cdot K_{15}}{K_{12} \cdot K_{10}} = -0.122$$

Коэффициент  $K_2$

В рабочих условиях:

$$K_{2p} := 1.25$$

В условиях испытаний:

$$K_{2m} := 1.05$$

$$\nu_{21} := -\sigma_{mx} \cdot \frac{1}{K_{2p} \cdot \sigma_D} = -0.012$$

$$\nu_{22} := \frac{1}{K_{2p} \cdot \sigma_D} \cdot \left[ \frac{D \cdot P}{4 \cdot (s_1 - c)} - \sigma_{mx} \right] = 0.249$$

Общее мембранное напряжение в эллиптическом днище:

$$\sigma_m := \frac{D \cdot P}{4 \cdot (s_1 - c)} = 6.321 \times 10^7 \text{ Па}$$

$$\nu_2 := \frac{\sigma_m}{K_{2p} \cdot \sigma_D \cdot \phi} = 0.261$$

При  $\nu_2 < 0$  принимают  $\nu_2 := |\nu_2|$ , а знак  $\nu_1$  меняют на обратный.

$$K_1 := \frac{1 - \nu_2}{\left(\frac{1}{3} + \nu_2 \cdot \nu_1\right) + \sqrt{\left(\frac{1}{3} + \nu_2 \cdot \nu_1\right)^2 + (1 - \nu_2^2) \cdot \nu_1^2}} = 1.198$$

При  $\nu_{21} < 0$  принимают  $\nu_{21} := |\nu_{21}|$ , а знак  $\nu_1$  меняют на обратный.

$$\nu_{1m} := 0.043$$

$$\nu_{21} = 0.012$$

$$K_{\nu_{11}} := \frac{1 - \nu_{21}}{\left(\frac{1}{3} + \nu_{21} \cdot \nu_1\right) + \sqrt{\left(\frac{1}{3} + \nu_{21} \cdot \nu_1\right)^2 + (1 - \nu_{21}^2) \cdot \nu_1^2}} = 1.476$$

$$K_{\nu_{21}} := \frac{1 - \nu_{22}}{\left(\frac{1}{3} + \nu_{22} \cdot \nu_1\right) + \sqrt{\left(\frac{1}{3} + \nu_{22} \cdot \nu_1\right)^2 + (1 - \nu_{22}^2) \cdot \nu_1^2}} = 1.088$$

$$K_{1m} := \min(K_{\nu_{21}}, K_{\nu_{11}}) = 1.088$$

Предельное напряжение изгиба:

$$\sigma_{i2} := K_1 \cdot K_{2p} \cdot \sigma_D = 2.635 \times 10^8 \text{ Па}$$

Допускаемое опорное усилие от нагрузки в меридиональном направлении:

$$F_{\text{доп22}} := \frac{0.7 \cdot \sigma_{\text{д2}} \cdot \sqrt{D \cdot (s_1 - c) \cdot (s_1 - c)}}{K_{10} \cdot K_{12}} = 7.551 \times 10^6 \text{ Н}$$

Коэффициент, учитывающий влияние угла охвата опоры:

$$K_{14} := \frac{1.45 - 0.43 \cdot \delta_1}{\sin(0.5 \cdot \delta_1)} = 0.634$$

Коэффициент, учитывающий влияние расстояния до днища:

$$K_{16} := 1 - \frac{0.65}{1 + (6 \cdot \gamma)^2} \cdot \sqrt{\frac{\pi}{3 \cdot \delta_1}} = 0.687$$

Коэффициент, учитывающий влияние ширины пояса опоры:

$$K_{17} := \frac{1}{1 + 0.6 \cdot \delta_1 \cdot \frac{b}{D} \cdot \sqrt[3]{\frac{D}{(s_1 - c)}}} = 0.284$$

Коэффициент, учитывающий влияние ширины пояса опоры:

$$K_{11} := \frac{1 - e^{-\beta_1} \cdot \cos(\beta_1)}{\beta_1} = 0.198$$

Коэффициент  $v_1$  для определения коэффициента  $K_1$ :

$$v_{11} := \frac{-0.53 \cdot K_{11}}{K_{14} \cdot K_{16} \cdot K_{17} \cdot \sin(0.5 \cdot \delta_1)} = -0.983$$

$$v_{21} := 0$$

$$v_{22} := \frac{D \cdot P}{2 \cdot (s_1 - c)} \cdot \frac{1}{(K_{2p} \cdot \sigma_{\text{д}})} = 0.522$$

$$K_{v21} := \frac{1 - v_{22}}{\left(\frac{1}{3} + v_{22} \cdot v_1\right) + \sqrt{\left(\frac{1}{3} + v_{22} \cdot v_1\right)^2 + (1 - v_{22}^2) \cdot v_1^2}} = 0.68$$

$$K_{v11} := \frac{1 - v_{21}}{\left(\frac{1}{3} + v_{21} \cdot v_1\right) + \sqrt{\left(\frac{1}{3} + v_{21} \cdot v_1\right)^2 + (1 - v_{21}^2) \cdot v_1^2}} = 0.612$$

$$K_1 := \min(K_{v21}, K_{v11}) = 0.612$$

Предельное напряжение изгиба:

$$\sigma_{\text{д3}} := K_1 \cdot K_{2p} \cdot \sigma_{\text{д}} = 1.483 \times 10^8 \text{ Па}$$

Допускаемое опорное усилие от нагрузки в окружном направлении, вычисляемое по формуле:

$$F_{\text{доп32}} := \frac{0.9 \cdot \sigma_{\text{д3}} \cdot \sqrt{D \cdot (s_1 - c) \cdot (s_1 - c)}}{K_{17} \cdot K_{16} \cdot K_{14}} = 1.096 \times 10^6 \text{ Н}$$

$$F_{\text{доп}} := \min(F_{\text{доп}21}, F_{\text{доп}31}, F_{\text{доп}22}, F_{\text{доп}32}) = 8.858 \times 10^5 \text{ Н}$$

Условие прочности:

$$\text{Услов}_6 := \begin{cases} \text{"Условия прочности выполняются"} & \text{if } F_{11} \leq F_{\text{доп}} \\ \text{"Условия прочности не выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Услов}_6 = \text{"Условия прочности выполняются"}$$

Эффективное осевое усилие от местных мембранных напряжений, действующих в области опоры:

$$F_{\text{в}2} := F_{11} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot \sqrt{\frac{D}{(s_1 - c)}} \cdot K_{13} \cdot K_{15} = 9.348 \times 10^5 \text{ Н}$$

**Проверка условий устойчивости:**

Условие устойчивости в рабочих условиях:

$$Y_7 := \begin{cases} \text{"Условие устойчивости выполняется"} & \text{if } \frac{F_{\text{в}2}}{F_{\text{д.п}1}} + \frac{M_{11}}{M_{\text{д}1}} + \left( \frac{Q_{1\text{p}}}{Q_{\text{д}1}} \right)^2 \leq 1 \\ \text{"Условие устойчивости не выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$Y_7 = \text{"Условие устойчивости выполняется"}$$

**Для условий гидроиспытаний.**

Определим допускаемое осевое сжимающее усилие из условия прочности:

$$F_{\text{д.п}2} := \pi \cdot (D + s_1 - c)(s_1 - c) \cdot \sigma_{\text{д}} = 1.281 \times 10^7 \text{ Н}$$

Допускаемое осевое сжимающее усилие из условия местной устойчивости в пределах упругости:

$$F_{\text{дЕ}12} := \frac{31 \cdot 10^{-5} \cdot E}{n_{\text{и}}} \cdot D^2 \cdot \left[ \frac{100 \cdot (s_1 - c)}{D} \right]^{2.5} = 8.153 \times 10^6 \text{ Н}$$

Допускаемое осевое сжимающее усилие в пределах упругости из условия устойчивости:

$$F_{\text{дЕ}2} := F_{\text{дЕ}12}$$

Допускаемое осевое сжимающее усилие в условиях испытаний:

$$F_{\text{д.п}2} := \frac{F_{\text{д.п}2}}{\sqrt{1 + \left( \frac{F_{\text{д.п}2}}{F_{\text{дЕ}2}} \right)^2}} = 6.878 \times 10^6 \text{ Н}$$

Допускаемый изгибающий момент из условия прочности:

$$M_{\text{дп}2} := \frac{\pi}{4} \cdot D \cdot (D + s_1 - c) \cdot (s_1 - c) \cdot \sigma_{\text{д}} = 9.607 \times 10^6 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Допускаемый изгибающий момент из условия устойчивости в пределах упругости:

$$M_{\text{дЕ}2} := \frac{8.9 \cdot 10^{-5} \cdot E}{n_{\text{и}}} \cdot D^3 \cdot \left[ \frac{100 \cdot (s_1 - c)}{D} \right]^{2.5} = 7.022 \times 10^6 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Определим допускаемые изгибающие моменты.

$$M_{д2} := \frac{M_{дп2}}{\sqrt{1 + \left(\frac{M_{дп2}}{M_{де2}}\right)^2}} = 5.669 \times 10^6 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Определим допускаемое осевое сжимающее усилие из условия прочности:

$$Q_{д.п2} := 0.25\pi \cdot D(s_1 - c) \cdot \sigma_{Д} = 3.195 \times 10^6 \text{ Н}$$

Определим допускаемое осевое сжимающее усилие в пределах упругости из условия местной устойчивости:

$$Q_{д.Е2} := \frac{2.4 \cdot E \cdot (s_1 - c)^2}{n_p} \cdot \left[ 0.18 + 3.3 \frac{D \cdot (s_1 - c)}{L_r^2} \right] = 1.768 \times 10^6 \text{ Н}$$

Допускаемое осевое сжимающее усилие в условиях испытаний:

$$Q_{д2} := \frac{Q_{д.п2}}{\sqrt{1 + \left(\frac{Q_{д.п2}}{Q_{д.Е2}}\right)^2}} = 1.547 \times 10^6 \text{ Н}$$

**Определения расчетных усилий в условиях испытаний:**

Распределенная нагрузка сосуда

$$q_2 := \frac{G_{ап2}}{L_r \cdot \frac{4}{3} \cdot H_{дг}} = 8.3 \times 10^4 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$$

$$M_{02} := q_2 \cdot \frac{D^2}{16} = 4.669 \times 10^4 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Опорное усилие в условиях испытаний:

$$F_{12} := \frac{G_{ап2}}{2} = 5.449 \times 10^5 \text{ Н}$$

Момент над опорой:

$$e := a = 2.5 \text{ м}$$

$$M_{12} := \frac{q_2 \cdot e^2}{2} - M_{02} = 2.127 \times 10^5 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Максимальный момент между опорами 1 и 2:

$$M_{12и} := M_{02} + F_{12} \cdot \left( \frac{L_r}{2} - a \right) - \frac{q_2}{2} \left( \frac{L_r}{2} + \frac{2}{3} \cdot H_{дг} \right)^2 = 1.902 \times 10^5 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

*Несущую способность обечайки в сечении между опорами следует проверять при условии:*

$$\text{Услов}_8 := \begin{cases} \text{"следует проверять"} & \text{if } M_{12и} > M_{12} \\ \text{"следует НЕ проверять"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Услов}_8 = \text{"следует НЕ проверять"}$$

## Проверка несущей способности оболочки, неукрепленной кольцами жесткости в области опорного узла при гидроиспытаниях:

### Расчет №3

Подкладной лист рассматривают как седловую опору шириной  $b_2$  с углом охвата  $\delta_2$ :

$$\delta_2 := 2.44361 \text{ радиан}$$

Параметр, определяемый расстоянием до днища:

$$\gamma := 2.83 \cdot \frac{a}{D} \cdot \sqrt{\frac{(s_1 - c)}{D}} = 0.114$$

Параметр, определяемый шириной пояса опоры, вычисляют по формуле:

$$\beta_1 := 0.91 \cdot \frac{b_2}{\sqrt{D \cdot (s_1 - c)}} = 5.024$$

Общее меридиональное мембранное напряжение изгиба:

$$\sigma_{\text{мх}} := \frac{4 \cdot M_{12}}{\pi \cdot D^2 \cdot (s_1 - c)} = 4.298 \times 10^6 \text{ Па}$$

Коэффициент, учитывающий влияние угла охвата опоры:

$$K_{13} := \frac{1}{\sin(0.5 \cdot \delta_2)} \cdot \max\left(1.7 - \frac{2.1 \cdot \delta_2}{\pi}, 0\right) = 0.071$$

Коэффициент, учитывающий влияние расстояния до днища:

$$K_{15} := \min\left(1, \frac{0.8 \cdot \sqrt{\gamma} + 6 \cdot \gamma}{\delta_2}\right) = 0.39$$

Коэффициент, учитывающий влияние угла охвата опоры:

$$K_{12} := \frac{1.15 - 0.1432 \cdot \sin(\delta_2)}{\sin(0.5 \cdot \delta_2)} = 1.126$$

Коэффициент, учитывающий влияние ширины пояса опоры:

$$K_{10} := \max\left(\frac{e^{-\beta_1} \cdot \sin(\beta_1)}{\beta_1}, 0.25\right) = 0.25$$

Коэффициент  $\nu_1$  для определения коэффициента  $K_1$ :

$$\nu_1 := \frac{-0.23 \cdot K_{13} \cdot K_{15}}{K_{12} \cdot K_{10}} = -0.023$$

Коэффициент  $K_2$

В условиях испытаний:

$$K_{2н} := 1.05$$

$$\nu_{2н} := -\sigma_{\text{мх}} \cdot \frac{1}{K_{2н} \cdot \sigma_{\text{Д}}} = -0.021$$

$$\nu_{22} := \frac{1}{K_{2и} \cdot \sigma_D} \cdot \left[ \frac{D \cdot P_{и}}{4 \cdot (s_1 - c)} - \sigma_{mx} \right] = 0.392$$

Общее мембранное напряжение в эллиптическом днище:

$$\sigma_m := \frac{D \cdot P_{и}}{4 \cdot (s_1 - c)} = 8.393 \times 10^7 \text{ Па}$$

$$\nu_2 := \frac{\sigma_m}{K_{2p} \cdot \sigma_D \cdot \phi} = 0.347$$

При  $\nu_2 < 0$  принимают  $\nu_2 := |\nu_2|$ , а знак  $\nu_1$  меняют на обратный.

$$K_{11} := \frac{1 - \nu_2}{\left( \frac{1}{3} + \nu_2 \cdot \nu_1 \right) + \sqrt{\left( \frac{1}{3} + \nu_2 \cdot \nu_1 \right)^2 + (1 - \nu_2^2) \cdot \nu_1^2}} = 1.003$$

При  $\nu_{21} < 0$  принимают  $\nu_{21} := |\nu_{21}|$ , а знак  $\nu_1$  меняют на обратный.

$$\nu_{11} := 0.043$$

$$\nu_{21} = 0.021$$

$$K_{\nu_{11}} := \frac{1 - \nu_{21}}{\left( \frac{1}{3} + \nu_{21} \cdot \nu_1 \right) + \sqrt{\left( \frac{1}{3} + \nu_{21} \cdot \nu_1 \right)^2 + (1 - \nu_{21}^2) \cdot \nu_1^2}} = 1.46$$

$$K_{\nu_{21}} := \frac{1 - \nu_{22}}{\left( \frac{1}{3} + \nu_{22} \cdot \nu_1 \right) + \sqrt{\left( \frac{1}{3} + \nu_{22} \cdot \nu_1 \right)^2 + (1 - \nu_{22}^2) \cdot \nu_1^2}} = 0.867$$

$$K_1 := \min(K_{\nu_{21}}, K_{\nu_{11}}) = 0.867$$

Предельное напряжение изгиба:

$$\sigma_{i2} := K_1 \cdot K_{2и} \cdot \sigma_D = 1.763 \times 10^8 \text{ Па}$$

Допускаемое опорное усилие от нагрузки в меридиональном направлении:

$$F_{доп21} := \frac{0.7 \cdot \sigma_{i2} \cdot \sqrt{D \cdot (s_1 - c) \cdot (s_1 - c)}}{K_{10} \cdot K_{12}} = 5.316 \times 10^6 \text{ Н}$$

Коэффициент, учитывающий влияние угла охвата опоры:

$$K_{14} := \frac{1.45 - 0.43 \cdot \delta_2}{\sin(0.5 \cdot \delta_2)} = 0.425$$

Коэффициент, учитывающий влияние расстояния до днища:

$$K_{16} := 1 - \frac{0.65}{1 + (6 \cdot \gamma)^2} \cdot \sqrt{\frac{\pi}{3 \cdot \delta_2}} = 0.71$$

Коэффициент, учитывающий влияние ширины пояса опоры:

$$K_{17} := \frac{1}{1 + 0.6 \cdot \delta_2 \cdot \frac{b_2}{D} \cdot \sqrt[3]{\frac{D}{(s_1 - c)}}} = 0.253$$

Коэффициент, учитывающий влияние ширины пояса опоры:

$$K_{11} := \frac{1 - e^{-\beta_1} \cdot \cos(\beta_1)}{\beta_1} = 0.198$$

Коэффициент  $\nu_1$  для определения коэффициента  $K_1$ :

$$\nu_{11} := \frac{-0.53 \cdot K_{11}}{K_{14} \cdot K_{16} \cdot K_{17} \cdot \sin(0.5 \cdot \delta_2)} = -1.465$$

$$\nu_{21} := 0$$

$$\nu_{22} := \frac{D \cdot P_{II}}{2 \cdot (s_1 - c)} \cdot \frac{1}{(K_{2II} \cdot \sigma_D)} = 0.825$$

$$K_{\nu 21} := \frac{1 - \nu_{22}}{\left(\frac{1}{3} + \nu_{22} \cdot \nu_1\right) + \sqrt{\left(\frac{1}{3} + \nu_{22} \cdot \nu_1\right)^2 + (1 - \nu_{22}^2) \cdot \nu_1^2}} = 0.255$$

$$K_{\nu 11} := \frac{1 - \nu_{21}}{\left(\frac{1}{3} + \nu_{21} \cdot \nu_1\right) + \sqrt{\left(\frac{1}{3} + \nu_{21} \cdot \nu_1\right)^2 + (1 - \nu_{21}^2) \cdot \nu_1^2}} = 0.356$$

$$K_1 := \min(K_{\nu 21}, K_{\nu 11}) = 0.255$$

Предельное напряжение изгиба:

$$\sigma_{i3} := K_1 \cdot K_{2II} \cdot \sigma_D = 5.193 \times 10^7 \text{ Па}$$

Допускаемое опорное усилие от нагружения в окружном направлении, вычисляемое по формуле:

$$F_{доп31} := \frac{0.9 \cdot \sigma_{i3} \cdot \sqrt{D \cdot (s_1 - c)} \cdot (s_1 - c)}{K_{17} \cdot K_{16} \cdot K_{14}}$$

$$s_{ef} := (s_1 - c) \cdot \sqrt{1 + \left[\frac{s_{II}}{(s_1 - c)}\right]^2} = 0.017 \text{ м}$$

Эффективное осевое усилие от местных мембранных напряжений, действующих в области опоры:

$$F_{в3} := F_{12} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot \sqrt{\frac{D}{(s_1 - c)}} \cdot K_{13} \cdot K_{15} = 2.449 \times 10^5 \text{ Н}$$

**Проверка условий устойчивости:**

*Условие устойчивости в рабочих условиях:*

$$Y_9 := \begin{cases} \text{"Условие устойчивости выполняется"} & \text{if } \frac{F_{B3}}{F_{д.р1}} + \frac{M_{11}}{M_{д1}} + \left( \frac{Q_{1p}}{Q_{д1}} \right)^2 \leq 1 \\ \text{"Условие устойчивости НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$Y_9 = \text{"Условие устойчивости выполняется"}$

#### Расчет №4

Подкладной лист рассматривают как усиление стенки сосуда. Во всех формулах принимаем опору шириной  $b$  с углом охвата  $\delta_1$ :

$$\delta_{1.1} := 2.094395 \text{ радиан}$$

Параметр, определяемый расстоянием до днища:

$$\gamma_{1.1} := 2.83 \cdot \frac{a}{D} \cdot \sqrt{\frac{(s_1 - c)}{D}} = 0.114$$

Параметр, определяемый шириной пояса опоры, вычисляют по формуле:

$$\beta_{1.1} := 0.91 \cdot \frac{b}{\sqrt{D \cdot (s_1 - c)}} = 5.024$$

Общее меридиональное мембранное напряжение изгиба:

$$\sigma_{1.1} := \frac{4 \cdot M_{12}}{\pi \cdot D^2 \cdot (s_1 - c)} = 4.298 \times 10^6 \text{ Па}$$

Коэффициент, учитывающий влияние угла охвата опоры:

$$K_{13.1} := \frac{1}{\sin(0.5 \cdot \delta_1)} \cdot \max\left(1.7 - \frac{2.1 \cdot \delta_1}{\pi}, 0\right) = 0.346$$

Коэффициент, учитывающий влияние расстояния до днища:

$$K_{15.1} := \min\left(1, \frac{0.8 \cdot \sqrt{\gamma} + 6 \cdot \gamma}{\delta_1}\right) = 0.455$$

Коэффициент, учитывающий влияние угла охвата опоры:

$$K_{12.1} := \frac{1.15 - 0.1432 \cdot \sin(\delta_1)}{\sin(0.5 \cdot \delta_1)} = 1.185$$

Коэффициент, учитывающий влияние ширины пояса опоры:

$$K_{10.1} := \max\left(\frac{e^{-\beta_1} \cdot \sin(\beta_1)}{\beta_1}, 0.25\right) = 0.25$$

Коэффициент  $\nu_1$  для определения коэффициента  $K_1$ :

$$\nu_{1.1} := \frac{-0.23 \cdot K_{13} \cdot K_{15}}{K_{12} \cdot K_{10}} = -0.122$$

Коэффициент  $K_2$

В условиях испытаний:

$$K_{2.1} := 1.05$$

$$v_{21} := -\sigma_{\text{мх}} \cdot \frac{1}{K_{2и} \cdot \sigma_{\text{Д}}} = -0.021$$

$$v_{22} := \frac{1}{K_{2и} \cdot \sigma_{\text{Д}}} \cdot \left[ \frac{D \cdot P_{и}}{4 \cdot (s_1 - c)} - \sigma_{\text{мх}} \right] = 0.392$$

Общее мембранное напряжение в эллиптическом днище:

$$\sigma_{\text{м}} := \frac{D \cdot P_{и}}{4 \cdot (s_1 - c)} = 8.393 \times 10^7 \text{ Па}$$

$$v_2 := \frac{\sigma_{\text{м}}}{K_{2и} \cdot \sigma_{\text{Д}} \cdot \phi} = 0.413$$

При  $v_2 < 0$  принимают  $v_2 := |v_2|$ , а знак  $v_1$  меняют на обратный.

$$K_1 := \frac{1 - v_2}{\left( \frac{1}{3} + v_2 \cdot v_1 \right) + \sqrt{\left( \frac{1}{3} + v_2 \cdot v_1 \right)^2 + (1 - v_2^2) \cdot v_1^2}} = 1.016$$

При  $v_{21} < 0$  принимают  $v_{21} := |v_{21}|$ , а знак  $v_1$  меняют на обратный.

$$v_{11} := 0.043$$

$$v_{21} = 0.021$$

$$K_{v11} := \frac{1 - v_{21}}{\left( \frac{1}{3} + v_{21} \cdot v_1 \right) + \sqrt{\left( \frac{1}{3} + v_{21} \cdot v_1 \right)^2 + (1 - v_{21}^2) \cdot v_1^2}} = 1.46$$

$$K_{v21} := \frac{1 - v_{22}}{\left( \frac{1}{3} + v_{22} \cdot v_1 \right) + \sqrt{\left( \frac{1}{3} + v_{22} \cdot v_1 \right)^2 + (1 - v_{22}^2) \cdot v_1^2}} = 0.867$$

$$K_1 := \min(K_{v21}, K_{v11}) = 0.867$$

Предельное напряжение изгиба:

$$\sigma_{i2} := K_1 \cdot K_{2и} \cdot \sigma_{\text{Д}} = 1.763 \times 10^8 \text{ Па}$$

Допускаемое опорное усилие от нагружения в меридиональном направлении:

$$F_{\text{доп22}} := \frac{0.7 \cdot \sigma_{i2} \cdot \sqrt{D \cdot (s_1 - c) \cdot (s_1 - c)}}{K_{10} \cdot K_{12}} = 5.052 \times 10^6 \text{ Н}$$

Коэффициент, учитывающий влияние угла охвата опоры:

$$K_{14} := \frac{1.45 - 0.43 \cdot \delta_1}{\sin(0.5 \cdot \delta_1)} = 0.634$$

Коэффициент, учитывающий влияние расстояния до днища:

$$K_{16} := 1 - \frac{0.65}{1 + (6 \cdot \gamma)^2} \cdot \sqrt{\frac{\pi}{3 \cdot \delta_1}} = 0.687$$

Коэффициент, учитывающий влияние ширины пояса опоры:

$$K_{17} := \frac{1}{1 + 0.6 \cdot \delta_1 \cdot \frac{b}{D} \cdot \sqrt[3]{\frac{D}{(s_1 - c)}}} = 0.284$$

Коэффициент, учитывающий влияние ширины пояса опоры:

$$K_{11} := \frac{1 - e^{-\beta_1} \cdot \cos(\beta_1)}{\beta_1} = 0.198$$

Коэффициент  $\nu_1$  для определения коэффициента  $K_1$ :

$$\nu_{11} := \frac{-0.53 \cdot K_{11}}{K_{14} \cdot K_{16} \cdot K_{17} \cdot \sin(0.5 \cdot \delta_1)} = -0.983$$

$$\nu_{21} := 0$$

$$\nu_{22} := \frac{D \cdot P_{и}}{2 \cdot (s_1 - c)} \cdot \frac{1}{(K_{2p} \cdot \sigma_{д})} = 0.693$$

$$K_{\nu 21} := \frac{1 - \nu_{22}}{\left(\frac{1}{3} + \nu_{22} \cdot \nu_1\right) + \sqrt{\left(\frac{1}{3} + \nu_{22} \cdot \nu_1\right)^2 + (1 - \nu_{22}^2) \cdot \nu_1^2}} = 0.611$$

$$K_{\nu 11} := \frac{1 - \nu_{21}}{\left(\frac{1}{3} + \nu_{21} \cdot \nu_1\right) + \sqrt{\left(\frac{1}{3} + \nu_{21} \cdot \nu_1\right)^2 + (1 - \nu_{21}^2) \cdot \nu_1^2}} = 0.612$$

$$K_1 := \min(K_{\nu 21}, K_{\nu 11}) = 0.611$$

Предельное напряжение изгиба:

$$\sigma_{из} := K_1 \cdot K_{2и} \cdot \sigma_{д} = 1.243 \times 10^8 \text{ Па}$$

Допускаемое опорное усилие от нагрузки в окружном направлении, вычисляемое по формуле:

$$F_{доп32} := \frac{0.9 \cdot \sigma_{из} \cdot \sqrt{D \cdot (s_1 - c)} \cdot (s_1 - c)}{K_{17} \cdot K_{16} \cdot K_{14}} = 9.185 \times 10^5 \text{ Н}$$

$$F_{доп} := \min(F_{доп21}, F_{доп31}, F_{доп22}, F_{доп32}) = 6.205 \times 10^5 \text{ Н}$$

Условие прочности:

$$\text{Услов}_{10} := \begin{cases} \text{"Условия прочности выполняются"} & \text{if } F_{12} \leq F_{доп} \\ \text{"Условия прочности не выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Услов}_{10} = \text{"Условия прочности выполняются"}$$

Эффективное осевое усилие от местных мембранных напряжений, действующих в области опоры:

$$F_{в2} := F_{12} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot \sqrt{\frac{D}{(s_1 - c)}} \cdot K_{13} \cdot K_{15} = 1.397 \times 10^6 \text{ Н}$$

### Проверка условий устойчивости:

Условие устойчивости в рабочих условиях:

$$Y_{11} := \begin{cases} \text{"Условие устойчивости выполняется"} & \text{if } \frac{F_{в2}}{F_{д.р1}} + \frac{M_{11}}{M_{д1}} + \left( \frac{Q_{1p}}{Q_{д1}} \right)^2 \leq 1 \\ \text{"Условие устойчивости НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$Y_{11} = \text{"Условие устойчивости выполняется"}$

### 3. Расчет отстойника горизонтального

Отстойник горизонтальный ОГ-200С представляет собой емкость с эллиптическими днищами. При помощи перегородки емкость разделена на два отсека, из которых левый является сепарационным, а правый – отстойным. Левый и правый отсеки емкости сообщаются друг с другом при помощи двух распределителей, представляющих собой стальные трубы, снабженные отверстиями, расположенными в их верхней части. Над отверстиями распределителей располагаются распределители эмульсии коробчатой формы.

В верхней части правого (сепарационного) отсека находится сепаратор газа.

Водогазонефтяная эмульсия подается в отстойник подогретой или естественной температуры, а также с реагентом-деэмульсатором или без него в зависимости от физико-химических свойств нефти и поступает в распределитель, расположенный в верхней части сепарационного отсека отстойника. Через щелевые прорезки из распределителя обводненная нефть поступает на сливные полки и по стенкам стекает в нижнюю часть аппарата. При этом из обводненной нефти выделяется часть газа, находившаяся в ней как в свободном, так и растворенном состоянии. Выделившийся газ проходит через сепаратор, где от него отделяются увлеченные капельки нефти, и сбрасывается в сборную сеть.

Дегазированная нефть из сепарационного отсека поступает в два коллектора, находящиеся в отстойном отсеке и расположенные по его длине. Над коллекторами находятся распределители эмульсии, имеющие коробчатую

форму. Из коллекторов нефть поступает в коробчатые распределители под уровень пластовой воды в отсеке. При этом происходит промывка эмульсионной нефти через слой пластовой воды и выпадение капель воды в нижнюю часть аппарата. Обезвоженная нефть поступает в сборники, расположенные в верхней части отстойного отсека, и через штуцер выводится из аппарата.

### 3.1. Технологический расчет отстойника горизонтального.

Расчет ведем согласно источнику [2].

Технологический расчет отстойника состоит в определений его геометрических параметров.

Нагрузка отстойника по смеси[1]:

$$Q_{OT} := 350 \text{ м}^3/\text{ч}$$

Вязкость смеси[2]:

$$\mu_{CM} := 6 \text{ мПа} \cdot \text{с}$$

Плотность смеси[2]:

$$\rho_{CM} := 880 \text{ кг/м}^3$$

Относительная высота водяной подушки в отстойнике:

$$\varepsilon_w := 0.15$$

Функция относительной высоты водяной подушки:

$$Q_{OT} := 74$$

$$f(\varepsilon) := 0.5\pi + (1 - \varepsilon) \cdot \sqrt{\varepsilon \cdot (3 - \varepsilon)} + \text{asin}(1 - \varepsilon)$$

$$f(\varepsilon) = 3.143$$

Диаметр отстойника рассчитываем по следующей формуле[2]:

$$D := 0.981 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{Q_{OT} \cdot \rho_{CM}}{\mu_{CM} \cdot f(\varepsilon)}$$

$$D = 3.388 \text{ м}$$

Основное условие процесса отстаивания состоит в следующем:

$$\tau_0 < \tau_H$$

где  $\tau$  время отстаивания. Если допустить, что

$$\tau_0 = \tau_H$$

, то:

$$\frac{D}{\omega_0} = \frac{L}{\omega_H}$$

$$\omega_0$$

горизонтальная скорость движения в зоне отстоя[2]:

$$\omega_0 := 2$$

$\omega_n$

скорость осаждения капли воды в полидисперсной эмульсии в зоне отстоя  
Радиус осаждаемой капли[2]:

$$r := 0.3 \cdot 10^{-3} \text{ мм}$$

плотность воды[1]:

$$\rho_B := 1019.6 \text{ кг/м}^3$$

плотность нефти[1]:

$$\rho_H := 856 \text{ кг/м}^3$$

ускорение свободного падения:

$$g := 9.8 \text{ м/с}^2$$

вязкость нефти:

$$\mu_H := 4.2 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$$

Скорость осаждения капли воды находим из уравнения Стокса[2]:

$$\omega_n := \frac{2 \cdot r^2 \cdot (\rho_B - \rho_H) \cdot g}{9 \cdot \mu_H}$$

$$\omega_n = 3.817 \times 10^{-3} \text{ м/с}$$

Найдем высоту водной подушки:

$$h := D \cdot 2\varepsilon = 4.807 \text{ м}$$

Находим длину отстойника[2]:

$$L := \frac{(D - h) \cdot \omega_0}{\omega_n} = 5.877 \times 10^3$$

По полученным данным подбираем стандартный отстойник[19]:

Отстойник ОГ200С:

Рабочая среда - пластовая вода, нефть, газ;

Пропускная способность по товарной нефти, т/сут до 6000;

Рабочее давление 0,8 МПа;

Температура среды -43..+100 °С;

Вместимость аппарата 200 м<sup>3</sup>;

Масса 251800 кг.

### 3.2. Конструктивный расчет ОГ

Скорость нефтегазовой смеси на входе в аппарат:

$$\omega_{ПА} := 1 \text{ м/с}$$

При объемном расходе:

$$V_{\text{см}} := 150 \text{ м}^3/\text{ч}$$

Диаметр входного штуцера для нефтегазовой смеси:

$$d_{\text{вш}} := \sqrt{4 \cdot \frac{V_{\text{см}}}{\pi \cdot \omega_{\text{ПА}} \cdot 3600}}$$

$$d_{\text{вш}} = 0.23$$

Принимаем диаметр входа нефтегазовой смеси с учетом возникновения нештатных ситуаций, сопровождающихся увеличением расхода равный:

$$D_{\text{вш}} := 300 \text{ мм}$$

Скорость выхода нефтегазовой смеси принимаем равным:

$$\omega_{\text{ПН}} := \omega_{\text{ПА}}$$

Тогда диаметры штуцеров соответственно тоже равны:

$$D_{\text{выш}} := D_{\text{вш}} = 300 \text{ мм}$$

Размеры остальных штуцеров принимаем конструктивно, исходя из функционального назначения.

#### **4. Расчет газосепаратора сетчатого.**

Газосепараторы сетчатые предназначены для окончательной тонкой очистки природного и попутного нефтяного газа от жидкости (конденсата, ингибитора гидрато- образования, воды) в промышленных установках подготовки газа к транспорту, подземных хранилищах, а также на газо- и нефтеперерабатывающих заводах.

Эффективность очистки газа – до 99 %. Температура рабочей среды – от -30 до +100 °С. Содержание жидкости, поступающей в газосепаратор с газом - не более 200 см<sup>3</sup>/нм<sup>3</sup>. По индивидуальному заказу изготавливаются газосепараторы, предназначенные для очистки газа с более высокой концентрацией примесей и диаметром до 2400 мм.

Газосепараторы изготавливаются в двух материальных исполнениях на рабочее давление от 0,6 до 8 МПа, для эксплуатации в районах со средней температурой самой холодной пятидневки до минус 40 °С – исполнение 1; ниже минус 40 °С до минус 60 °С – исполнение 2.

Предусмотрены три типа сетчатых газосепараторов: тип I – цилиндрические вертикальные с корпусным фланцевым разъемом диаметром 600, 800мм на рабочее давление от 0,6 до 8 МПа и производительностью по газу от 0,08 до 0,8 млн. м<sup>3</sup>/сут; тип II – цилиндрические вертикальные

диаметром 1200, 1600 мм на рабочее давление от 0,6 до 8 МПа и производительностью по газу от 0,8 до 2 млн. м<sup>3</sup>/сут; тип III – шаровые с цилиндрическим сборником жидкости диаметром сферы 2200, 2600 мм на рабочее давление от 1 до 8 МПа и производительностью по газу от 2 до 5 млн. м<sup>3</sup>/сут.

Газожидкостная смесь в сетчатом газосепараторе разделяется на газ и жидкость благодаря воздействию гравитационных и инерционных сил на капли жидкости. Основная масса жидкости сепарируется из газового потока в средней части корпуса и осаждается вниз в сборник жидкости. Тонкодисперсные капли коагулируются в сетчатом каплеотбойнике, размещённом в средней части корпуса, и частично стекают вниз в сборник жидкости. Окончательная очистка газа от жидкости осуществляется в сетчатой скрубберной

#### **4.1 Технологический расчет сетчатого газосепаратора.**

Расчитаем геометрические параметры сепаратора согласно[17].

Объем газовой фазы в сепараторе при рабочих условия[17]:

$$V_{\text{гру}} := 1.89 \text{ м}^3/\text{с}$$

Плотность газа[1]:

$$\rho_{\text{Г}} := 1.1 \text{ кг/м}^3$$

Плотность нефтяной смеси[1]:

$$\rho_{\text{ж}} := 900 \text{ кг/м}^3$$

Определим допустимую скорость газового потока в свободном сечении сепаратора используя формулу Обрядчикова и Хохрякова[17]:

$$U_{\text{Г}} := 0.0334 \cdot \sqrt{\frac{\rho_{\text{ж}}}{\rho_{\text{Г}}}} = 0.955 \text{ м/с}$$

Определим диаметр сепаратора[17]:  $D := \sqrt{\frac{4 \cdot V_{\text{гпу}}}{\pi \cdot U_{\text{Г}}}} = 1.587 \text{ м}$

Принимаем по нормальному ряду  $D=1.6 \text{ м}$

По практическим данным, допустимая скорость движения жидкости в сепараторе 0.003-0.005 м/с, принимаем[17]:

$$U_{\text{ж}} := 0.004$$

Время пребывания жидкости в сепараторе составляет 15-30 мин.

Принимаем время:

$$t := 16 \cdot 60 = 960 \text{ с}$$

Высота уровня жидкости[17]:

$$H_{\text{ж}} := U_{\text{ж}} \cdot t = 3.84$$

Высота жидкости в сепараторе составляет 10-30 %, исходя из этого принимаем высоту сепаратора.

$$H_{\text{ап}} := H_{\text{ж}} \cdot 1.2 = 4.608$$

Принимаем высоту сепаратора  $H=4.6 \text{ м}$ .

## 4.2 Конструктивный расчет ГС.

Скорость газа на входе в аппарат:

$$\omega_{\text{ПА}} := 2 \text{ м/с}$$

При объемном расходе:

$$V_{\text{см}} := 180.4 \text{ м}^3/\text{ч}$$

Диаметр входного штуцера для нефтегазовой смеси:

$$d_{\text{вш}} := \sqrt{4 \cdot \frac{V_{\text{см}}}{\pi \cdot \omega_{\text{ПА}} \cdot 3600}} \quad d_{\text{вш}} = 0.179$$

Принимаем диаметр входа газа смеси с учетом возникновения нештатных ситуаций, сопровождающихся увеличением расхода равный:

$$D_{\text{вш}} := 200 \text{ мм}$$

Скорость выхода газа принимаем равным:

$$\omega_{\text{ПН}} := \omega_{\text{ПА}}$$

Тогда диаметры штуцеров соответственно тоже равны:

$$D_{\text{ВШ}} := D_{\text{ВШ}} = 200 \text{ мм}$$

Скорость нефтяной фазы на выходе из аппарата:

$$\omega_{\text{ПН}} := 0.1 \text{ м/с}$$

При объемном расходе:

$$V_{\text{см}} := 5.6 \text{ м}^3/\text{ч}$$

Диаметр штуцера для нефтяной фазы:

$$d_{\text{ВШ}} := \sqrt{4 \cdot \frac{V_{\text{см}}}{\pi \cdot \omega_{\text{ПН}} \cdot 3600}} = 0.141 \text{ м} \quad \text{Принимаем диаметр входа газа смеси с}$$

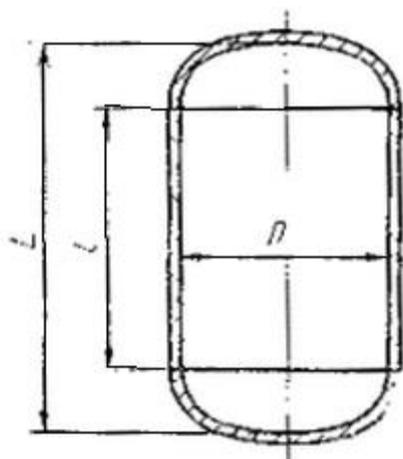
учетом возникновения нештатных ситуаций, сопровождающихся увеличением расхода равный:

$$D_{\text{Ш}} := 200 \text{ мм}$$

Размеры остальных штуцеров принимаем конструктивно, исходя из функционального назначения.

## 4. Механический расчет газосепаратора сетчатого

### 4.3.1 Расчет цилиндрической обечайки



## Рисунок № 4.1. "Корпус типа ВЭЭ

Вертикальный с эллипсоидным днищем и эллипсоидной крышкой"

### Исходные данные:

Номинальный объем аппарата:

$$V := 53.9 \text{ м}^3$$

Диаметр аппарата:

$$D := 2.6 \text{ м}$$

Высота цилиндрической обечайки[3]:

$$l := 9.75 \text{ м}$$

Материал аппарата: сталь 09Г2С

Классификация 09Г2С: Сталь конструкционная низколегированная.

Абсолютная нормальная температура:

$$T_0 := 273 \text{ К}$$

Абсолютная температура газа в сепараторе:

$$T := T_0 + 430 = 703 \text{ К}$$

Атмосферное давление:

$$P_0 := 1.013 \cdot 10^5 \text{ Па}$$

Рабочее давление в сепараторе:

$$P := 6.6 \cdot 10^6 \text{ Па}$$

Рабочая температура среды аппарата:

$$t_p := 430 \text{ градусов}$$

Допускаемое напряжение материала при рабочей температуре[18]:

$$\sigma_D := 127 \cdot 10^6 \text{ Па}$$

Допускаемое напряжение материала при температуре 20 градусов[18]:

$$\sigma_{D20} := 147 \cdot 10^6 \text{ Па}$$

Предел текучести материала при 20 градусах[18]:

$$\sigma_{t20} := 194 \cdot 10^6 \text{ Па}$$

Модуль упругости[18]:

$$E := 1.46 \cdot 10^{11} \text{ Па}$$

Плотность материала:

$$\rho_{\text{мет}} := 7850 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

Размеры днища и крышки: [3, стр. 446]

Высота отбортованной части крышки:

$$h := 0.1 \text{ м}$$

Высота крышки:

$$H_{\text{д}} := 1.2 + h = \blacksquare \text{ м}$$

Высота аппарата:

$$L := 1 + 2 \cdot H_{\text{д}} = \blacksquare \text{ м}$$

Скорость коррозии материала от действия заданной среды[2]:

$$P_{\text{кор}} := 0.0001 \frac{\text{М}}{\text{ГОД}}$$

Расчетное время эксплуатации аппарата[2]:

$$t_{\text{лет}} := 20 \text{ лет}$$

Коэффициент заполнения аппарата:

$$\chi := 0.66$$

Объем аппарата, занятый жидкостью:

$$V_{\text{ж}} := \chi \cdot V = \blacksquare \text{ м}^3$$

Плотность нефтяной эмульсий:

$$\rho_{\text{ж}} := 900 \text{ кг / м}^3$$

Тип шва: стыковой или тавровый с двухсторонним сплошным проваром, автоматический контроль 100%.

Коэффициент прочности сварных швов:

$$\phi := 1$$

Плотность воды при гидроиспытаниях

(температура 20 градусов), [3, с. 548]:

$$\rho_{\text{вод}} := 998 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

Высота свободного падения:

$$g := 9.8 \frac{\text{М}}{\text{с}}$$

Прибавки к расчетным толщинам конструктивных элементов[3]:

Прибавка для компенсации коррозии и эрозии:

$$c_1 := P_{\text{кор}} \cdot t_{\text{лет}} = \blacksquare \text{ м}$$

Прибавка для компенсации минусового допуска;

$$c_2 := 0 \text{ м}$$

Технологическая прибавка;

$$c_3 := 0 \text{ м}$$

Прибавки к расчетным толщинам конструктивных элементов:

$$c := c_1 + c_2 + c_3 = \blacksquare \text{ м}$$

**Расчет давлений, согласно [4]:**

Определить гидростатическое давление в аппарате:

Высоту гидравлического столба принимаем равной высоте аппарата.

$$H_{\text{гид}} := L$$

$$P_{\text{гид}} := g \cdot H_{\text{гид}} \cdot \rho_{\text{вод}} = \blacksquare \text{ Па}$$

**При избыточном давлении в аппарате:**

Расчетное давление:

$$P_{\text{рас}} := (P + P_{\text{гид}}) = \blacksquare \text{ Па}$$

Давление при гидроиспытаниях:

$$P_{\text{и}} := \max \left( \left( \begin{array}{c} 1.25 \cdot P_{\text{рас}} \cdot \frac{\sigma_{\text{Д20}}}{\sigma_{\text{Д}}} \\ P_{\text{рас}} + 0.3 \end{array} \right) \right) = \blacksquare \text{ Па}$$

Условное давление:

$$P_{\text{усл1}} := P_{\text{рас}} \cdot \frac{\sigma_{\text{Д20}}}{\sigma_{\text{Д}}} = \blacksquare \text{ Па}$$

Согласно ГОСТ Р 52857.2-2007[4], определяем толщины стенок обечайки, днища (крышки), проводим проверку на прочность стенок корпуса аппарата.

*Расчетная толщина стенки цилиндрической обечайки:*

$$s_{p1} := \max \left( \left( \begin{array}{c} P_{\text{рас}} \cdot \frac{D}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_{\text{Д}} - P_{\text{рас}}} \\ P_{\text{и}} \cdot \frac{D}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_{\text{Д}} - P_{\text{и}}} \end{array} \right) \right) = \blacksquare \text{ м}$$

Исполнительная толщина стеки обечайки:

$$s_{и1} := s_{p1} + c = \blacksquare \text{ м}$$

**Принимаем толщину стенки обечайки:**

$$s_1 := 0.11 \text{ м}$$

Рассчитаем максимальное давление которое может быть оказана, при эксплуатаций, или при гидроиспытаниях на корпус аппарата.

$$P_1 := \max(P_{\text{рас}}, P_{\text{и}}) = \blacksquare \text{ Па}$$

*Проверка условий применимости формул безмоментной теории:*

$$P_1 := \begin{cases} \text{"Условия применения формул выполняются"} & \text{if } \frac{s_1 - c}{D} \leq 0.1 \\ \text{"Условия применения формул НЕ выполняются"} & \text{if } \frac{s_1 - c}{D} > 0.1 \end{cases}$$

$$P_1 = \blacksquare$$

*Расчет допускаемого внутреннего избыточного давления:*

$$P_{\text{д1}} := \frac{2 \cdot \sigma_{\text{Д}} \cdot \phi \cdot (s_1 - c)}{D + (s_1 - c)} = \blacksquare \text{ Па}$$

*Проверка условия прочности стенок, цилиндрической обечайки от действия внутреннего давления:*

$$\text{Пров}_2 := \begin{cases} \text{"Условие прочности выполняется"} & \text{if } P_{\text{д1}} \geq P_1 \\ \text{"Условие прочности НЕ выполняется"} & \text{if } P_{\text{д1}} < P_1 \end{cases}$$

$$\text{Пров}_2 = \blacksquare$$

### 4.3.2 Расчет толщины стенки днища аппарата

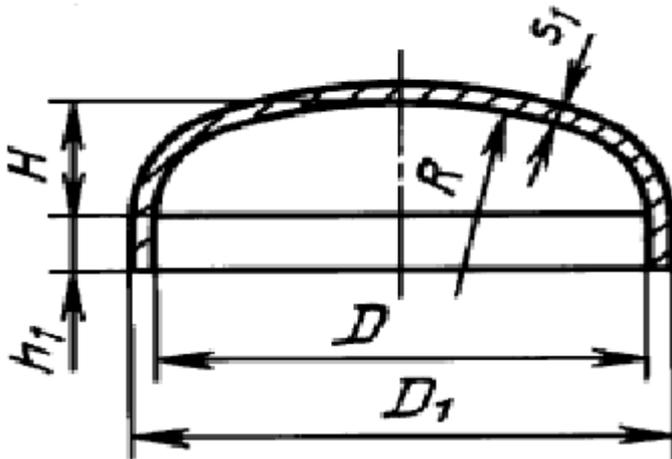


Рисунок № 4.2. "Расчетная схема эллиптического днища".

Радиус кривизны в вершине днища (для эллиптических днищ):

$$R_1 := \frac{D^2}{4 \cdot H_d} = \blacksquare \text{ м}$$

Расчет толщины стенки днища под действием внутреннего избыточного давления:

$$s_{p2} := \max \left( \left( \begin{array}{l} P_{\text{рас}} \cdot \frac{R_1}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_D - 0.5 \cdot P_{\text{рас}}} \\ P_{\text{и}} \cdot \frac{R_1}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_D - 0.5 \cdot P_{\text{и}}} \end{array} \right) \right) = \blacksquare \text{ м}$$

Исполнительная толщина стеки оболочки:

$$s_{и2} := s_{p2} + c = \blacksquare \text{ м}$$

Принимаем исполнительную толщину днища и крышки:

$$s_2 := 0.11 \text{ м}$$

Проверка условия применимости формул безмоментной теории:

$$\text{Пров}_3 := \begin{cases} \text{"Условия выполняются"} & \text{if } \left| \begin{array}{l} 0.002 \leq \frac{s_2 - c}{D} \leq 0.1 \\ 0.2 \leq \frac{H_d}{D} \leq 0.5 \end{array} \right. \\ \text{"Условия НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Пров}_3 = \blacksquare$$

Расчет допускаемого внутреннего избыточного давления:

$$P_{д2} := \frac{2 \cdot \sigma_D \cdot \phi \cdot (s_2 - c)}{R_1 + (s_2 - c)} = \blacksquare \text{ Па}$$

Проверка условия прочности стенок, эллиптического днища (крышки):

Пров<sub>4</sub> :=  $\begin{cases} \text{"Условие прочности выполняется"} & \text{if } P_{д2} \geq P_1 \\ \text{"Условие прочности НЕ выполняется"} & \text{if } P_{д2} < P_1 \end{cases}$

Пров<sub>4</sub> = ■

### 4.3.3 Подбор штуцеров

**Выбор штуцеров:** Подбираем стандартные штуцера согласно общим техническим требованиям АТК 24.218.06-90[5].

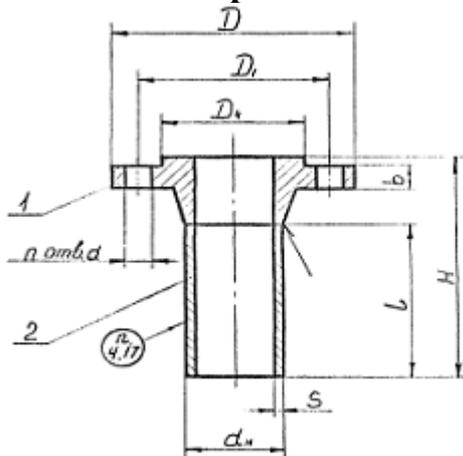


Рисунок № 4.3. "Штуцер с соединительным выступом на условное давление от 0,6 до 2,5 МПа". фланец по ГОСТ 12821-80[6]

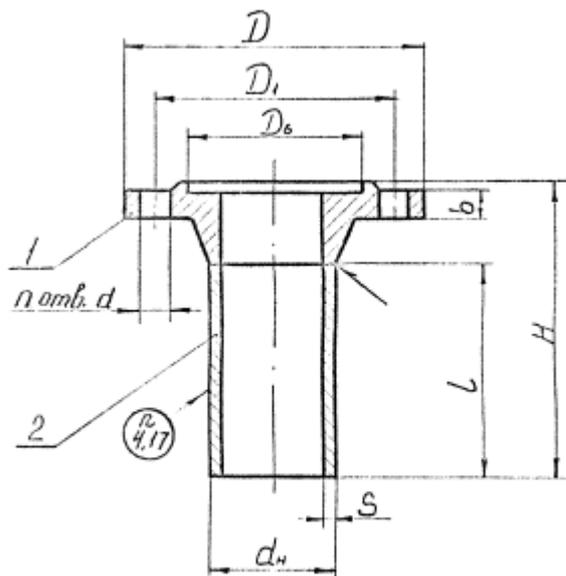


Рисунок №4.4. "Штуцер с соединительной впадиной на условное давление от 0,6 до 2,5 МПа". фланец по ГОСТ 12821-80[6]

Таблица 2.1 "Таблица штуцеров"

обозначение	Назначение	Кол.	Проход условный, D <sub>y</sub> , мм	Давление условное, P <sub>y</sub> , Па	Тип уплотнит. поверхности
А	Вход продукта	1	200	1,6	Выступ - впадина
Б	Выход газа	1	200	1,6	
В	Выход продукта	1	200	1,6	
Г	Дренаж	1	150	1,6	
Д	Для предохранительного клапана	1	150	1,6	
Е	Для термометра ртутного	1	50	4,0	
Ж	Для регулятора уровня	1	50	4,0	
И	Для сигнализаций уровня	1	50	4,0	
К	Для пропарки	1	50	4,0	
Л	Для указателя уровня	2	25	4,0	
М	Для манометра	1	25	4,0	
П	Люк - лаз	1	450	1,6	

Расчетный диаметр одиночного отверстия, не требующий дополнительного укрепления при наличии избыточной толщины стенки сосуда:

$$d_{01} := 2 \cdot \left( \frac{s_1 - c}{s_{p1}} - 0.8 \right) \cdot \sqrt{D \cdot (s_1 - c)} = \blacksquare$$

Для всех штуцеров, чей диаметр больше 92 мм, рассчитаем укрепление отверстий

#### 4.3.4 Укрепление отверстий

Штуцер вход продукта

материал несущего элемента - Сталь 09Г2С

Толщина стенки несущего элемента:

$$s_1 = \blacksquare \text{ м}$$

Внутренний диаметр штуцера:

$$D_{y1} := 0.25 \text{ м}$$

Толщина стенки штуцера:

$$s_{ш1} := 0.008 \text{ м}$$

Длинна штуцера:

$$l_1 := 0.200 \text{ м}$$

Смещение штуцера:

$$l_{ш1} := 0.6 \text{ м}$$

Угол поворота штуцера:

$$\theta_1 := 0$$

Длинна внутренней части штуцера:

$$l_3 := 0.075 \text{ м}$$

Допускаемые напряжения для материала штуцера 09Г2С, при температуре 30 градусов:

$$\sigma_{д1} := \sigma_{д} = \blacksquare \text{ Па}$$

Тип шва: стыковой или тавровый с двухсторонним сплошным проваром, автоматический контроль 100%. согласно ГОСТ Р 52857.1-2007[3]

Коэффициент прочности сварных швов:

$$\phi_1 := 0.9$$

Расчетный диаметр цилиндрической обечайки:

$$D_r := 1.6 \text{ м}$$

Расчетная толщина стенки штуцера:

$$s_{p1ш} := \max \left[ \begin{array}{l} \frac{P_{усл1} \cdot (D_{y1} + 2 \cdot c)}{2 \cdot \sigma_D \cdot \phi_1 - P_{усл1}} \\ \frac{P_{и} \cdot (D_{y1} + 2 \cdot c)}{2 \cdot \sigma_D \cdot \phi_1 - P_{и}} \end{array} \right] = \blacksquare \text{ м}$$

Исполнительная толщина стенки штуцера:

$$s_{и1ш} := s_{p1ш} + c = \blacksquare \text{ м}$$

Толщина стенки штуцера:

$$s_{ш1} := 0.005 \text{ м}$$

### **Расчет укрепления отверстия по ГОСТ Р 52857.3-2007 [7]**

Расчетный диаметр одиночного отверстия, не требующий дополнительного укрепления при наличии избыточной толщины стенки сосуда:

$$d_{01} := 2 \cdot \left( \frac{s_1 - c}{s_{p1}} - 0.8 \right) \cdot \sqrt{D_r \cdot (s_1 - c)} = \blacksquare \text{ м}$$

Проверка дальнейшего расчета укреплений отверстий:

$$\text{Пров}_{шт1} := \begin{cases} \text{"необходимо укрепление отверстия"} & \text{if } d_{01} < D_{y1} \\ \text{"укрепление отверстия не требуется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Пров}_{шт1} = \blacksquare$$

Отношения допускаемых напряжений:

-для внешней части штуцера:

$$\chi_1 := \min \left( 1, \frac{\sigma_{D1}}{\sigma_D} \right) = \blacksquare$$

для накладного кольца:

$$\chi_2 := 0$$

для внутренней части штуцера:

$$\chi_3 := \min \left( 1, \frac{\sigma_{D1}}{\sigma_D} \right) = \blacksquare$$

Условный расчетный диаметр отверстия:

$$d_{y1} := D_{y1} + 2 \cdot s_1 \cdot (1 - \chi_1) = \blacksquare \text{ м}$$

Расчетный диаметр отверстия (ось штуцера совпадает с нормалью к поверхности в центре отверстия):

$$d_{p1} := d_{y1} + 2 \cdot c = \blacksquare \text{ м}$$

Расчетная длина внешней части штуцера:

$$l_{1p} := \min \left[ l_1, 1.25 \sqrt{(D_{y1} + 2 \cdot c) \cdot (s_{ш1} - c)} \right] = \blacksquare \text{ м}$$

Толщина внутренней части штуцера:

$$s_{ш3} := s_{ш1} = \blacksquare \text{ м}$$

Расчетная длина внутренней части штуцера:

$$l_{3p} := \min \left[ l_3, 0.5 \cdot \sqrt{(D_{y1} + 2 \cdot c) \cdot (s_{ш3} - c - c)} \right] = \blacksquare \text{ м}$$

Толщина накладного кольца:

$$s_{ш2} := 0.01 \text{ м}$$

Расчетная длина накладного кольца:

$$l_{2p} := \sqrt{D_r \cdot (s_{ш2} + s_1 - c)} = \blacksquare \text{ м}$$

Ширина зоны укрепления в обечайке:

$$L_{01} := \sqrt{D_r \cdot (s_1 - c)} = \blacksquare \text{ м}$$

Расчетная ширина зоны укрепления в обечайке:

$$l_p := L_{01} = \blacksquare \text{ м}$$

Расчетный диаметр одиночного отверстия, не требующий дополнительного укрепления:

$$d_{0p} := 0.4 \cdot \sqrt{D_r \cdot (s_1 - c)} = \blacksquare \text{ м}$$

$$X := l_{1p} \cdot (s_1 - s_{ш1} - c) + l_{2p} \cdot s_{ш2} + l_{3p} \cdot (s_1 - c - c) = \blacksquare$$

Условие укрепления отверстия:

$$Us1\_uk := \begin{cases} \text{"условие выполняется"} & \text{if } X \geq 0.5 \cdot (d_{p1} - d_{0p}) \cdot s_1 \\ \text{"условие НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$Us1\_uk = \blacksquare$$

Остальные штуцера рассчитываем и укрепляем аналогичным образом.

Сводим в таблицу параметров штуцеров

Таблица. 4.2 "Параметры штуцеров"

Обоз.	Проход условный, D <sub>у</sub> , мм	d <sub>н</sub>	D	D <sub>1</sub>	D <sub>4</sub>	D <sub>6</sub>	b	d	L	H	s
А	200	219	335	295	259	260	21	22	140	200	8
Б	200	219	335	295	259	260	21	22	140	200	8
В	200	219	335	295	259	260	21	22	140	200	8
Г	150	159	280	240	203	204	19	18	140	200	6
Д	150	159	280	240	203	204	19	18	140	200	6
Е	50	57	160	125	67	88	17	18	120	169	4
Ж	50	57	160	125	67	88	17	18	120	169	4
И	50	57	160	125	67	88	17	18	120	169	4
К	50	57	160	125	67	88	17	18	120	169	4
Л	25	32	115	85	57	58	14	14	120	160	3.5
М	25	32	115	85	57	58	14	14	120	160	3.5
П	450	470	640	570	523	524	36	30	200	250	12

#### 4.3.5 Расчет фланцевых соединений

Расчет фланцевого соединения:

Исходные данные:

Диаметр штуцера

$$D_{шт} := 0.2$$

Материал для болта: Сталь 35 Х

Материал для фланца: Сталь 09Г2С

допускаемое напряжение материала при расчетной температуре для болта:

$$\sigma_{\sigma} := 230 \cdot 10^6 \text{ Па}$$

допускаемое напряжение материала при температуре 20 градусов для болта:

$$\sigma_{\sigma 20} := 230 \cdot 10^6 \text{ Па}$$

Выберем плоскую неметаллическую прокладку паронит с условным давлением до 2.5 МПа и температура в интервале от -200 до 400 С.

Материал прокладки: Паронит.

Таблица. 4.3 "Характеристики неметаллической прокладки"[8, с. 98]

Материал прокладки	Коэффициент K <sub>np</sub>	Давление обжатия прокладки, МПа		Модуль упругости E <sub>п</sub> , МПа
		Минимальное	Допустимое	
Паронит толщиной ? 1мм	2,5	Минимальное	Допустимое	2000

Толщина прокладки:

$$h_{п} := 0.002 \text{ м}$$

Диаметр болта (рекомендуемый)[8 с. 95]:

$$d_{\sigma} := 0.02 \text{ м}$$

Нормативный зазор между гайкой и обечайкой:

$$u := 0.006 \text{ м}$$

Ширина прокладки [8 с. 96]:

$$b_{\text{п}} := 0.015 \text{ м}$$

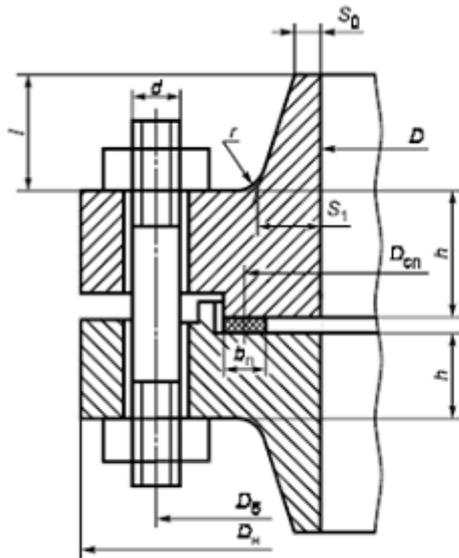


Рисунок № 4.5 "Фланцевые соединения с приварными в стык фланцами, с уплатнительной поверхностью типа выступ-впадина".

**Расчет фланцевого соединения: Расчет проводим согласно ГОСТ Р 52857.4-2007 [9]:**

Условное давление:

Рассчитаем максимальное давление которое может быть оказана, при эксплуатации, или при гидроиспытаниях на штуцер или фланец аппарата.

$$P_3 := \max(P_{\text{усл1}}, P_{\text{и}}) = \blacksquare \text{ Па}$$

Толщина цилиндрической части втулки принята:

$$s_0 := 0.02 \text{ м}$$

$$s_2 = \blacksquare \text{ м}$$

Прибавка на коррозию:

$$c_{\text{к}} := 0.002 \text{ м}$$

Эффективная ширина прокладки:

-для плоских прокладок:

при

$$b_{\text{п}} \leq 15$$

$$b_0 := b_{\text{п}} = \blacksquare \text{ м}$$

Расчетный диаметр болтовой окружности фланцев:

$$D_6 := D_{\text{ш}} + 2 \cdot (2 \cdot s_2 + d_6 + u) = \blacksquare \text{ м}$$

конструктивная добавка для размещения гаек по диаметру фланца.

$$a := 0.04 \text{ м}$$

Расчетный наружный диаметр фланцев:

$$D_{\text{н}} := D_6 + a = \blacksquare \text{ м}$$

Наружный диаметр прокладки:

$$e := 0.03 \text{ м}$$

$$D_{\text{нп}} := D_6 - e = \blacksquare \text{ м}$$

Средний диаметр прокладки:

$$D_{\text{сп}} := D_{\text{нп}} - b_0 = \blacksquare \text{ м}$$

Удельное давление обжатия прокладки:

$$q_{\text{обж}} := 20 \cdot 10^6 \text{ Па}$$

Усилие для смятия прокладки при затяжке [8, с. 98]:

$$P_{\text{обж}} := 0.5 \cdot \pi \cdot D_{\text{сп}} \cdot b_0 \cdot q_{\text{обж}} = \blacksquare \text{ Па}$$

прокладочный коэффициент [8, с. 98]:

$$k_{\text{пр}} := 2.5$$

Усилие для обеспечения герметичности фланцевого соединения :

$$R_{\text{н}} := \pi \cdot D_{\text{сп}} \cdot b_0 \cdot k_{\text{пр}} \cdot P_3 = \blacksquare \text{ Н}$$

шаг расположение болтов:

$$t_{\text{ш}} := 3.8 \cdot d_6 = \blacksquare \text{ м}$$

Количество болтов необходимых для обеспечения герметичности соединения:

$$n_6 := \pi \cdot \frac{D_6}{t_{\text{ш}}} = \blacksquare$$

примем количество болтов (принимаем кратное четырем):

$$n_6 := 16 \text{ болтов}$$

Расчетная площадь поперечного сечения болтов [8, с. 98]:

$$f_6 := 2.35 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$$

Суммарная площадь сечения болтов по внутреннему диаметру резьбы диаметра:

$$A_6 := n_6 \cdot f_6 = \blacksquare \text{ м}^2$$

Равнодействующая нагрузка от давления:

$$Q_{\text{д}} := 0.785 \cdot P_3 \cdot D_{\text{сп}}^2 = \blacksquare \text{ Н}$$

Плечи действий усилия в болтах:

-Для приваренных встык фланцев:

$$b := 0.5 \cdot (D_6 - D_{\text{сп}}) = \blacksquare \text{ м}$$

Коэффициент  $\beta_1$  определяем согласно [8, с. 95]:

$$\frac{D_{\text{ш}}}{s_0} = \blacksquare$$

$$\beta_1 := 2.1$$

Толщина конической части втулки:

$$s_{1\text{в}} := \beta_1 \cdot s_0 = \blacksquare \text{ м}$$

Уклон втулки (принимаем):

$$i := \frac{1}{3}$$

Высота втулки:

$$h_B := 0.5 \cdot \sqrt{D_{ш} \cdot (s_0 - c_k)} = \blacksquare$$

Эквивалентная толщина втулки фланца:

$$s_{эк} := s_0 \cdot \left[ 1 + \frac{h_B \cdot (\beta_1 - 1)}{h_B + 0.25 \cdot (\beta_1 + 1) \cdot \sqrt{D_{ш} \cdot s_0}} \right] = \blacksquare$$

Высота фланца:

для фланцев приваренных встык при условном давлении.

$$\lambda_\phi := 0.32$$

$$\lambda_\phi \cdot \sqrt{D_{ш} \cdot s_{эк}} = \blacksquare \text{ м}$$

$$h_\phi := 0.025 \text{ м}$$

(Взяли высоту фланца).

$$\text{Усл}_1 := \begin{cases} \text{"Условия выполняются"} & \text{if } h_\phi \geq \lambda_\phi \cdot \sqrt{D_{ш} \cdot s_{эк}} \\ \text{"Условия не выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Усл}_1 = \blacksquare$$

Плечо усилий от давления на фланец :

$$e := 0.5 \cdot (D_{сш} - D_{ш} - s_{эк}) = \blacksquare \text{ м}$$

По приложению И ГОСТа 52857.4-2007 для паронитовой прокладки:

коэффициент обжатия прокладки:

$$K_{обж} := 0.9$$

модуль продольной упругости:

$$E_{п} := 0.02 \cdot 10^{11} \text{ Па}$$

толщина прокладки:

$$h_{п} := 0.002 \text{ м}$$

Податливость прокладки:

$$y_{п} := \frac{h_{п} \cdot K_{обж}}{E_{п} \cdot \pi \cdot D_{сш} \cdot b_{п}} = \blacksquare$$

Расстояние между опорными поверхностями гаек:

$$l_{го} := 2 \cdot (h_\phi + h_{п}) = \blacksquare \text{ м}$$

Эффективная длина болта:

$$l_{б} := l_{го} + 0.28 \cdot d_{б} = \blacksquare \text{ м}$$

Модуль упругости при температуре 20 градусов:

-Для болта из стали 20ХН3А:

$$E_{б20} := 1.9 \cdot 10^{11} \text{ Па}$$

$$y_{б} := \frac{l_{б}}{E_{б20} \cdot f_{б} \cdot n_{б}} = \blacksquare$$

Параметр длинны обечайки:

$$l_0 := \sqrt{D_{\text{ш}} \cdot s_0} = \blacksquare \text{ м}$$

Отношение наружного диаметра тарелки фланца к внутреннему диаметру:

$$K := \frac{D_{\text{нп}}}{D_{\text{ш}}} = \blacksquare$$

$$\beta_T := \frac{K^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot 0.43429 \cdot \ln(K)) - 1}{(1.05 + 1.945 \cdot K^2) \cdot (K - 1)} = \blacksquare$$

$$\beta_U := \frac{K^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot 0.43429 \cdot \ln(K)) - 1}{1.36 \cdot (K^2 - 1) \cdot (K - 1)} = \blacksquare$$

$$\beta_Y := \frac{1}{K - 1} \cdot \left[ 0.69 + 5.72 \cdot \frac{K^2 \cdot (0.43429 \cdot \ln(K))}{K^2 - 1} \right] = \blacksquare$$

$$\beta_Z := \frac{(K^2 + 1)}{(K^2 - 1)} = \blacksquare$$

$$\frac{s_{1B}}{s_0} = \blacksquare$$

$$\frac{h_B}{l_0} = \blacksquare$$

по рисунку K1 и K2 согласно ГОСТ Р 52857.4-2007 определяем:

$$\beta_F := \mathbf{0.85}$$

$$\beta_V := \mathbf{0.25}$$

Вычислим коэффициент :

$$\lambda := \frac{\beta_F \cdot h_{\phi} + l_0}{\beta_T \cdot l_0} + \frac{\beta_V \cdot h_{\phi}^3}{\beta_U \cdot l_0 \cdot s_0^2} = \blacksquare$$

Модуль упругости материала фланца при температуре 20 градусов:

$$E_{20} := \mathbf{2 \cdot 10^{11}} \text{ Па}$$

Модуль упругости материала фланца при рабочей температуре:

$$E := \mathbf{2 \cdot 10^{11}} \text{ Па}$$

Модуль упругости материала болта при температуре 20 градусов:

$$E_{\sigma} := \mathbf{1.9 \cdot 10^{11}} \text{ Па}$$

Угловая податливость фланца при затяжке:

$$y_{\phi} := \frac{0.91 \cdot \beta_V}{\lambda \cdot s_0^2 \cdot l_0 \cdot E_{20}} = \blacksquare$$

Жесткость фланцевого соединения:

$$\gamma := \frac{1}{y_{\Pi} + y_{\delta} \cdot \frac{E_{\delta 20}}{E_{\delta}} + 2 \cdot b^2 \cdot y_{\phi} \cdot \frac{E_{20}}{E}} = \blacksquare$$

**Усилия возникающие от температурных деформаций**

Температурный коэффициент линейного расширения материала фланцев (09Г2С)

$$\alpha_{\phi 1} := 11.6 \cdot 10^{-6}$$

$$\alpha_{\phi 2} := 11.6 \cdot 10^{-6}$$

$$\alpha_{\phi} := 11.6 \cdot 10^{-6}$$

болтов Сталь 35Х

$$\alpha_2 := 13.4 \cdot 10^{-6}$$

Расчетная температура неизолированных фланцев:

$$t_{\phi 1} := 0.96 \cdot t_p = \blacksquare \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_{\phi 2} := 0.96 \cdot t_p = \blacksquare \text{ } ^\circ\text{C}$$

Расчетная температура болтов:

$$t_{\delta} := 0.95 \cdot t_p = \blacksquare \text{ } ^\circ\text{C}$$

Усилия возникающие от температурных деформаций:

$$Q_t := \gamma \cdot [\alpha_{\phi 1} \cdot h_{\phi} \cdot (t_{\phi 1} - 20) + \alpha_{\phi 2} \cdot h_{\phi} \cdot (t_{\phi 2} - 20) - \alpha_2 \cdot (h_{\phi} - h_{\delta}) \cdot (t_{\delta} - 20)]$$

$$Q_t = \blacksquare \text{ Н}$$

Коэффициент жесткости фланцевого соединения нагруженного внутренним давлением:

$$\alpha := 1 - \frac{y_{\Pi} - 2 \cdot y_{\phi} \cdot e \cdot b}{y_{\Pi} + y_{\delta} + 2 \cdot e \cdot y_{\phi} \cdot b} = \blacksquare$$

Угловая податливость фланца:

$$y_{\phi H} := \left(\frac{\pi}{4}\right)^3 \cdot \frac{D_{\delta}}{E_{20} \cdot D_H \cdot h_{\phi}^3} = \blacksquare$$

$$\alpha_M := y_{\delta} + 2 \cdot y_{\phi H} \cdot b \cdot \left(b + e - \frac{e^2}{D_{\text{сп}}}\right) = \blacksquare$$

Коэффициент жесткости фланцевого соединения:

$$k_{\text{ж}} := \frac{y_{\delta} + 0.5 \cdot y_{\phi} \cdot (D_{\delta} - D_{\text{ш}} - s_{\text{эк}}) \cdot (D_{\delta} - D_{\text{сп}})}{y_{\Pi} + y_{\delta} + 0.5 \cdot y_{\phi} \cdot (D_{\delta} - D_{\text{сп}})^2} = \blacksquare$$

Нагрузка действующая на фланец:

$$F := P_3 \cdot \pi \cdot \frac{D_{сп}^2}{4} = \blacksquare \text{ Н}$$

Болтовая нагрузка в условиях монтажа:

$$P_{пр} := 20 \cdot 10^6 \text{ Па}$$

Давления для прокладки

$$F_{б1} := \max(k_{ж} \cdot F + R_n, 0.5 \cdot \pi \cdot D_{сп} \cdot b_0 \cdot P_{пр}) = \blacksquare \text{ Н}$$

Болтовая нагрузка в рабочих условиях:

$$F_{б2} := F_{б1} + (1 - k_{ж}) \cdot F + Q_t = \blacksquare \text{ Н}$$

Допускаемое напряжения материала фланца.

$$\sigma_{дф20} := 196 \cdot 10^6 \text{ Па}$$

$$\sigma_{дф} := 194.5 \cdot 10^6 \text{ Па}$$

внешняя осевая сила:

$$P_{б1} := \max[\alpha \cdot (Q_d + F) + (R_n), \alpha \cdot (Q_d + F) + R_n - Q_t] = \blacksquare \text{ Н}$$

Найдем приведенную нагрузку, вызванную воздействием изгибающего момента и внешней силы:

$$Q_{FM} := F = \blacksquare \text{ Н}$$

Номинальное допускаемое напряжение для болтов:

$$\sigma_{днб} := 230 \cdot 10^6 \text{ Па}$$

Нагрузка на болты при затяжке, необходимая для обеспечения обжатия прокладки и минимального начального натяжения болтов:

$$P_{б2} := \max(P_{обж}, 0.4 \cdot \sigma_{днб} \cdot A_б) = \blacksquare \text{ Н}$$

Расчетная нагрузка на шпильки фланцевого соединения:

-при затяжке:

$$P_{мб} := \max(P_{б1}, P_{б2}) = \blacksquare \text{ Па}$$

При рабочих условиях:

$$P_{рб} := P_{мб} + (1 - \alpha) \cdot (Q_d + F) + Q_t = \blacksquare \text{ Па}$$

Расчетные напряжения в болтах при затяжке:

$$\sigma_{б1} := \frac{P_{мб}}{A_б} = \blacksquare \text{ Па}$$

В рабочих условиях

$$\sigma_{б2} := \frac{P_{рб}}{A_б} = \blacksquare \text{ Па}$$

Допустимое напряжение болтов:

$$\sigma_{бд} := \sigma_{днб} \cdot 1.2 = \blacksquare \text{ Па}$$

Условие прочности болтов при затяжке:

$$\text{Услов}_1 := \begin{cases} \text{"Условия прочности выполняются"} & \text{if } \sigma_{\text{б1}} \leq \sigma_{\text{бд}} \\ \text{"Условия прочности не выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Услов}_1 = \blacksquare$$

Условие прочности болтов в рабочих условиях:

$$\text{Услов}_2 := \begin{cases} \text{"Условия прочности выполняются"} & \text{if } \sigma_{\text{б2}} \leq \sigma_{\text{бд}} \\ \text{"Условия прочности не выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Услов}_2 = \blacksquare$$

Паронит мягкая прокладка, поэтому в соответствии с ГОСТ Р 52857.4-2007[8] проверяется условие прочности прокладки:

Расчетное удельное давление:

$$q := \frac{\max(P_{\text{мб}}, P_{\text{рб}})}{\pi \cdot D_{\text{сп}} \cdot b_{\text{п}}} = \blacksquare \text{ Па}$$

Допускаемое удельное давление определяется по приложению И:

$$q_{\text{д}} := 130 \cdot 10^6 \text{ Па}$$

$$\text{Услов}_3 := \begin{cases} \text{"Условия прочности выполняются"} & \text{if } q \leq q_{\text{д}} \\ \text{"Условия прочности не выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Услов}_3 = \blacksquare$$

**Расчет фланца на статическую прочность:**

Коэффициент учитывающий изгиб тарелки фланца между болтами:

$$C_{\text{ф}} := \max \left( 1, \sqrt{\frac{\frac{\pi \cdot D_{\text{б}}}{n_{\text{б}}}}{2 \cdot d_{\text{б}} + \frac{h_{\text{ф}} \cdot 6}{k_{\text{пр}} + 0.5}}} \right) = \blacksquare$$

Расчетный изгибающий момент действующий на фланец при затяжке:

$$M_{\text{м}} := C_{\text{ф}} \cdot P_{\text{мб}} \cdot b = \blacksquare \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Расчетный изгибающий момент, действующий на фланец в рабочих условиях:

$$M_{\text{р}} := C_{\text{ф}} \cdot \max \left[ P_{\text{рб}} \cdot b + (Q_{\text{д}} + Q_{\text{ФМ}}) \cdot e, e \cdot |Q_{\text{д}} + Q_{\text{ФМ}}| \right] = \blacksquare \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Расчетные напряжения во фланце при затяжке:

коэффициент увеличения изгибных напряжений для плоского фланца ( по приложению ГОСТ Р 52857.2-2007[4] Рисунок К.4)

$$\frac{h_{\text{в}}}{l_0} = \blacksquare$$

$$f := 1.5$$

Прибавка на коррозию:

$$c_{\text{к}} := 0.002 \text{ м}$$

Приведенный диаметр приварного встык фланца с конической втулкой:

$$D_{\text{пр}} := \begin{cases} D_{\text{ш}} & \text{if } D_{\text{ш}} \geq 20 \cdot s_{1\text{в}} \\ (D_{\text{ш}} + s_0) & \text{if } \begin{cases} f > 1 \\ D_{\text{ш}} \leq 20 \cdot s_{1\text{в}} \end{cases} \\ (D_{\text{ш}} + s_{1\text{в}}) & \text{if } \begin{cases} D_{\text{ш}} \leq 20 \cdot s_{1\text{в}} \\ f = 1 \end{cases} \end{cases} = \blacksquare \text{ м}$$

$$\sigma_{1\text{М}} := \frac{M_{\text{М}}}{\lambda \cdot (s_{1\text{в}} - c_{\text{к}})^2 \cdot D_{\text{пр}}} = \blacksquare \text{ Па}$$

$$\sigma_{0\text{М}} := \sigma_{1\text{М}}$$

Напряжение в тарелке приварного встык фланца в условиях затяжки:

-радиальное напряжение:

$$\sigma_{\text{RM}} := \frac{M_{\text{М}} \cdot (1.33 \cdot \beta_{\text{F}} \cdot h_{\text{ф}} + l_0)}{\lambda \cdot h_{\text{ф}}^2 \cdot l_0 \cdot D_{\text{ш}}} = \blacksquare \text{ Па}$$

-окружное напряжение

$$\sigma_{\text{TM}} := \frac{\beta_{\text{Y}} \cdot M_{\text{М}}}{h_{\text{ф}}^2 \cdot D_{\text{ш}}} - \beta_{\text{Z}} \cdot \sigma_{\text{RM}} = \blacksquare \text{ Па}$$

Расчетные напряжения во фланце в рабочих условиях:

Меридиональное изгибающее напряжение для плоского фланца:

$$\sigma_{1\text{Р}} := \frac{M_{\text{Р}}}{\lambda \cdot (s_{1\text{в}} - c_{\text{к}})^2 \cdot D_{\text{пр}}} = \blacksquare \text{ Па}$$

$$\sigma_{0\text{Р}} := \sigma_{1\text{Р}}$$

Окружное мембранное напряжения от действия давления во втулке приварного встык фланца:

$$\sigma_{\text{РОМО}} := \frac{Q_{\text{д}} + F}{2 \cdot (s_{1\text{в}} - c_{\text{к}}) \cdot (D_{\text{ш}} - c_{\text{к}})} = \blacksquare \text{ Па}$$

Напряжения в тарелке приварного встык фланца:

-радиальное напряжение:

$$\sigma_{\text{PR}} := \frac{M_{\text{Р}} \cdot (1.33 \cdot \beta_{\text{F}} \cdot h_{\text{ф}} + l_0)}{\lambda \cdot h_{\text{ф}}^2 \cdot l_0 \cdot D_{\text{ш}}} = \blacksquare \text{ Па}$$

-окружное напряжение:

$$\sigma_{\text{РТ}} := \frac{\beta_{\text{Y}} \cdot M_{\text{Р}}}{h_{\text{ф}}^2 \cdot D_{\text{ш}}} - \beta_{\text{Z}} \cdot \sigma_{\text{PR}} = \blacksquare \text{ Па}$$

### Условия статической прочности фланцев:

-при затяжке:

$$B := \left( \max \left( \left| \sigma_{0M} + \sigma_{RM} \right|, \left| \sigma_{0M} + \sigma_{TM} \right| \right) \right) = \blacksquare \text{ Па}$$

с учетом стесненности температурных деформаций

$$K_T := 1.3$$

$$\sigma_{\text{НОМ}} := 194.1 \cdot 10^6$$

$$\sigma_{\text{НОМ}} \cdot K_T = \blacksquare$$

$$\text{Услов}_4 := \begin{cases} \text{"Условия прочности выполняются"} & \text{if } B \leq \sigma_{\text{НОМ}} \cdot K_T \\ \text{"Условия прочности не выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Услов}_4 = \blacksquare$$

-в рабочих условиях:

$$B := \max \left( \left| \sigma_{0P} - \sigma_{POMO} + \sigma_{PR} \right|, \left| \sigma_{0P} - \sigma_{POMO} + \sigma_{PR} \right|, \left| \sigma_{0P} + \sigma_{POMO} \right| \right) = \blacksquare \text{ Па}$$

$$\text{Услов}_5 := \begin{cases} \text{"Условия прочности выполняются"} & \text{if } B \leq \sigma_{\text{НОМ}} \cdot K_T \\ \text{"Условия прочности не выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Услов}_5 = \blacksquare$$

Условие статической прочности выполняется

### Проверка углов поворота фланцев

Угол поворота приварного встык фланца в рабочих условиях:

$$\Theta := M_P \cdot y_\Phi \cdot \frac{E_{20}}{E} = \blacksquare$$

в рабочих условиях

$$K_\Theta := 1.3$$

$$\Theta_{\text{доп}} := 0.006$$

$$H := K_\Theta \cdot \Theta_{\text{доп}} = \blacksquare$$

$$\text{Услов}_6 := \begin{cases} \text{"Условия выполняются"} & \text{if } \Theta \leq H \\ \text{"Условия не выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Услов}_6 = \blacksquare$$

### Подбор стандартных фланцев: согласно ГОСТ 12821-80[6]

Внутренний диаметр штуцера:

$$D_{\text{ш}} = \blacksquare \text{ м}$$

Наружный диаметр фланца:

$$D_{\text{н}} := 0.335 \text{ м}$$

Наружный диаметр прокладки:

$$D_{\text{нп}} := 0.242 \text{ м}$$

Диаметр болтовой окружности фланцев:

$$D_6 := 0.295 \text{ м}$$

(высота фланца).

$$h_\Phi := 0.023 \text{ м}$$



*В условиях гидроиспытания:*

Плотность воды при температуре гидроиспытаний, 20 градусов:

$$\rho_{\text{вод}} := 998 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

Масса аппарата заполненного жидкостью:

$$m_{\text{ж2}} := V \cdot \rho_{\text{вод}} = \blacksquare \text{ кг}$$

Общая масса заполненного жидкостью аппарата:

$$m_{\text{ап2}} := m_{\text{ап}} + m_{\text{ж2}} = \blacksquare \text{ кг}$$

**Вес аппарата в рабочих условиях:**

$$G_{\text{ап1}} := m_{\text{ап1}} \cdot g = \blacksquare \text{ Н}$$

**Вес аппарата в условиях гидроиспытаний:**

$$G_{\text{ап2}} := m_{\text{ап2}} \cdot g = \blacksquare \text{ Н}$$

**Рассчитываем согласно ГОСТР52857.5-2007[10]:**

$$E := 1.94 \cdot 10^{11} \text{ Па}$$

Зададимся параметрами опоры:

$$d_4 := 1.6$$

диаметр опорной окружности, м

$$n := 4$$

число опорных стоек

$$s_1 := 0.012$$

исполнительная толщина днища, м

$$s_2 := 0.025$$

толщина прокладки, м

$$K := 0.025$$

расстояние от верхней точки опоры до анкерных болтов, м

$$b_{1\text{max}} := 0.28$$

максимальная ширина опоры, м

$$B := 0.17$$

ширина седловой опоры, м

Коэффициент

$$\phi_3$$

определяется по графику

$$\frac{D}{s_1 - c} = \blacksquare$$

$$\frac{10^3 \cdot \sigma_D}{E} = \blacksquare$$

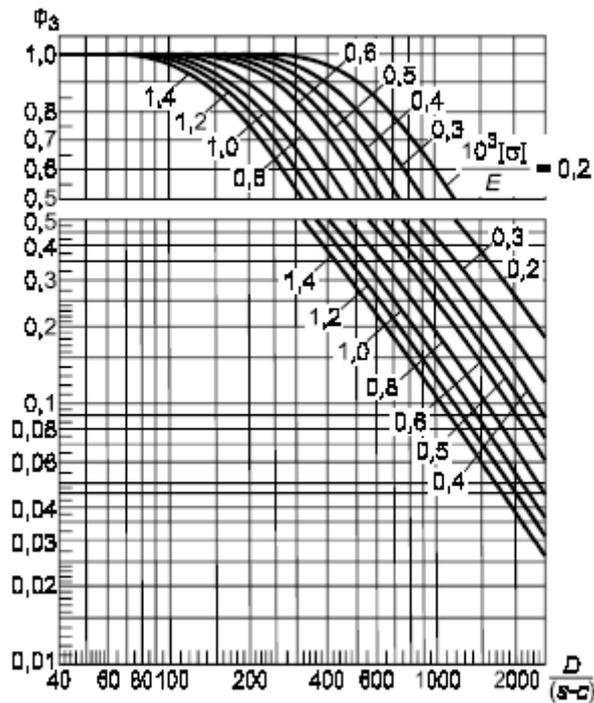


Рисунок 4.7 - график зависимости

$\phi_3$

от

$$\frac{D}{(s-c)}$$

$$\phi_3 := 0.93$$

Допускаемый изгибающий момент для рабочих условий: [8]

$$M := \frac{\pi}{4} \cdot D \cdot (D + s_1 - c) \cdot (s_1 - c) \cdot \phi_3 = \blacksquare \text{ Н} \cdot \text{м}$$

При  $n=4$ , обеспечивающих равномерное распределение нагрузки между всеми опорными стойками, вертикальное усилие на опорную стойку

$$F_1 := \frac{G_{\text{ап2}}}{4} + \frac{M}{d_4} = \blacksquare \text{ Н}$$

Действие момента  $M$  допускается только в том случае, если опорные стойки связаны между собой жесткой рамой, препятствующей взаимному перемещению стоек.

При этом, должно выполняться условие:

$$Us1\_3 := \begin{cases} \text{"Условие выполняется"} & \text{if } \frac{G_{\text{ап2}}}{4} > \frac{M}{d_4} \\ \text{"Условие НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\frac{G_{\text{ап2}}}{4} = \blacksquare$$

$$Us1\_3 = \blacksquare$$

$$\frac{M}{d_4} = \blacksquare$$

Меридиальный момент, передаваемы опорой на днище

$$M_1 := \frac{F_1 \cdot (b_{1\max} - B + K)}{2} = \blacksquare \text{ Н м}$$

**Несущая способность выпуклого днища[10, стр 24]**

Допускаемое внутреннее избыточное давление[4]:

$$P_D := \frac{2 \cdot (s_2 - c) \cdot (\sigma_D \cdot \phi)}{\frac{D}{2} + 0.5 \cdot (s_2 - c)} = \blacksquare \text{ Па}$$

$\alpha_2$

–угол наклона меридиональной касательной у опорной окружности,°

$$\sin(\alpha_2) := \frac{d_4}{2 \cdot D \cdot \sqrt{1 - \frac{3}{4} \cdot \left(\frac{d_4}{D}\right)^2}}$$

$$\frac{d_4}{2 \cdot D \cdot \sqrt{1 - \frac{3}{4} \cdot \left(\frac{d_4}{D}\right)^2}} = \blacksquare$$

$$\alpha_2 := 51.35 \text{ deg}$$

Длина линий контакта опоры с днищем

$$l := \frac{(b_{1\max} - K)}{\sin(\alpha_2)} = \blacksquare \text{ м}$$

Коэффициенты

$K_{20}$

и

$K_{22}$

$$\frac{s_1 - c}{D} = \blacksquare$$

$$\frac{1}{D} = \blacksquare$$

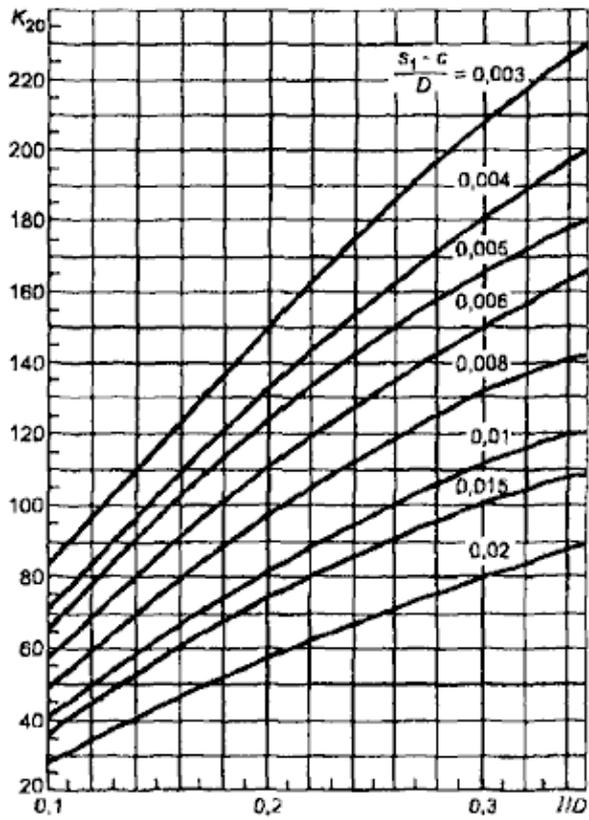


Рисунок №4.8. - График зависимости  $K_{20}$  от  $\frac{1}{D}$   
 $K_{20} := 95$

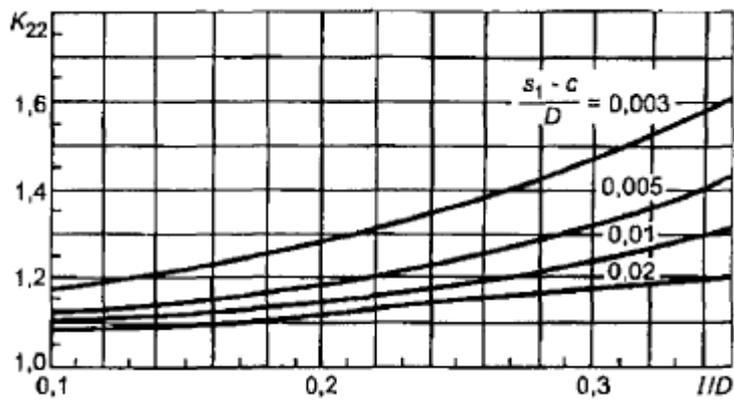


Рисунок №4.9 - График зависимости  $K_{22}$  от  $\frac{1}{D}$

$$K_{22} := 1.12$$

Допускаемое нормальное усилие

$$F_D := 0.25 \cdot K_{20} \cdot K_{22} \cdot \sigma_D \cdot (s_1 - c)^2 \cdot \left( 0.2 + \frac{d_4}{D} \right) = \blacksquare \text{ Н}$$

Коэффициенты

$$K_{21}$$

и

$$K_{23}$$

определяем по графику

$$\frac{s_1 - c}{D} = \blacksquare$$

$$\frac{1}{D} = \blacksquare$$

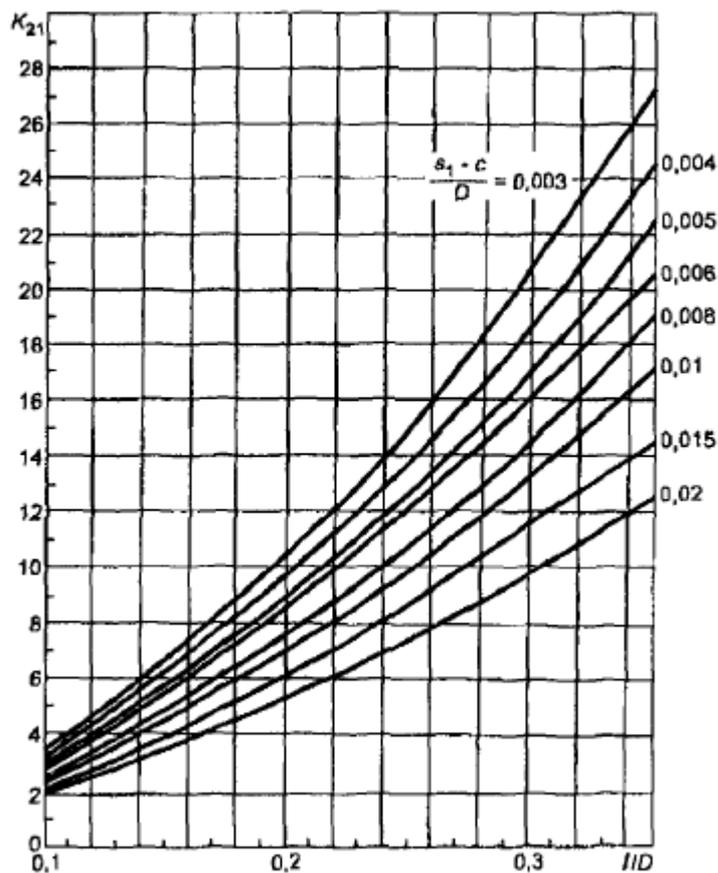


Рисунок 4.10 - График зависимости

$$K_{21}$$

от

$$\frac{1}{D}$$

$$K_{21} := 6$$

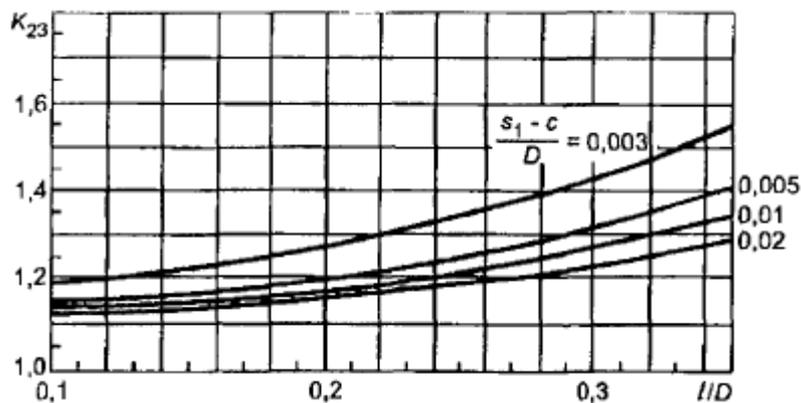


Рисунок 4.11 - График зависимости

$K_{23}$

от

$\frac{l}{D}$

$\frac{1}{D}$

$K_{23} := 1.15$

Допускаемый меридиальный момент для подкрепленного подкладным листом эллиптического днища

$$M_D := 0.25 \cdot K_{21} \cdot K_{23} \cdot \sigma_D \cdot (s_1 - c)^2 \cdot D \cdot \left( 0.2 + \frac{d_4}{D} \right) = \blacksquare \text{ Н м}$$

Несущая способность днища в месте приварки опорной лапы

$$Us15 := \begin{cases} \text{"Условие выполняется"} & \text{if } \frac{F_1 \cdot \sin(\alpha_2)}{F_D} + \frac{M_1}{M_D} + \frac{P}{P_D} \leq 1 \\ \text{"Условие не выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$Us15 = \blacksquare$

## 5. Монтаж оборудования

### 5.1. Классификация оборудования по монтажным признакам

В состав современного нефтегазоперерабатывающего завода (НПЗ и ГПЗ) входят многочисленные установки различного технологического назначения. Поэтому имеется большое разнообразие оборудования этих установок.[11]

Вместе с тем, при дальнейшем описании особенностей монтажа тех или иных аппаратов целесообразно их подразделить на классификационные

группы, которые основывались бы на общности главных монтажных приемов. Классификация оборудования только по технологическому назначению не полностью характеризует особенности оборудования с точки зрения его монтажа. При монтажных работах некоторые особенности технологического назначения аппарата часто не являются определяющими, а основываются на тех или иных частных требованиях, предъявляемых к монтажу аппарата.

Часто основные монтажные приемы, применяемые к аппаратам различного технологического назначения, идентичны, в то время как для других аппаратов одинакового технологического назначения они могут быть совершенно различными.

Монтируемое оборудование классифицируется по следующим основным признакам:

- пространственному положению оборудования;
- массовым и габаритным характеристикам оборудования;
- расположению оборудования на территории технологической установки;
- рабочим условиям;
- конструктивным и технологическим особенностям оборудования.

## 5.2. Пространственное положение оборудования

В зависимости от положения оборудования в пространстве основные аппараты и машины можно подразделить на горизонтальные, вертикальные, наклонные и пространственные конструкции.

К горизонтальному оборудованию относятся электродегидраторы, всевозможные емкости, отстойники, подогреватели с паровым пространством, теплообменники, насосы, компрессоры, кристаллизаторы, контакторы алкилирования, барабанные вакуум-фильтры и др.

Большая часть оборудования этой группы является габаритной для перевозки по железным дорогам и поэтому прибывает на монтажную площадку в полностью собранном виде. При монтаже оборудования данной группы выполняют работы по ревизии, установке в проектное положение и испытанию.

Установку на фундаменты оборудования этой группы производят главным образом с применением самоходных стреловых или тракторных кранов и редко с помощью мачт или других грузоподъемных средств.

К вертикальному оборудованию относятся емкости, колонны тарельчатые и насадочные различного технологического назначения, реакторы и регенераторы различных каталитических процессов, некоторые типы теплообменников, контакторов алкилирования, компрессоров, дымовые трубы и др.

Многие аппараты данной группы (ректификационные колонны, реакторы, регенераторы) негабаритны для перевозок по железным дорогам и их приходится доставлять на монтажную площадку в виде отдельных узлов и деталей. В связи с этим на монтажной площадке выполняют большой объем работ по сборке и сварке аппаратов.

Установку таких аппаратов осуществляют главным образом с применением мачт, порталов, гидравлических подъемников или стационарных монтажных кранов. В некоторых случаях применяют также самоходные стреловые краны при достаточной длине стрелы и

грузоподъемности. Аппараты этой группы целесообразно устанавливать в проектное положение полностью собранными и испытанными на земле или несколькими крупными блоками (при большой массе или крупных габаритах)

К наклонному оборудованию относятся различные транспортные устройства, вращающиеся цилиндрические печи (реакторы), некоторые конструкции сушилок и др.

Аппараты этой группы могут быть как габаритными, так и негабаритными для железнодорожных перевозок. При монтаже такого оборудования большой объем работ приходится выполнять по укрупнительной сборке и выверке смонтированных блоков.

Такое оборудование устанавливают с применением самоходных стреловых и башенных кранов, порталов и т. д.

К пространственному оборудованию относятся резервуары, газгольдеры, трубчатые печи, конденсаторы - холодильники погружного типа, конденсаторы воздушного охлаждения, различные металлоконструкции. Оборудование этой группы поставляют на строительную площадку в виде более или менее крупных узлов, которые затем собирают на площадке в монтажные блоки. Это оборудование целесообразно устанавливать самоходными стреловыми кранами. В некоторых случаях можно применять мачты, стрелы или другое грузоподъемное оборудование.

### **5.3. Массовые характеристики оборудования**

Масса аппарата является важной монтажной характеристикой, которая в значительной степени обуславливает выбор метода монтажа данного аппарата и рациональные пределы укрупнительной сборки при монтаже. С увеличением массы аппарата при прочих равных условиях возрастает трудоемкость монтажа.

Среди монтируемых аппаратов основную массу составляют вертикальные аппараты.

Основное число (более 70%) составляют аппараты массой до 50 т. Однако их суммарная масса занимает лишь 35 % общей массы всех аппаратов. Число тяжеловесных аппаратов массой более 100 т относительно невелико всего около 13%, а их суммарная масса составляет около 43 % общей массы всех рассмотренных аппаратов.

К наиболее тяжелым аппаратам относятся ректификационные колонны, реакторы, регенераторы, абсорберы и другие аппараты установок и цехов большой производительности, комплектуемых агрегатами большой единичной мощности.

В настоящее время имеются грузоподъемные средства, позволяющие монтировать аппараты в полностью собранном виде массой до 1000 т. Разрабатываются грузоподъемные средства для монтажа аппаратов массой 2000 т, включая специальные краны, транспортные средства и др.

С точки зрения возможности установки в проектное положение вертикальные аппараты можно разделить по массе на следующие основные группы: до 30, 30—200, 200—400 и свыше 400 т.

Вертикальные аппараты массой до 30 т в проектное положение можно устанавливать, применяя мощные самоходные стреловые краны, например СКГ-50.

Аппараты массой 30—200 т монтируют, применяя спаренные самоходные стреловые краны, например СКГ-100, трубчатые и решетчатые мачты, порталы, гидравлические подъемники и др.

Монтаж аппаратов массой 200—400 т осуществляют с помощью мачтовых подъемников, гидравлических подъемников с использованием централизованной системы контроля и управления подъемом.

Подъем аппаратов массой более 400 т производят с помощью специальных мачтовых подъемников. Монтаж таких аппаратов наиболее эффективно осуществляется, когда имеется комплекс механизмов, транспортных и грузоподъемных средств, обеспечивающих все этапы монтажных и транспортных работ.

#### **5.4. Габаритные характеристики оборудования**

Габаритные размеры оборудования, т. е. длина, ширина и высота или диаметр и высота, оказывают существенное влияние на состояние его поставки и на выбор метода монтажа.

Оборудование можно разделить на следующие группы:

- 1) габаритное, принимаемое к перевозке по железной дороге без ограничений, и определенной степени негабаритности, принимаемое к перевозке в собранном виде с ограничениями;
- 2) негабаритное для железнодорожных перевозок, т. е. принимаемое к перевозке по железной дороге отдельными блоками и деталями, но габаритное для транспортировки в собранном виде по шоссейным или водным путям;
- 3) абсолютно негабаритное для перевозки в полностью собранном виде любым видом транспорта.

В группу оборудования, габаритного для железнодорожных перевозок, входят многие горизонтальные и вертикальные аппараты, насосы, компрессоры, фильтры и др. Эта группа наиболее многочисленна и включает основное монтируемое оборудование. Такое оборудование поставляют на монтажную площадку в полностью собранном виде. На монтажной площадке выполняют работы по установке оборудования в проектное положение и его испытанию. В отдельных случаях выполняют ревизию оборудования.

Оборудование, негабаритное для железнодорожных перевозок, включает различные ректификационные колонны, реакторы, регенераторы, дымовые трубы, трубчатые печи, конденсаторы-холодильники и др. Аппараты этой группы доставляют на монтажную площадку в виде крупных блоков или полностью разобранными. В связи с этим на монтажной площадке приходится выполнять большой объем работ по сборке и сварке.

В некоторых случаях негабаритные для железнодорожных перевозок аппараты целесообразно перевозить по шоссейным дорогам или водным

путем. Эти возможности необходимо всегда оценивать, прежде чем решать вопрос о степени готовности аппарата при поставке с машиностроительного завода.

Абсолютно негабаритные аппараты (реакторы и регенераторы каталитического крекинга в кипящем слое, вакуумные колонны установок АВТ большой мощности, камеры коксования, пространственные металлоконструкции, резервуары и др.) доставляют на монтажную площадку в виде отдельных блоков и деталей. Таким образом, для аппаратов этой группы приходится выполнять значительный объем сборочных и сварочных работ, связанных с дополнительным изготовлением аппаратов непосредственно на монтажной площадке.

Степень укрупнительной сборки аппарата на машиностроительном заводе определяется также географическим положением места строительства, наличием соответствующих грузоподъемных и транспортных средств, состоянием шоссейных дорог и водных путей и т. п.

### **5.5. Расположение оборудования на территории технологической установки**

По расположению на территории технологической установки можно выделить следующие группы оборудования:

- 1) устанавливаемое на уровне земли или на невысоких фундаментах вне помещений;
- 2) монтируемое на высоких фундаментах, постаментах или металлоконструкциях вне помещений;
- 3) устанавливаемое под перекрытиями зданий или под постаментами.

Монтаж оборудования первой группы наиболее простой. В зависимости от вида оборудования и особенностей монтажной площадки можно применять различные грузоподъемные средства.

Аппараты второй группы устанавливают с помощью мачт, порталов, самоходных стреловых или стационарных монтажных кранов.

Монтаж аппаратов и машин, устанавливаемых внутри зданий или под постаментами, более сложен вследствие стесненности монтажной территории и необходимости в большинстве случаев применять несколько грузоподъемных устройств (при подъеме на необходимую высоту, при горизонтальных перемещениях под перекрытиями и при установке на фундамент).

## **5.6 Описание способа монтажа и расчет монтажного оборудования**

Монтаж нефтегазосепаратора производится в полностью собранном виде на открытой площадке ЦППН. Доставка аппарата производится железнодорожным транспортом, а к месту монтажа – на автотранспорте.

Вес полностью собранного аппарата . НГС представляет собой цилиндрический горизонтальный аппарат длиной 13000 мм и диаметром 3000 мм. Подъем и установка фундаментных блоков осуществляется с помощью автокрана.

Аппарат устанавливается на заранее подготовленный фундамент высотой 800 мм. Строповка осуществляется методом обхвата аппарата стропами. При монтаже фундамента в нём устанавливаются фундаментные болты. НГС устанавливается на три седлообразные опоры. Горизонтальность и вертикальность фундамента выверяется уровнем и отвесом соответственно. Установленный на фундамент аппарат так же проверяется на горизонтальность и вертикальность.

### **5.6.1. Расчет и подбор траверсы**

Подобрать и рассчитать сечение балки траверсы, работающей на сжатие для подъема НГС. Выбираем однобалочную траверсу.

Масса поднимаемого аппарата:

$$G_0 := 13.3 \text{ т}$$

Определяем натяжение в каждой канатной подвеске:

угол наклона тяги к вертикали:

$$\alpha := 45^\circ$$

или

$$\alpha := 0.785 \text{ радиан}$$

$$N := \frac{10 \cdot G_0}{2 \cdot \cos(\alpha)}$$

$$N = 94.008 \text{ кН}$$

Разрывное усилие:

коэффициент запаса прочности [12, с. 26]:

$$k_3 := 6$$

$$R := N \cdot k_3$$

$$R = 564.047 \text{ кН}$$

По разрывному усилию подбираем стальной канат типа ЛК-Р конструкций 6х36(1+6+6/6)+1 о.с.(ГОСТ 2688-80) со следующими техническими характеристиками[13, с 283]:

временное сопротивление разрыва: 1764 МПа

разрывное усилие: 588 кН

диаметр каната: 33

масса 1000 м каната: 4155 кг

Определяем сжимающие усилие в траверсе:

коэффициент перегрузки [13, с. 281]:

$$k_{\Pi} := 1.1$$

коэффициент динамичности [13, с. 281]:

$$k_{\text{д}} := 1.1$$

$$N_1 := \frac{10 \cdot G_0 \cdot k_{\Pi} \cdot k_{\text{д}} \cdot \tan(\alpha)}{2}$$

$$N_1 = 80.401 \text{ кН}$$

Для изготовления траверсы выбираем стальную трубу.

Находим требуемую площадь поперечного сечения трубы:

ориентировочный коэффициент продольного изгиба [13, с. 310]:

$$\phi_0 := 0.4$$

коэффициент условия работы [13, с. 310]:

$$m := 0.85$$

расчетное сопротивление [13, с. 308]:

$$R := 210 \text{ МПа}$$

$$F_T := \frac{N_1}{\phi_0 \cdot m \cdot 0.1 \cdot R}$$

$$F_T = 11.261 \text{ см}^2$$

По площади поперечного сечения подбираем трубу ГОСТ 8732 - 78 со следующими характеристиками [13, с. 290]:

наружный диаметр, мм - 102;

внутренний диаметр, мм - 94;

толщина стенки, мм - 4;

площадь сечения, см<sup>2</sup> - 12,3;

момент инерций, см<sup>4</sup> - 148;

момент сопротивления, см<sup>3</sup> - 3,47

радиус инерции, см - 3,47;

масса 1 м трубы, 9,67;

Примем длину траверсы:

$L := 600$  см

коэффициент приведения расчетной трубы [13, с.308]:

$\mu := 1$

Расчетная длина траверсы:

$L_p := L \cdot \mu$

$L_p = 600$  см

Определяем гибкость траверсы:

предельная гибкость [13, с. 313]:

$\lambda_{\text{п}} := 180$

радиус инерции:

$r := 3.47$  см

условия гибкости:

$\lambda \leq \lambda_{\text{п}}$

$\lambda := \frac{L_p}{r}$

$\lambda = 172.911$

Определив условия гибкости, определяем точное значение коэффициента продольного изгиба [13, с.310]:

$\phi_0 := 0.251$

Определяем условия устойчивости:

площадь сечения трубы:

$F_T := 12.3$  см<sup>2</sup>

$\frac{N}{F_T \cdot \phi_0} = 30.45$

$m \cdot R = 178.5$

Усл :=  $\begin{cases} \text{"Условия устойчивости выполняется"} & \text{if } \frac{N}{F_T \cdot \phi_0} \leq m \cdot R \\ \text{"Условия устойчивости НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$

Усл = "Условия устойчивости выполняется" ■

Масса траверсы:

$G_{\text{тр}} := 6 \cdot 9.67 + 6 \cdot 4.155 = 82.95$

### 5.6.2. Расчет и подбор полиспаста

Расчет проводим согласно с [12, с.10]

Усилие, действующие на подвижный блок полиспаста:

$$P_{\Pi} := 10 \cdot G_0$$

$$P_{\Pi} = 133 \text{ кН}$$

Усилие, действующие на неподвижный блок послпаста:

$$P_{\text{H}} := 1.1 \cdot P_{\Pi}$$

$$P_{\text{H}} = 146.3 \text{ кН}$$

Подбираем два блока по наибольшему усилию со следующими характеристиками:

тип Б10-300;

грузоподъёмность, т - 15;

количество ролисков 1;

диаметр роликов, мм - 400;

диаметр каната (максимальный), мм - 30,5;

масса блока: 112 кг

Общее количество рликов в полиспасте :

$$n := 2$$

Значение коэффициентов полезного действия полиспаста с учетом одного отводного ролика установленного на подшипниках качения:

$$\eta := 0.94$$

Рассчитываем усилие в сбегающей ветви:

$$S_{\Pi} := \frac{P_{\Pi}}{n \cdot \eta}$$

$$S_{\Pi} = 70.745 \text{ кН}$$

Разрывное усилие в сбегающей ветви полиспаста:

коэффициент запаса прочности примем:

$$k_3 := 5$$

$$R_{\text{K}} := S_{\Pi} \cdot k_3$$

$$R_{\text{K}} = 353.723 \text{ кН}$$

По разрывному усилию подбираем канат типа ЛК-РО конструкций 6х36(1+7+7/7+14)+1 о.с. (ГОСТ 7668-80) со следующими характеристиками [12, с. 27]:

временное сопротивление разрыва: 1960 МПа

разрывное усилие: 383 кН

диаметр каната: 25.5 мм

масса 1000 м каната: 2495 кг

Длина каната для оснастки полиспаста:

высота подъема аппарата:

$$h := 10 \text{ м}$$

диаметр роликов в блоке:

$$d_p := 0.4 \text{ м}$$

длина сбегающей ветви от ролика блока до барабана:

$$l_1 := 25 \text{ м}$$

расчетный запас длины каната:

$$l_2 := 10 \text{ м}$$

$$L := n \cdot (h + \pi \cdot d_p) + l_1 + l_2$$

$$L = 57.513 \text{ м}$$

Масса каната:

$$G_k := 2495 \cdot \frac{L}{1000} = 143.496 \text{ кг}$$

Масса обоих блоков:

$$G_b := 2 \cdot 112 = 224 \text{ кг}$$

Находим суммарную массу полиспаста:

$$G_{\Pi} := G_k + G_b + G_{TF}$$

$$G_{\Pi} = 450.446 \text{ кг}$$

или

$$G_{\Pi} := 0.383 \text{ т}$$

Определяем усилие на канат, закрепляющий неподвижный блок полиспаста:

$$P_b := 10 \cdot G_0 + 10 \cdot G_{\Pi} + S_{\Pi}$$

$$P_b = 207.575 \text{ кН}$$

Приняв канат для крепления верхнего блока полиспаста из 8 ветвей и определив коэффициент запаса прочности, как для стропа, подсчитываем разрывное усилие в каждой ветви каната:

$$k_3 = 5$$

$$R_k := P_b \cdot \frac{k_3}{8}$$

$$R_k = 129.734 \text{ кН}$$

По разрывному усилию подбираем канат типа ЛК-РО конструкций 6х36(1+7+7/7+14)+1 о.с. (ГОСТ 7668-80) со следующими характеристиками [12, с. 27]:

временное сопротивление разрыва: 1568 МПа

разрывное усилие: 135,5 кН

диаметр каната: 16,5

масса 1000 м каната: 1045 кг

$$S_{\Pi} = 70.745$$

По усилию в сбегающей ветви полиспаста подбираем электролебедку типа 114-ТЯ с тяговым усилием 75 кН и канатоемкостью 185 м

### 5.6.3. Расчет и подбор канатных строп

Разрывное усилие, приложенное к стропу без учета коэффициента перегрузки и динамичности:

ускорение свободного падения:

$$g := 10 \text{ м/с}^2$$

$$P := g \cdot G_0$$

$$P = 133 \text{ кН}$$

Натяжение в одном канатном витке стропа:

количество ветвей стропа:

$$m := 4$$

число канатных витков в сечении одной ветви стропа:

$$n := 7$$

угол между ветвью стропа и направляющим усилием:

$$\alpha := 20^\circ$$

или

$$\alpha := 0.349 \text{ радиан}$$

$$S := \frac{P}{m \cdot n \cdot \cos(\alpha)}$$

$$S = 5.055 \text{ кН}$$

Разрывное усилие в одном канатном витке стропа:

коэффициент запаса прочности [13, с. 26]:

$$k_3 := 6$$

$$R_k := S \cdot k_3$$

$$R_k = 30.328 \text{ кН}$$

По разрывному усилию подбираем стальной канат типа ЛК-Р конструкций 6х36(1+6+6/6)+1 о.с.(ГОСТ 2688-80) со следующими техническими характеристиками[11, с 283]:

временное сопротивление разрыва: 1960 МПа

разрывное усилие: 75,2 кН

диаметр каната: 11,0

масса 1000 м каната: 462 кг

$$d := 0.011$$

Расчетный диаметр поперечного сечения ветви стропа[13, с. 55]:

$$d_c := 3 \cdot d$$

$$d_c = 0.033 \text{ м}$$

Минимальный диаметр захватного устройства:

коэффициент соотношения диаметров захватного устройства и поперечного сечения ветви стропа[13, с. 56]:

$$k_c := 4$$

$$D_s := d_c \cdot k_c$$

$$D_s = 0.132 \text{ мм}$$

Расчитываем длину каната для изготовления витого стропа:

шаг свивки стропа[13, с. 56]:

$$t := 30 \cdot d$$

$$L := 2.2 \cdot 1.5 \cdot n + 2 \cdot t$$

$$L = 23.76 \text{ м}$$

#### 5.6.4. Подбор монтажного крана

Выбираем кран КС - 6471 автомобильного типа, со следующими характеристиками:

Длина стрелы: 15 м.

грузоподъемность при вылете стрелы, т.: наибольшая 28  
наименьшая 5,8

вылет стрелы, м.: наибольший 11,5  
наименьший 3,5

высота подъема, м.: наибольшая 14  
наименьшая 8

## 6. Финансовый менеджмент.

Данный раздел содержит оценку экономической целесообразности принятых в проекте решений и определение ожидаемой экономической эффективности от применения, разработанного в проекте оборудования. Определен размер инвестиций, требуемых для реализации проекта. На основе этих данных вычисляется себестоимость продукции. Составлен план доходов и расходов, с помощью которого проводится оценка эффективности проекта по таким показателям, как чистый дисконтированный доход, индекс доходности, внутренняя норма доходности, срок окупаемости. Эффективность проекта подтверждена и отображена графически.

Требуемые производственные мощности для непрерывного производства:

$$M = P_{\text{час}} T_{\text{эфф}} n,$$

где

$P_{\text{час}}$  – Часовая производительность ‘нефтегазосепаратора’ (291 тонн)

$n$  – Количество однотипного оборудования (1 шт.)

$T_{\text{эфф}}$  – Эффективное время оборудования

$$T_{\text{эфф}} = T_n - T_{\text{ппр}} - T_{\text{то}}, \text{ где}$$

$T_n$  – номинальный фонд работы оборудования (8760 ч.)

$T_{\text{ппр}}$  – время простоя в ремонтах за расчетный период (48 ч)

$T_{\text{то}}$  – время технологических остановок (-.)

$$T_{\text{эфф}} = 8760 - 48 = 8712 \text{ ч}$$

$$M = 291 * 8712 = 2535192 \text{ т/год}$$

Определение реального выпуска продукции по инвестиционным периодам:

$$N_{\text{год}} = K_{\text{им}} * M, \text{ где}$$

$K_{\text{им}}$  – коэффициент использования мощности (0,5; 0,75; 1)

График планово-предупредительных работ (ППР) с указанием времени работы между ремонтами и временем простоя в ремонте

Таблица 6.1

График ППР

Время проведения ППР (номер месяца)	4	10
Время простоя в ремонте, час	24	24

Таблица 6.2

Определение годового объема выпуска продукции

Наименование показателя	Величина показателя по годам		
	1-ый год	2-ой год	3-ий год
1. Этапы загрузки мощности, %	50	75	100
2. Объем производства тонн/год	1267596	1901394	2535192
3. Цена за единицу продукции, руб./тонна	3000	3000	3000
4. Объем продаж, тыс. руб.	2822688	4234032	5645376

Определение потребности в инвестициях

Необходимо прежде всего построить производственные здания:  
операторные, АБК, склады, насосные

Необходимо рассчитать стоимость каждого из зданий (таблица 6.3) и  
далее привести окончательную сумму затрат в таблицу 6.4:

Таблица 6.3

## Затраты на строительство производственных зданий

Здания	$C_{1м^3}$ , руб.	$V_{зд,м^3}$	$C_{от}$ , руб.	$C_{вен}$ , руб.	$C_{вод}$ , руб.	$C_{кан}$ , руб.	$C_{осв}$ , руб.
Операторная	450	1100	3400	11000	3100	600	600
Насосная	150	300	1000	11000	1500	300	850
Электро- щитовая	250	200	1000	11000	3000	0	700
Склад	200	530	1500	10000	3000	0	600
АБК	400	1000	4000	10000	3000	700	1400

На основании значений выше приведём окончательную сумму в таблицу 6.4:

Таблица 6.4

## Расчёт потребности в инвестициях

Наименование объекта	Кол-во	Общая стоимость, руб.
1. Строительство производственных помещений, $м^2$	5	2358500
2. Приобретение оборудования и других основных фондов	1354	38044000
3. Расходы на монтаж и наладку оборудования	542	29000000
4. Расходы на оборотные средства	Первый год за 2 месяца	2380183178
5. Организационные расходы	-	3572300
6. Приобретение объектов интеллектуальной	9	10000000

собственности (патенты, технология, катализаторы)		
Всего инвестиций, руб.	2463157978	

Определим потребность в основных фондах и приведём их стоимость согласно таблице 6.4:

Таблица 6.5

Расчёт потребности в основных фондах

Основные фонды	1-ый год		2-ой год		3-ий год	
	Кол-во единиц	Общая стоимость, руб.	Общая потребность	Прирост основных фондов, руб.	Общая потребность	Прирост основных фондов, руб.
1. Здания, сооружения производственного назначения	5	2358500	5	Без изменений	5	Без изменений
2. Передаточные устройства (технологические трубопроводы и кабельные разводки)	165	14000000	165	Без изменений	165	Без изменений
3. Машины и оборудование 3.1. Компрессорное оборудование 3.2. Насосное оборудование 3.3. Технологическая печь 3.4. Реакторы гидроочистки 3.5. Теплообменное и холодильное оборудование 3.6. АВО 3.7. Сепараторы	550	55000000	600	63000000	700	7000000

3.8. Колонна стабилизации						
3.9. КИП						
3.10. Монтаж фундаментов технологического оборудования						
3.11. Антикоррозионные работы и футеровка						
3.12. Монтаж технологического оборудования						
3.13. Вспомогательное оборудование, запорная арматура и сопутствующие устройства						
4. Служебный транспорт	20	8000000	20	Без изменений	20	Без изменений
5. Инструмент со сроком службы более 1 года	300	790000	300	790000	300	790000
6. Производственный инвентарь и принадлежности	500	2000000	650	3000000	800	3400000
7. Хозяйственный инвентарь	120	1100000	120	Без изменений	120	Без изменений
8. Прочие	70	110000	90	135000	90	Без изменений
Итого	1735	83358500	1955	66925000	2205	74190000

Планирование себестоимости продукции

Таблица 6.6

Баланс эффективного времени  
одного среднесписочного работника (оператор, слесарь)

№№ п/п	Показатели	Дни	Часы
1.	Календарный фонд рабочего времени	365	8760
2.	Нерабочие дни <ul style="list-style-type: none"> <li>• выходные</li> </ul>	182	4368
3.	Номинальный фонд рабочего времени	183	4392
4.	Планируемые невыходы <ul style="list-style-type: none"> <li>• очередные и дополнительные отпуска</li> <li>• невыходы по болезни</li> <li>• отпуск в связи с учёбой без отрыва от производства</li> </ul>	48 14 28	1152 336 672
5.	Эффективный фонд рабочего времени	93	2232

Таблица 6.7

Баланс эффективного времени  
одного среднесписочного работника (ИТР, МОП, служащие)

№№ п/п	Показатели	Дни	Часы
1.	Календарный фонд рабочего времени	365	8760
2.	Нерабочие дни <ul style="list-style-type: none"> <li>• выходные</li> <li>• праздничные</li> </ul>	102 14	2448 336
3.	Номинальный фонд рабочего времени	249	5976
4.	Планируемые невыходы <ul style="list-style-type: none"> <li>• очередные и дополнительные отпуска</li> <li>• невыходы по болезни</li> <li>• декретные отпуск</li> </ul>	48 14 140	1152 336 3360
5.	Эффективный фонд рабочего времени	47	1128

Таблица 6.8

## Расчет численности персонала

Категория персонала	Норма об-ния, $N_{шт.}$	Число смен в сутки, $S$	Число единиц обор-ния, $n$	Явочная чис-ть, $N_{яв}$	Эффект. время рабочего, $T_{эфф}$ , час.	Коэф-т перехода, $K_{пер}$	Списочна я чис-ть, $N_{сп} = N_{яв} * K_{пер}$
Основные рабочие	0,75	2	10	6	2232	1,89	12
ИТР	0,2			1			2
Служащие	0,1			1			2
МОП	0,031			1			2
Всего				9			18

Расчет годового фонда заработной платы цехового персонала определяется с учетом тарифной ставки соответствующего разряда рабочего:

Таблица 6.9

## Годовой фонд заработной платы основных рабочих

Разряд рабочего	4	5	6
$T_{ст}$	45	60	75
Количество рабочих	6	4	2
$Z_{ТАР}$	602640	535680	334800
$D_{ПРЕМ}$	180792	160704	100440
$D_{НВ}$	49140	65520	81900
$D_{ПР}$	90720	80640	50400
$D_{ФМ}$	18079,2	16070,4	10044
$D_{БР}$	19000	19000	19000
$Z_{осн}$	1412056,8	1287921,6	894876
$Z_{доп}$	728803,5	664733,7	461871,4
<b>Сумма <math>Z_{осн}</math> и <math>Z_{доп}</math></b>	<b>2140860,3</b>	<b>1952655,329</b>	<b>1356747,4</b>
Районный коэффициент	1,5	1,5	1,5
<b>Начисления на зарплату</b>	<b>642258,0929</b>	<b>585796,5987</b>	<b>407024,2452</b>
Общая сумма начислений	7085342,0		

Таблица 6.10

Расчет амортизационных отчислений и остаточной стоимости  
основных фондов

№№ п/п	Наименование основных фондов	Норма аморти- зации, %	1-ый год		2-ой год		3-й год	
			Соф, тыс.руб	АО <sub>1</sub> , тыс.руб	Сост, тыс.руб	АО <sub>2</sub> , тыс.руб.	Сост, тыс.руб	АО <sub>3</sub> , тыс.руб
1.	Здания, сооружения производственного назначения	2	2358,5	47,17	2311,3	47,17	2264,16	47,17
2.	Передаточные устройства (технологические трубопроводы и кабельные разводки)	15	14000	2100	11900	2100	9800	2100
3.	Машины и оборудование (компрессорное оборудование, насосное оборудование, технологическая печь, реакторы гидроочистки, теплообменное и холодильное оборудование, АВО, сепараторы, колонна стабилизации, КИП, монтаж фундаментов технологического оборудования, антикоррозионные работы и футеровка, монтаж технологического оборудования, вспомогательное оборудование, запорная арматура и сопутствующие устройства)	10	55000	5500	49500	5500	44000	5500
4.	Служебный транспорт	12	8000	960	7400	960	6440	960

5.	Инструмент сроком службы более 1 года	12	790	94,8	695,2	94,8	600,4	94,8
6.	Производственный инвентарь и принадлежности	13	2000	260	1740	260	1480	260
7.	Хозяйственный инвентарь	12	1100	132	968	132	836	132
8.	Прочее	5	110	5,5	104,5	5,5	99	5,5
	Итого		83358,5	9099,47	74619	9099,47	65519,56	9099,47

Таблица 6.11

Потребность в персонале и заработной плате

Наименование категорий работников	1-ый год				2-ой год		3-ий год	
	Потребность, чел.	Средне годовая зарплата руб.	Годовые затраты на зарплату руб.	Начисления на зарплату, руб.	Годовые затраты на зарплату, руб.	Начисления на зарплату, руб.	Годовые затраты на зарплату, руб.	Начисления на зарплату, руб.
Основные рабочие	12	96528,4	2895852,5	1317145,8	2895852,5	1317145,8	2895852,5	1317145,8
ИТР	2	142592,6	1283333,3	385000	1283333,3	385000	1283333,3	385000
Служащие	2	452000	904000	271200	904000	271200	904000	271200
МОП	2	165300	165300	50150	165300	50150	165300	50150
Итого	18	617300	1069300	706350	1069300	706350	1069300	706350

На основании табличных данных, приведённых в настоящем разделе составляем калькуляцию себестоимости нефти по годам (на 3 года):

Расчет затрат на отопление помещений, вентиляцию и на освещение

Затраты на отопление помещения определяются следующим образом:

$Z_{ПАР} = (a * T * B) * C_T$ , руб., где

a – количество тепла на 1 м<sup>3</sup> помещения, Гкал/ м<sup>3</sup>;

B – объем отапливаемого помещения, м<sup>3</sup>;

T – продолжительность отапливаемого сезона в Сибири;

C<sub>T</sub> - цена 1 Гкал тепла, руб.

$Z_{ПАР} = (0,05 * 9 \text{ мес.} * 1072) * 130 = 62712 \text{ руб.}$

Калькуляция себестоимости продукции - 1 год

N<sub>год</sub> = 1267596 тонн

Таблица 6.12

№№ п/п	Наименование статей расхода	Ед. изм.	Цена за ед., руб.	Расходы в нат.ед.	Затраты, тыс.руб.		Прим. .
				На Nгод	На 1 тонну	На Nгод	
1	Сырье и основные материалы (исх. Фр.ДТ, катализаторы)	тонны	1500	1267596	2,64000	5019680,1 6	Табл. 12
2	Энергия всех видов (э/э, вода, пар, сжатый воздух и т.д.) на технологические цели	кВт*ч	4,8	90750000	0,48000	435600	Табл. 12
3	Заработная плата основных рабочих	руб.			0,00559	7085,34	Табл. 16
4	Социальный налог	руб.			0,00168	2125,60	30% от ст.3
5.1.	Амортизация активной части основных фондов (АЧОФ)	руб.			0,00703	8914,80	

5.2.	Затраты на ремонт АЧОФ	руб.			0,00329	4167,93	5%
5.3.	Единый социальный налог	руб.			0,00099	1250,38	30% от ст.5.2 .
6	<b><u>Цеховые расходы</u></b>	руб.					
6.1.	Амортизация пассивной части основных фондов (ПЧОФ)	руб.			0,00015	184,67	
6.2.	Заработная плата ИТР, служащих, МОП	руб.			0,00101	1283,00	
6.3.	Социальный налог	руб.			0,00030	384,90	30 % от ст.6.2 .
6.4.	Охрана труда и техника безопасности	руб.			0,00079	1004,20	12 % от ЗП всех рабоч их
6.5.	Вода на бытовые и хозяйственные нужды	руб.			0,00020	250,00	
6.6.	Отопление помещений	руб.			0,00005	62,71	
6.7.	Освещение помещений	руб.			0,00008	105,40	
7	Общезаводские (общепроизводственные) расходы	руб.			0,00197	2500,00	29% от Себ.ц ех.
Полная себестоимость, в т.ч.					4,326772	5484599,09	4190 867,0 9
Условно-переменные затраты					4,303643	5455280,16	4161 548,1 6
Условно-постоянные затраты					0,023130	29318,93	2931 8,93

Калькуляция себестоимости продукции - 2 год

N<sub>год</sub> = 1901394 тонн

Таблица 6.13

№№ п/п	Наименование статей расхода	Ед. изм.	Цена за ед., руб.	Расходы в нат.ед.	Затраты, тыс.руб.		Прим .
				На Nгод	На 1 тонну	На Nгод	
1	Сырье и основные материалы (исх. Фр.ДТ, катализаторы)	тонны	1500	<b>1901394</b>	2,640000	7529520,24	Табл. 12
2	Энергия всех видов (э/э, вода, пар, сжатый воздух и т.д.) на технологические цели	кВт*ч	4,8	90750000	0,480000	435600	Табл. 12
3	Заработная плата основных рабочих	руб.			0,003726	7085,34	Табл. 16
4	Социальный налог	руб.			0,001118	2125,60	30% от ст.3
5.1.	Амортизация активной части основных фондов (АЧОФ)	руб.			0,004689	8914,80	
5.2.	Затраты на ремонт АЧОФ	руб.			0,002192	4167,93	5%
5.3.	Единый социальный налог	руб.			0,000658	1250,38	30% от ст.5.2
6	<b><u>Цеховые расходы</u></b>	руб.			0,000000		
6.1.	Амортизация пассивной части основных фондов (ПЧОФ)	руб.			0,000097	184,67	
6.2.	Заработная плата ИТР, служащих, МОП	руб.			0,000675	1283,00	
6.3.	Социальный налог	руб.			0,000202	384,90	30 % от ст.6.2

6.4.	Охрана труда и техника безопасности	руб.			0,000528	1004,20	12 % от ЗП всех рабочих
6.5.	Вода на бытовые и хозяйственные нужды	руб.			0,000131	250,00	
6.6.	Отопление помещений	руб.			0,000033	62,71	
6.7.	Освещение помещений	руб.			0,000055	105,40	
7	Общезаводские (общепроизводственные) расходы	руб.			0,001315	2500,00	29% от Себ.цех.
Полная себестоимость, в т.ч.					4,204515	7994439,17	
Условно-переменные затраты					4,189095	7965120,24	
Условно-постоянные затраты					0,015420	29318,93	

### Калькуляция себестоимости продукции - 3 год

$N_{\text{год}} = 2535192$  тонн

Таблица 6.14

№№ п/п	Наименование статей расхода	Ед. изм.	Цена за ед., руб.	Расходы в	Затраты, тыс.руб.		Прим.
				нат.ед.	На 1 тонну	На Nгод	
1	Сырье и основные материалы (исх. Фр.ДТ, катализаторы)	тонны	1500	2535192	2,640000	10039360,32	Табл. 12
2	Энергия всех видов (э/э, вода, пар, сжатый воздух и т.д.) на технологические цели	кВт*ч	4,8	90750000	0,480000	435600	Табл. 12
3	Заработная плата основных рабочих	руб.			0,002795	7085,34	Табл. 16

4	Социальный налог	руб.			0,000838	2125,60	30% от ст.3
5.1.	Амортизация активной части основных фондов (АЧОФ)	руб.			0,003516	8914,80	
5.2.	Затраты на ремонт АЧОФ	руб.			0,001644	4167,93	5%
5.3.	Единый социальный налог	руб.			0,000493	1250,38	30% от ст.5.2 .
6	<b><u>Цеховые расходы</u></b>	руб.			0,000000		
6.1.	Амортизация пассивной части основных фондов (ПЧОФ)	руб.			0,000073	184,67	
6.2.	Заработная плата ИТР, служащих, МОП	руб.			0,000506	1283,00	
6.3.	Социальный налог	руб.			0,000152	384,90	30 % от ст.6.2 .
6.4.	Охрана труда и техника безопасности	руб.			0,000396	1004,20	12 % от ЗП всех рабоч их
6.5.	Вода на бытовые и хозяйственные нужды	руб.			0,000099	250,00	
6.6.	Отопление помещений	руб.			0,000025	62,71	
6.7.	Освещение помещений	руб.			0,000042	105,40	
7	Общезаводские (общепроизводственные) расходы	руб.			0,000986	2500,00	29% от Себ.ц ех.
Полная себестоимость, в т.ч.					4,143386	10504279, 25	
Условно-переменные затраты					4,131821	10474960, 32	

Условно-постоянные затраты			0,011565	29318,93	
----------------------------	--	--	----------	----------	--

Таблица 6.15

План доходов и расходов

Наименование статьи	Величина показателя по годам проекта		
	1-й год	2-й год	3-й год
1. Объем продаж, тонн	1267596	1901394	2535192
2. Цена за 1 тонну, тыс. руб.	5	5	5
3. Выручка от реализации, тыс. руб. (стр.1*стр.2)	6337980	9506970	12675960
4. Условно-переменные затраты, тыс. руб. (табл.12)	5455280,16	7965120,24	10474960,32
5. Условно-постоянные затраты, тыс. руб. (табл.12)	29318,93	29318,93	29318,93
6. Прибыль до вычетов налогов (стр.3-стр.4-стр.5)	853380,91	1512530,83	2171680,75
7. Налоги, относящиеся на финансовый результат, тыс. руб.	1833,887	1641,618	1441,43032
8. Налогооблагаемая прибыль, тыс. руб. (стр.7-стр.8)	851547,02	1510889,21	2170239,32
9. Налог на прибыль, тыс. руб. (20% от стр.9)	170309,405	302177,8424	434047,8639

10. Чистая прибыль, тыс. руб. (стр.8-стр.9)	681237,62	1208711,37	1736191,46
---	-----------	------------	------------

### Анализ безубыточности

Цель данного анализа – определение точки безубыточности, минимальный объём производства и реализации продукции, при котором расходы будут компенсированы доходами, а при производстве и реализации каждой последующей единицы продукции предприятие начинает получать прибыль.

Также, это показатель, характеризующий объем реализации продукции, при котором выручка предприятия от продажи продукции (работ, услуг) позволяет покрыть все расходы и выйти на нулевой уровень прибыли.

Выручка от реализации продукции (В) должна быть равна общим затратам на производство и реализацию продукции:  $V = Z_{\text{пост}} + Z_{\text{пер}}$

Либо выручка реализованной продукции превышает общие затраты на производство:  $V > Z_{\text{пост}} + Z_{\text{пер}}$

Нахождение точки безубыточности может быть произведено двумя способами: аналитическим и графическим.

Аналитически значение  $Q_{\text{ТБ}}$  можно выразить через формулу:

$$Q * C_i = Z_{\text{пост}} + Z_{\text{пер}} * Q, \text{ где}$$

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

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

$C_i$  - цена единицы продукции, тыс.руб./т. Тогда, значение точки безубыточности находится по следующей формуле:

$$Q_{\text{ТБ}} = \frac{Z_{\text{пост}}}{C_i - Z_{\text{неп}}}, \text{ Т.}$$

таблица 6.16

Расчет точки безубыточности для третьего года

	<b>3 год</b>
<b>Q, т.</b>	2535192
<b>C, т. руб</b>	5

<b>Q тб, т.</b>	<b>33699,9</b>
-----------------	----------------

Рисунок 6.1 Точка безубыточности для 3 года





Дисконтированные инвестиционные затраты (К), тыс. руб.	4800 169,3 66	0	0	0	0	0	0	0	0	0	480016 9,366
ЧДД, тыс. руб.	- 4225 042,3 5	8455 73,72 22	1009 899,4 44	8415 82,87 04	7013 93,27 34	5844 94,39 45	4870 78,66 21	4058 98,88 51	3382 49,07 09	2818 74,22 57	127100 2,196
ИД											1,986

## 7. Экологическая и промышленная безопасность

Уровень решения проблем обеспечения безопасности жизнедеятельности человека в любом современном государстве может служить наиболее достоверным и комплексным критерием для оценки как степени экономического развития и стабильности этого государства, так и для оценки нравственного состояния общества.

Улучшение условий труда - важная задача социальной политики, осуществляемой нашим государством. Правительство уделяет большое внимание созданию здоровых и безопасных условий труда. Для решения задач, определяющих эту проблему, нашим государством были разработаны и реализованы многочисленные правовые, технические, экономические и организационные мероприятия.

В России действует законодательство об охране труда, выраженное в правовых, технических и санитарно - гигиенических нормах. Законодательство предусматривает систему надзора и контроля, точного их выполнения, а также ответственности за нарушение законодательства об охране труда.

### 7.1. Промышленная санитария

Промышленная санитария - система организационных, гигиенических и санитарно-технических мероприятий, предотвращающих воздействие на

работающих вредных производственных факторов (ГОСТ 12.0.002 - 80 ССБТ «Термины и определения»).[13]

Санитарно - гигиеническая характеристика производственного процесса определяется применением токсичных веществ. С целью обеспечения нормальных санитарных условий все производственные помещения, связанные с применением токсичных веществ, обеспечены проточновытяжной вентиляцией.

Сероводород является наиболее токсичным в составе атмосферы объектов по добыче и переработке нефти и газа. Пары сырой нефти малотоксичны. Большее воздействие оказывает попадание нефти на кожные покровы человека, вследствие чего могут возникнуть экземы или дерматиты. Установлено, что токсичность сероводорода возрастет в составе нефтяного газа.

По категориям опасных газовыделений установка относится к опасным с содержанием сероводорода не более 0,2 %. На установке предусмотрены местные отсосы, газ из аппарата направляется через ловушки на факел.

Несмотря на мероприятия принятые в проекте и перечисленные выше, в производстве возможен контакт обслуживающего персонала с вредными веществами по следующим причинам:

- фоновые постоянные (через неплотности оборудования и запирающих устройств);
- отсутствие герметичности на арматуре;
- возможности разгерметизации оборудования, трубопроводов и арматуры, при продувках скважин, стравливании газа из трубопроводов, аппаратов во время ремонтных работ, открытии предохранительных клапанов;
- при авариях.

Учитывая вышеизложенное, в целях предупреждения профзаболеваний и улучшения условий труда для трудящихся предусматриваются льготы.

Обслуживающий персонал обеспечивается спецодеждой и средствами индивидуальной защиты.

## **7.2. Метеорологические условия**

Метеорологическими условиями производственной среды принято называть физическое состояние воздушной среды, характеризуемое температурой, относительной влажностью и скоростью движения воздуха, а также тепловым излучением от нагретых поверхностей. Эти параметры воздушной среды являются одной из важнейших санитарно-гигиенических характеристик условий труда и оказывают существенное влияние на самочувствие и работоспособность человека и на производительность его труда.

Характерной особенностью нефтеперерабатывающих производств является размещение основного технологического оборудования на открытых площадках. Обслуживающему персоналу приходится работать в условиях высоких и низких температур, при воздействии солнечной радиации, сильном ветре, при атмосферных осадках.

Значительную сложность представляет создание нормальных метеорологических условий в закрытых помещениях нефтеперерабатывающих и нефтехимических производств — реакторных отделениях, компрессорных, насосных, котельных, где имеют место значительные тепло- и влаговыведения.

Для обеспечения условий в пределах санитарных норм и поддержанием теплового равновесия между теплом человека и окружающей средой на производстве необходимо проводить ряд мероприятий:

- механизация и автоматизация тяжелых работ;
- дистанционное управление теплоизлучающими процессами и аппаратами;
- рациональное размещение и теплоизоляция оборудования, аппаратов и трубопроводов, излучающих тепло;

- для предупреждения переохлаждений и простудных заболеваний у входа в цех устраивают тамбуры;
- для работающих на холоде, предусматривают специально оборудованные помещения для обогрева.

### **7.3. Организация трудового процесса**

Правильное расположение и компоновка рабочего места, обеспечение удобной позы и свободы трудовых движений, использование оборудования, отвечающего требованиям эргономики и инженерной психологии, обеспечивают наиболее эффективный трудовой процесс, уменьшают утомляемость и предотвращают опасность возникновения профессиональных заболеваний.[14]

Оптимальная поза человека в процессе трудовой деятельности обеспечивает высокую работоспособность и производительность труда. Неправильное положение тела на рабочем месте приводит к быстрому возникновению статической усталости, снижению качества и скорости выполняемой работы, а также к снижению реакции на опасности. Нормальной рабочей позой следует считать такую, при которой работнику не требуется наклоняться вперед больше чем на 10... 15°; наклоны назад и в стороны нежелательны; основное требование к рабочей позе — прямая осанка.

Выбор рабочей позы зависит от мышечных усилий во время работы, точности и скорости движений, а также от характера выполняемой работы. При усилиях не более 50 Н можно выполнять работу сидя. При усилиях 50... 100 Н работа может выполняться с одинаковым физиологическим эффектом как стоя, так и сидя. При усилиях более 100 Н желательно работать стоя.

Работа стоя целесообразнее при необходимости постоянных передвижений, связанных с настройкой и наладкой оборудования. Она создаст максимальные возможности для обзора и свободных движений. Однако при работе стоя повышается нагрузка на мышцы нижних конечностей,

повышается напряжение мышц в связи с высоким расположением центра тяжести и увеличиваются энергозатраты на 6...10% по сравнению с позой сидя.

Работа в позе сидя более рациональна и менее утомительна, так как уменьшается высота центра тяжести над площадью опоры, повышается устойчивость тела, снижается напряжение мышц, уменьшается нагрузка на сердечно - сосудистую систему. В положении сидя обеспечивается возможность выполнять работу, требующую точность движения. Однако и в этом случае могут возникать застойные явления в органах таза, затруднение работы органов кровообращения и дыхания.

Смена позы приводит к перераспределению нагрузки на группы мышц, улучшению условий кровообращения, ограничивает монотонность. Поэтому, где это совместимо с технологией и условиями производства, необходимо предусматривать выполнение работы как стоя, так и сидя, с тем чтобы рабочие по своему усмотрению могли изменять положение тела.

При организации производственного процесса следует учитывать антропометрические и психофизиологические особенности человека, его возможности в отношении величины усилий, темпа и ритма выполняемых операций, а также анатомо-физиологические различия между мужчинами и женщинами.

Размерные соотношения на рабочем месте при работе стоя строятся с учетом того, что рост мужчин и женщин в среднем отличается на 11,1 см, длина вытянутой в сторону руки — на 6,2 см, длина втянутой вперед руки — на 5,7 см, длина ноги — на 6,6 см, высота глаз над уровнем пола — на 10,1 см. На рабочем месте в позе сидя различия в размерных соотношениях у мужчин и женщин выражаются в том, что в среднем длина тела мужчин на 9,8 см и высота глаз над сиденьем — на 4,4 см больше, чем у женщин.

На формирование рабочей позы в положении сидя влияет высота рабочей поверхности, определяемая расстоянием от пола до горизонтальной поверхности, на которой совершаются трудовые движения. Высоту рабочей поверхности устанавливают в зависимости от характера, тяжести и точности

работ. Оптимальная рабочая поза при работе сидя обеспечивается также конструкцией стула: размерами, формой, площадью и наклоном сиденья, регулировкой по высоте. Основные требования к размерам и конструкции рабочего стула в зависимости от вида выполняемых работ приведены в ГОСТ 12.2.032—78 и ГОСТ 21889-76.

Существенное влияние на работоспособность оператора оказывает правильный выбор типа и размещения органов и пультов управления машинами и механизмами. При компоновке постов и пультов управления необходимо знать, что в горизонтальной плоскости зона обзора без поворота головы составляет  $120^\circ$ , с поворотом —  $225^\circ$ ; оптимальный угол обзора по горизонтали без поворота головы —  $30^\circ$ — $40^\circ$  (допустимый  $60^\circ$ ), с поворотом —  $130^\circ$ . Допустимый угол обзора по горизонтали оси зрения составляет  $130^\circ$ , оптимальный —  $30^\circ$  вверх и  $40^\circ$  вниз.

Приборные панели следует располагать так, чтобы плоскости лицевых частей индикаторов были перпендикулярны линиям взора оператора, а необходимые органы управления находились в пределах досягаемости. Наиболее важные органы управления следует располагать спереди и справа от оператора. Максимальные размеры зоны досягаемости правой рукой — 70...110 см. Глубина рабочей панели не должна превышать 80 см. Высота пульта, предназначенного для работы сидя и стоя, должна быть 75...85 см. Панель пульта может быть наклонена к горизонтальной плоскости на  $10^\circ$ ... $20^\circ$ , наклон спинки кресла при положении сидя —  $0^\circ$ ... $10^\circ$ .

Для лучшего различия органов управления они должны быть разными по форме и размеру, окрашиваться в разные цвета либо иметь маркировку или соответствующие надписи. При группировке нескольких рычагов в одном месте необходимо, чтобы их рукоятки имели различную форму. Это позволяет оператору различать их на ощупь и переключать рычаги, не отрывая глаз от работы.

## **7.4. Средства защиты работающих**

### **7.4.1. Индивидуальные средства защиты**

Использование на ЦПГШ жидких и газообразных углеводородов, влияющих на организм человека, вызывает необходимость применения индивидуальных средств защиты (ИСЗ) по ГОСТ 12.4.011-89 «Средства защиты работающих. Общие требования и классификация». На ЦППН все виды работ производятся в спецодежде, спецобуви и обязательно в каске.

Шланговые противогазы марки ПШ1 и ПП12 применяются в воздухе с малым содержанием кислорода (менее 18% объемных), при наличии больших концентраций вредных веществ, газов неизвестного состава и не поглощаемых коробками фильтрующих противогазов.

Для защиты органов дыхания от вредных веществ применяются фильтрующие противогазы марки БКФ при объемной доле свободного кислорода более 18% и суммарной, объемной доле вредных газообразных веществ не более 0,5%.

Для защиты от несорбирующихся веществ применяются самоспасатели марок СШ-20м, СПИ-40. Для защиты при внутренней чистке аппаратов водой высокого давления, применяется гидрокостюм.

Для защиты кожи используются дерматологические средства.

Для персонала, находящегося в зоне высокого шума, рекомендуются защитные наушники.

Для защиты персонала от поражения электрическим током применяются диэлектрические перчатки, коврики, сапоги, инструмент с изолированными ручками.

### **7.4.2. Средства коллективной защиты**

С целью защиты от воздействия вредных газов и паров углеводородов производственные помещения снабжены приточной и вытяжной вентиляцией по ГОСТ 12.4.021-75 «Системы вентиляционные. Общие требования». На случай аварии предусмотрена аварийная система вентиляции.

В производственных помещениях и на открытых установках предусмотрены датчики сигнализации предельных концентраций углеводородов.

С целью защиты обслуживающего персонала от шумов и вибрации здания и сооружения выполнены согласно санитарным нормам. Предусмотрено:

- применение звукопоглощающих кожухов на компрессорах;
- шумопоглощающая изоляция трубопроводов;
- установка вентиляторов на виброоснове;
- изоляция трубопроводов с повышенной и пониженной температурой;
- от воздействия химических факторов оборудование и установки герметизируют;
- от воздействия механических факторов опасные места ограждены, закрыты кожухами;
- оборудование заземлено, распределительные щиты и пульты закрыты.

### **7.5. Освещение**

Правильно спроектированное и рационально выполненное освещение производственных помещений оказывает положительное психофизиологическое воздействие на работающих, способствует повышению эффективности и безопасности труда, снижает утомление и травматизм, сохраняет высокую работоспособность.

Все сосуды и аппараты в ЦППН находятся на открытой площадке при естественном освещении. Естественный солнечный свет характеризуется большой интенсивностью и равномерностью освещения, и создает наилучшие условия для работы. В темное время суток территория ЦППН освещается прожекторами.

В связи с тем, что условия деятельности машинистов и операторов связаны с явным преобладанием зрительной информации, до 90%, особенно важным становится вопрос производственного освещения. Поэтому в производственных помещениях используется искусственное освещение. Для

искусственного освещения используют люминесцентные лампы ЛБ - белого цвета или ЛТБ - тепло - белого цвета, мощностью 20, 40, 60 Вт. Согласно действующим санитарным нормам и правилам СНиП 23-05-95 «Естественное и искусственное освещение», для искусственного освещения регламентирована наименьшая допустимая освещенность рабочих мест, а для естественного и совмещенного - коэффициент естественной освещенности (КЕО).

Рекомендуемая освещенность для работы с приборами КИПиА для высокой точности, с наименьшим размером объекта 0,15 - 0,3 в соответствии с СНиП 23 - 05 - 95 составляет 200 лк, а при работе с приборами КИПиА в сочетании с работой над документацией (ежечасная запись в журнале контроля параметров технологического процесса, работой с регламентом техпроцесса) для средней точности, с наименьшим размером объекта 0,3 - 0,5 в соответствии с СНиП 23 - 05 - 95 для комбинированного освещения - 400 лк.

Рекомендуемое значение яркости в поле зрения оператора должно лежать в пределах 2,5%.

Расчет искусственного освещения включает в себя следующие этапы:

- выбор типа лампы;
- выбор величины освещения и величины коэффициента запаса;
- расчет освещения методом коэффициента использования.

Расчет электрического освещения выполняют при проектировании осветительных установок для определения общей установленной мощности и мощности каждой лампы или числа светильников.

Основной метод расчета - по коэффициенту использования светового потока, которым определяется поток, необходимый для создания заданной освещенности горизонтальной поверхности при общем равномерном освещении, с учетом света отраженного стенами и потолком. Расчет выполняется по следующей формуле[13]:

$$E = \frac{\Phi}{S}$$

Освещенность  $E$  является величиной, которая характеризует поверхностную плотность падающего светового потока. Ее определяют как отношение светового потока  $\Phi$  к площади освещаемой поверхности  $S$ .

Единицей освещенности является люкс (лк), это освещенность, создаваемая световым потоком в один момент, равномерно распределенная на площадь.

Освещенность конкретной точки поверхности связана с силой света соотношением:

$$E = \frac{Y \cdot \cos \alpha}{r^2}, \text{ где}$$

$Y$  - сила света по направлению к точке, КД;

$\alpha$  - угол между нормалью к поверхности, которой принадлежит точка и лучом;

$r$  - расстояние между точкой и источником.

Расчетное уравнение:

$$\Phi_{\text{св}} = \frac{E_{\text{н}} \cdot K_{\text{с}} \cdot S \cdot Z}{n \cdot n \cdot U}, \text{ где}$$

$\Phi_{\text{св}}$  - световой поток;

$E_{\text{н}}$  - нормативная минимальная освещенность;

$Z$  - коэффициент неравномерности освещения,

$S$  - площадь помещения,

$n$  - коэффициент использования излучаемого светильниками светового потока, который показывает, какая часть от общего светового потока приходится на расчетную плоскость;

$U$  - коэффициент затенения.

По полученному световому потоку выбирается стандартная лампа.

Расчет освещенности от люминесцентных ламп сводится к определению необходимого числа светильников по формуле:

$$N = \frac{E_{\text{н}} \cdot K_{\text{с}} \cdot S \cdot Z}{n \cdot \Phi_{\text{св}} \cdot q \cdot U}, \text{ где}$$

$q$  - число рядов светильников.

Площадь помещения операторной ЦПН оборудована светильниками УСП-35 с двумя лампами ЛБ-40. Коэффициент отражения светового потока

от потолка, стен и пола равны соответственно 70 %, 50 %, 10 %. Затемнения на рабочих местах нет.

Уровень рабочей поверхности над полом 80 см. Тогда:

$$h = 3 - 0,8 = 2,2 \text{ м}$$

У светильников типа УСП - 35 получено отношение:

$$f = \frac{L}{n} = 1,4 \text{ м}$$

отсюда расстояние между светильниками составит:

$$L = f * h = 1,4 * 2,2 = 3 \text{ м}$$

Светильники располагаем вдоль длинной стороны помещения.

Расстояние между рядами светильников принимаем:

$$I = (0,3 - 0,5) * L$$

При ширине зала операторной в 9 метров, число рядов светильников

$$n = \frac{9}{n} = \frac{9}{3} = 3$$

Согласно норме  $E_H = 400$  лк.

Комплексная характеристика для нахождения  $n$  равна

$$I = \frac{a*b}{h*(a+b)} = \frac{9*15}{2,2*(9+15)} = 2,56$$

Тогда из справочной литературы светотехнического справочника находим, что  $n = 0,45$ . Номинальный световой поток лампы ЛБ - 40,  $\Phi = 3120$  лм, отсюда поток получаемый светильником,  $\Phi_{св} = 2 * \Phi = 6240$  лм.

Тогда число ламп:

$$N = \frac{E_H * K_S * S * Z}{n * \Phi_{св} * q * U} = \frac{400 * 1,5 * 135 * 1,15}{3 * 6240 * 0,45} = 11 \text{ ламп}$$

При длине одного светильника УСП - 35 с лампами ЛБ - 40,  $L = 1,27$  м, их общая длина составит:

$$L_{св} = 1,27 * 11 = 14 \text{ метров}$$

то есть сплошной ряд, что и желательно.

Так как весь процесс автоматизирован, то присутствие обслуживающего персонала при нормальной работе оборудования не обязательно.

Регламентом технологического процесса предусмотрено не реже одного раза за 2 часа в смену, обходить рабочее место, границы которого также указаны в регламенте.

Рекомендуемая освещенность для работы в ночное время составляет 60 лк. В местах отбора проб приборов КИПиА, расположенных "по месту" освещенность должна составлять 200 лк.

## **7.6. Шумы и вибрации**

На данном производстве источниками шума и вибрации являются: машинный зал компрессорной, насосной и печи подогрева нефти.

Повышение уровня шума и вибрации оказывает вредное воздействие на организм человека, производственное оборудование, коммуникации и сооружения. Все это предусматривает необходимость разработки и осуществления комплекса инженерно-технических и организационных мероприятий для снижения шума и вибрации до величин установленных санитарными нормами и ГОСТом 12.1.003-83 «Шум. Общие требования безопасности» Для постоянных рабочих мест и рабочей зоны в производственном помещении и на территории предприятия допустимый уровень шума - 80 ДБА [15]. Уровень шума в боксах составляет максимально 90 и 100 ДБА. Помещения внутри боксов не являются постоянными рабочими местами. Боксы своими стенами из металла и полиуретанового пенопласта препятствуют выходу наружу шума. Обслуживающий персонал находится в боксах только при пуске и контрольных обходах. Контроль за нормальной работой машин в боксах производится из операторной. Снижение уровня шума в боксах при длительном пребывании, например при ремонтах, достигается индивидуальными средствами защиты от шума. Для постоянных рабочих мест и рабочей зоны в производственном помещении и на территории предприятия допустимый уровень шума - 80 ДБА.

Снижение шума и вибрации достигается:

- уменьшением шума и вибрации в источнике их образования;
- изоляцией источников средствами звуко- и виброизоляции, звуко- и вибропоглощения;
- принятием архитектурно - планировочных решений, предусматривающих рациональное размещение оборудования, машин и механизмов

### **7.7. Техника безопасности технологического процесса**

Среди большого числа отличающихся по характеру процессов химической технологии, можно выделить группу процессов, которые при определённых условиях, возникающих вследствие нарушения регламента, выходят в аварийные режимы с последствиями различной степени тяжести. К технологическому процессу подготовки нефти применимы общие требования безопасности согласно ГОСТ 12.3.002-75 «Процессы производственные. Общие требования безопасности». Процесс отделения нефти от газа является потенциально опасным.

Основные причины возникновения аварийных ситуаций в данном случае можно свести к следующим:

- скорость химического превращения веществ растёт, что приводит к увеличению количества выделяемого тепла, подъёму температуры, интенсивному газовыделению;
- нарушение режима удаления газов и паров, что приводит к увеличению давления.

Оба отклонения возникают при отказах средств автоматизации, оборудования, стоящего на линии отвода газов и паров из установки и при ошибках обслуживающего персонала.

Надёжное средство защиты потенциально опасных процессов - создание автоматических систем защиты. Параметры, характеризующие течение процесса, должны поддерживаться постоянными.

Все требования безопасности к производственному процессу закладываются при их проектировании и реализуются при организации и проведении технологического процесса. При этом они должны предусматривать следующее:

- устранение непосредственного контакта работающих с исходными материалами, готовой продукцией и отходами производства;
- герметизацию оборудования;
- применение систем контроля и управления технологическим процессом, обеспечивающих защиту работающих и аварийное отключение производственного оборудования;
- своевременное получение информации о возникновении опасных и вредных производственных факторов;
- своевременное удаление и обезвреживание нефти в местах разлива;
- применение средств индивидуальной защиты работающих. Требования безопасности к технологическому процессу включают в нормативно - техническую и технологическую документацию.

Основные требования безопасности:

- запрещается затяжка фланцевых соединений, крышек, люков и другие ремонтные работы на аппаратах и трубопроводах, находящихся под давлением;
- отбор проб нефти через неисправные пробоотборники не допускается;
- запрещается оставлять пробоотборные краники открытыми в случае закоксования и замерзания;
- при отборе проб находиться у запорной арматуры с наветренной стороны, ведя постоянное наблюдение за дренируемой жидкостью, не допуская выброса газа или нефтепродукта;
- в случае образования ледяной пробки в дренаже аппарата или трубопровода, находящегося под давлением, необходимо отключить участок трубопровода или аппарат от общей системы и отпарить снаружи.

## **7.8. Инженерно – технические средства безопасности**

К основным инженерно - техническим средствам безопасности относятся:

- оградительные и предохранительные устройства;
- сигнализация безопасности;
- разрывы и габариты безопасности.

Оградительные устройства применяют для изоляции находящихся под напряжением токоведущих частей оборудования, зон и участков, где есть опасность вредного воздействия на человека газа, пара, нефти и др.

Предохранительные устройства служат для предупреждения аварий и предупреждения выхода из строя отдельных частей технологического оборудования. Они автоматически срабатывают, когда возникает такая угроза, и отключают оборудование или его узел.

Сигнализация безопасности - средство предупреждения возможных опасностей. Сигнализация подразделяется на световую, звуковую и знаковую.

Сигнальные цвета и знаки предназначены для привлечения внимания работающих к непосредственной опасности, предписания и разрешения определённых действий с целью обеспечения безопасности. Знаки безопасности устанавливаются в местах, пребывание в которых связано с возможной опасностью для работающих, а также на производственном оборудовании, являющимся источником такой опасности.

## **7.9. Безопасность технологического оборудования**

Теплообменник относится к специализированному оборудованию нагрева нефти. Оборудование не должно быть источником неблагоприятных воздействий, оно должно быть разработано с учетом возможностей человека, оборудование должно отвечать требованиям безопасных условий труда при его эксплуатации и ГОСТ 12.2.085-82 «Сосуды, работающие под давлением. Клапаны предохранительные. Требования безопасности».

Наиболее частые причины аварий и взрывов сосудов, работающих под давлением:

- несоответствие конструкции максимально допустимому давлению и температуре;
- превышение давления сверхпредельного;
- потеря механической прочности аппарата (коррозия, внутренние дефекты металла, местные перегревы);
- несоблюдение установленного режима работы аппарата;
- недостаточная квалификация обслуживающего персонала;
- отсутствие технического надзора.

Конструкция аппарата должна быть надежной, обеспечивать безопасность при эксплуатации и предусматривать возможность осмотра, очистки, промывки, продувки и ремонта.

Сосуды с внутренним диаметром более 800 мм снабжаются достаточным для осмотра и ремонта числом люков - лазов, расположенных в доступных местах.

Сварные швы сосудов выполняются только стыковыми. Швы должны быть доступны для контроля при изготовлении, монтаже, эксплуатации и ремонте сосудов и аппаратов.

Материалы, применяемые для изготовления сосудов и аппаратов, должны обладать хорошей свариваемостью, а также прочностными и пластическими характеристиками, обеспечивающими надёжную и долговечную работу сосудов и аппаратов в заданных условиях эксплуатации.

### **7.10. Электробезопасность**

Электробезопасность в ЦППН в соответствии с ГОСТ 12.1.019-79 «Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты» обеспечивается:

- конструкцией электроустановок;
- техническими способами и средствами защиты;

- организационными и техническими мероприятиями. Отдельно или в сочетании с другими применяется:
- защитное заземление;
- зануление;
- защитное отключение;
- выравнивание потенциала;
- использование малых напряжений;
- изоляция токоведущих частей;
- электрическое разделение сетей;
- предупредительная сигнализация, блокировка;
- использование знаков безопасности;
- электрозащитные средства.

Для обеспечения безопасной работы в электроустановках выполняется комплекс организационных мероприятий:

- организуется инструктаж и обучение безопасным методам работы;
- проверка знаний правил безопасности;
- допуск к работе оформляется в соответствующем порядке-допуске.

Основными причинами поражения электрическим током являются:

1) случайные прикосновения к токоведущим частям под напряжением в результате:

- ошибочных действий при проведении работ;
- неисправности защитных средств, которыми пострадавший касался токоведущих частей.

2) появление напряжения на металлических конструктивных частях оборудования в результате:

- повреждения изоляции токоведущих частей;
- замыкание фазы сети на землю;
- падение провода, находящегося под напряжением, на конструктивные части электрооборудования.

3) появление напряжения на отключенных токоведущих частях в результате:

- ошибочного включения отключения установки
- замыкания между отключенными и находящимися под напряжением токоведущими частями;
- разряда молнии в электроустановку и др.

4) возникновение напряжения шага на участке земли, где находится человек в результате:

- замыкания фазы на землю;
- выноса потенциала протяженным токопроводящим предметом и др.

Вероятность исключения указанных причин зависит от обучения персонала.

Основными мероприятиями по защите от электротравматизма являются:

- обеспечение недоступности токоведущих частей путем использования изоляции, ограждений, расположения указанных частей на высоте, в корпусах и в оборудовании;
- применение малых напряжений в местных и переносных источниках света;
- использование изоляции токоведущих частей;
- применение средств коллективной защиты от поражения электрическим током, таких как заземление, зануление, защитное отключение;
- обучение и аттестация персонала.

Для защиты от статического электричества и вторичных проявлений молний, аппараты, трубопроводы и металлоконструкции, имеющие контакт с пожаровзрывоопасными средствами, должны быть заземлены.

### **7.11. Молниезащита**

Разряды атмосферного электричества способны вызывать взрывы, пожары и разрушения зданий и конструкций. Виды воздействия молний:

- первичное, вызывающее непосредственное разрушение;
- вторичное, посредством явлений статического электричества и электромагнитной индукции здания и сооружения подлежат молниезащите в соответствии с СН 305-77 «Инструкции по проектированию и устройству молниезащиты» для зданий и сооружений, отнесенных к 1-ой категории молниезащиты. Это здания и сооружения, где длительное время сохраняются и систематически возникают взрывоопасные смеси газов, паров, пыли, перерабатываются и хранятся взрывоопасные вещества.

На ЦППН предусмотрена защита зданий, сооружений, оборудования, трубопроводов от прямых попаданий ударов молнии путем присоединения корпусов установок, отдельных емкостей и аппаратов к заземляющему контуру и установкой молниеприемников.

### **7.12. Пожаровзрывоопасность**

Пожаровзрывоопасность технологических процессов в значительной степени определяется физико-химическими свойствами сырья, промежуточных и конечных продуктов. Газ, который образуется в результате отделения нефти от газа в установке и имеющий концентрационные пределы воспламенения в воздухе, относится к горючим.

К опасным и вредным факторам, которые могут воздействовать на людей в результате пожара и взрыва, относятся: пламя, ударная волна, обрушение коммуникаций и оборудования, выход из поврежденных аппаратов, содержащихся в них вредных веществ и др.

Рекомендации ГОСТ определяют два основных принципа обеспечения пожаровзрывоопасности:

- предотвращение образования горючих и взрывоопасных концентраций сред;
- пожаро и взрывозащита технологических процессов.

В целях пожаровзрывобезопасности на территории сепараторов применение для освещения факелов, спичек, керосиновых фонарей и других источников открытого огня. При отсутствии освещения разрешается пользоваться только пожаровзрывобезопасными аккумуляторными фонарями. Использованный обтирочный материал складывать в металлические ящики и по окончании работ выносить в безопасное в пожарном отношении место. Курение на территории цеха разрешается только в специально отведенных местах.

Оборудование выбрано во взрывобезопасном исполнении. Характеристика технологического процесса по взрывопожароопасности и вредности применяемого сырья, продуктов и материалов.

Технологический процесс установки подготовки нефти по показателям пожаро - и взрывоопасное относится к взрывопожароопасному.

В аппаратах и трубопроводах установки одновременно может находиться до 14000 м<sup>3</sup> нефти.

Технологический процесс характеризуется наличием следующих опасных и вредных производственных факторов:

- процесс ведется при избыточном давлении (до 5,2 кгс/см) и при повышенной температуре до 50 °С;
- температура пламени в печи нагрева нефти достигает 1600 - 1700 °С, продуктов сгорания, циркулирующих и омывающих змеевик 800 - 900 °С, а отходящих дымовых газов 650 °С;
- давление нагнетания насосов внешней перекачки составляет 28-37 кгс/см ;
- в качестве топлива для печей ПТБ-10 используется природный газ основное сырье и продукт установки - нефть, которая является легко воспламеняющейся жидкостью, состоящей из смеси углеводородов. Вследствие довольно высокого содержания легких газовых фракций, особенно в сырой нефти, и способности их быстрого выделения в атмосферу, возможно образование взрывоопасных смесей. Это особенно

важно, так как обычное горение возникает и развивается только в паровой (газовой) фазе, и именно к этой фазе относятся показатели пожарной опасности нефтепродуктов.

Нефти способны при горении прогреваться в глубину, образуя все нарастающий гомотермический слой. Скорость выгорания их 9 - 12 см/час, скорость нарастания прогретого слоя при выгорании - 24 - 36 см/час, температура прогретого слоя и пламени соответственно 130-160 °С и 1100 °С. применяемых метанолосодержащих химреагентов;

- возможностью образования взрывоопасных концентраций углеводородов при проведении зачистных или ремонтных работ в емкостях и резервуарах, а также при отпуске и приеме нефти открытым способом;
- возможностью накопления зарядов статического электричества при движении нефтепродуктов по трубопроводам, сливе и наливе автоцистерн, заполнении и откачке РВС и т.д.;
- возможность получения механических травм при нарушении правил обслуживания механизмов, движущихся и вращающихся частей;
- возможность поражения электрическим током при неисправности электрооборудования, а также при несоблюдении правил электробезопасности;
- возможность загорания смазочных масел и обтирочного материала при несоблюдении правил хранения и противопожарных норм;
- возможность разрушения коммуникаций и аппаратов при наличии гидравлических пробок;
- возможно коррозионное разрушение емкостей, арматуры и трубных коммуникаций.

Взрывопожароопасные, токсические свойства сырья, полупродуктов, готовой продукции и отходов производства приведены в таблице 7.1.

Противопожарная и пожарная опасность, санитарная характеристика производственных зданий, помещений и наружных установок приведена в таблице 7.2.

Установка подготовки нефти укомплектована первичными средствами пожаротушения в соответствии с нормами (ППБО). Также ЦППН оборудован автоматической системой пожаротушения (АСПТ).

#### Состав АСПТ

- Установка охранно - пожарной сигнализации «ТОПАЗ»
- Извещатели пожарные автоматические тепловые ИП 103-4/1 (МАК-I)
- Извещатели пожарные автоматические ИП 103 -1 В Извещатели пожарные ручные
- Щиты пожарной автоматики и сигнализации АСПТ
- Насосная водотушения
- Насосная пенотушения
- Трубопроводы подачи пены
- Трубопроводы подачи воды

№ п/п	Наименование сырья, полупродуктов, готовой продукции, отходов производства	Агрегатное состояние	Класс опасности (ГОСТ 121007-76)	Температура, °С			Концентрационный предел воспламенения, %		Характеристика токсичности	Предельно допустимая концентрация веществ в воздухе рабочей зоны производственных помещений, мг/м <sup>3</sup> (ГОСТ 12 1 005-88)
				вспышки	воспламенения	самовоспламенения	нижний предел	верхний предел		
1	Нефть	жидкость	3	-21	>200	230-250	0,7	5,0	Наркотический нервный яд	10
2	Нефтяной газ	газ	4	-	-	250-300	4,9	15,4	Наркотический яд, учащается пульс, увеличивается объем дыхания, ослабляется внимание	300
3	Деэмульгаторы	жидкость	3	10	>300	-	-	-	Раздражитель кожи, глаз, дыхательных путей и пищеварительного тракта	5

4	Метанол	жидкость	3	8	13	464	6,7	34,7	Нервный яд, вызывает головную боль, головокружение, тошноту, рвоту, боль в желудке, общую слабость, мелькание в глазах, ослабление зрения, обмороки	5
---	---------	----------	---	---	----	-----	-----	------	---	---

Таблица 7.1

Таблица 7.2

№ п/п	НАИМЕНОВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ, ПОМЕЩЕНИЙ, НАРУЖНЫХ УСТАНОВОК	КАТЕГОРИИ ВЗРЫВОПОЖАРНОЙ И ПОЖАРО-ОПАСНОСТИ ПОМЕЩЕНИЙ И ЗДАНИЙ СП 12.13130.2009	КЛАССИФИКАЦИЯ ЗОН ВНУТРИ И ВНЕ ПОМЕЩЕНИЙ ДЛЯ ВЫБОРА И УСТАНОВКИ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ (ПУЭ)		ГРУППА ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ ПО САНИТАРНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКЕ	КЛАСС ВЗРЫВООПАСНОСТИ (ПБ 08-624-03)
			КЛАСС ВЗРЫВООПАСНОЙ ИЛИ ПОЖАРООПАСНОЙ ЗОНЫ	КАТЕГОРИЯ И ГРУППА ВЗРЫВОПОЖАРООПАСНЫХ СМЕСЕЙ		
1	Площадка технологическая	АН	В-1г	IIA T1, IIA T3	1в, 2г	Зона 2
2	Узел учета нефти	АН	В-1г	IIA T3	1в, 2г	Зона 2

3	Площадка узлов учета газа	АН	В-1г	IIA T1	1в, 2г	Зона 2
4	Насосная нефти	А	В-1а	IIA T3	1в	Зона 1
5	Факельная система	АН	В-1г	IIA T1	1в, 2г	Зона 2
6	Дренажные емкости	АН	В-1г	IIA T3	1в, 2г	Зона 2
7	БРХ-1,3	А	В-1а	IIA T2	1в	Зона 1

Категория помещения:

А - горючие газы, легковоспламеняющиеся жидкости с температурой вспышки не более 28 °С в таком количестве, что могут образовывать парогазовоздушные смеси, при воспламенении которых развивается избыточное давление взрыва в помещении, превышающее 5 кПа. Вещества и материалы, способные взрываться и гореть при взаимодействии с водой, кислородом I воздуха или друг с другом в таком количестве, что расчетное избыточное давление взрыва в помещении превышает 5 кПа.

Б - Горючие пыли или волокна, легковоспламеняющиеся жидкости с температурой вспышки более 28 °С, горючие жидкости в таком количестве, что могут образовывать взрывоопасные пылевоздушные или парогазовые смеси, при воспламенении которых развивается избыточное давление взрыва в помещении, превышающее 5 кПа.

Д - негорючие вещества и материалы в холодном состоянии.

Категория взрывопожарной и пожарной опасности слесарной мастерской - Д (негорючие вещества и материалы в холодном состоянии).

### **7.13. Охрана окружающей среды**

Генеральный план представляет собой вычерченную в масштабе схему предприятия с изображенными на ней проектируемыми и существующими зданиями и сооружениями, дорогами и проездами, благоустройством и озеленением территории. Цех подготовки и перекачки нефти расположен в 200 км от города Стрежевого. Цех расстояние 1 км от поселка и имеет площадь 4000 м. Территория цеха два въезда. С двух сторон ЦППН проходят автомобильные дороги. Общая площадь территории - 50,2 Га. Общая площадь застройки - 27,06 Га. Площадь автодорог и застройки - 15000 м .

С целью охраны воздушного бассейна выполнены следующие мероприятия:

- сброс углеводородных газов на факел с КСУ, освобождение оборудования для ремонта и в аварийных случаях производится на факельную установку;

- высота дымовых труб и факельного ствола выбраны с учетом рассеивания вредных веществ, при выбросе их через трубы;
- уплотнительные поверхности фланцев, трубопроводов, подающих углеводороды, имеют исполнение «шип-паз», «выступ-впадина»;
- компрессорные и основные насосы выполнены в герметичном исполнении и оборудованы системами блокировок, которые останавливают аппарат при нарушении технологического процесса;
- факельная установка обеспечивает безопасное освобождение производства от всех легких горючих сред [18].
- для бездымного горения углеводородов на факел подается водяной пар. Контроль наличия в воздухе углеводородов осуществляется датчиками дозрывных концентраций типа СТМ-10, которые установлены в местах возможного возникновения утечек.

## **8. Автоматизация**

В химической промышленности комплексной автоматизации уделяется большое внимание. Это объясняется сложностью и высокой скоростью протекания технологических процессов, а также чувствительностью их к нарушению режима, вредностью условий работы, взрыво- и пожароопасностью перерабатываемых веществ.

Ограниченные возможности человеческого организма (утомляемость, недостаточная скорость реакции на изменение окружающей обстановки и на большое количество одновременно поступающей информации, субъективность в оценки сложившейся обстановки и др.) являются препятствием для дальнейшей интенсификации производства. Для освобождения человека от непосредственного участия в производстве, функции управления технологическими процессами, механизмами, машинами передаются автоматическим устройствам. Автоматизация приводит к улучшению основных показателей эффективности производства: увеличения количества, улучшению качества и снижению себестоимости выпускаемой

продукции, повышению производительности труда. Внедрение автоматических устройств обеспечивает высокое качество продукции, сокращению брака и отходов. Уменьшение затрат сырья и энергии, уменьшение численности основных рабочих, удлинение сроков межремонтного пробега оборудования. Внедрение специальных автоматических устройств способствует безаварийной работе оборудования, исключает случаи травматизма, предупреждает загрязнение окружающей среды. Комплексная автоматизация процессов химической технологии предполагает не только автоматическое обеспечение нормального хода этих процессов с использованием различных автоматических устройств (контроля, регулирования, сигнализаций и др.), но и автоматическое управление пуском и остановки аппаратов для ремонтных работ и в критических ситуациях.

## 8.1. Управление технологическим процессом

Управление работой установки производится со щита, установленного в операторной. Щит обеспечивает работу УПСВ в следующих режимах: автоматическом, дистанционном и ручном. Автоматизация УПСВ предполагает присутствие дежурного персонала, т.к. контроль технологической установки и необходимые изменения параметров производятся оператором.

Система управления УПСВ предусматривает:

- автоматический контроль состоянием насосных агрегатов;
- автоматическое регулирование производительности УПСВ по жидкости;
- автоматическое регулирование межфазных уровней «нефть-вода», «нефть-газ»
- контроль давления в технологических аппаратах.
- измерение расхода нефти, подтоварной воды, газа.
- Уровень раздела фаз «нефть-вода» «жидкость-газ», регистрируемый ДУЖ-1м отображаются в виде световых и звуковых сигналов.
- контроль уровня, состояние насосов НШ-1, П-1, давление на нагнетании насоса П-1, блока дозировки реагента № 1
- контроль уровня, температуры реагента, состояние насосов НШ-3, П-3, давление на нагнетании насоса П-3, блока дозировки реагента № 3
- контроль уровня жидкости в ДЕ-1,2,3,4,5,6,7 , ЕПС-1,2, ЕК-1,2.

Основными частями щита управления являются:

- Блок управления насосным агрегатом (БУНА)
- Блок управления вспомогательный (БУВ)
- Блок регулирования (БР-1)
- Блок разделительных реле (БРР-1)
- Блок питания (БП-3)
- Блок защиты (БЗ)

- Блок электронный НОРД-ЭЗМ

Щит обеспечивает автоматизацию установки в объеме:

- автоматическое регулирование двух параметров по сигналам двухпозиционных датчиков (уровня или давления);
- дистанционное управление исполнительными механизмами регулирующих устройств;
- световую сигнализацию аварийных значений уровня жидкости и давления в сепарационной емкости;

Щит обеспечивает автоматизацию управления насосными агрегатами установки в объеме:

- 1) дистанционный и автоматический запуск и останов;
- 2) защитное отключение и световую сигнализацию при повышении температуры подшипников насоса; понижении давления на приеме и нагнетании насоса; нарушении программы автоматического запуска; нижнем предельном уровне жидкости в буферной емкости;
- 3) автоматическое включение резервного насосного агрегата при аварийном отключении работающего насосного агрегата;
- 4) автоматический повторный запуск при кратковременном исчезновении напряжения питания.
- 5) учет наработки насосных агрегатов.

Щит обеспечивает обработку и отображение информации о расходе жидкости, поступающей от турбинных счетчиков типа НОРД-М.

Блок **БУНа** предназначен для управления электродвигателями насоса и предусматривает пять режимов управления:

- 1) местный;
- 2) дистанционный;
- 3) программный;
- 4) автоматический;
- 5) резервный

**В местном режиме** (переключатель установлен в положение МЕСТ) управление электродвигателем насоса и задвижки на нагнетании насосного агрегата осуществляется местными кнопками управления (в насосной нефти)

**В дистанционном режиме** (переключатель установлен в положение ДИСТ) управление электродвигателем насоса осуществляется кнопками «ПУСК» и «СТОП» и обеспечивается блокировка аварийного сигнала манометра на нагнетании насосного агрегата, о чем сигнализирует светодиод.

**В программном режиме** (переключатель установлен в положение ПРОГР) блок БУНА работает следующим образом.

При нажатии кнопки «ПУСК» последовательно автоматически подаются команды на выполнение следующих операций:

- Блокировка прохождения сигнала от ЭКМ на нагнетании насоса на время набора давления;
- Включение электродвигателя насоса;
- Включение счетчика моточасов и светодиода, сигнализирующего о включении насоса;
- снятие блокировки на прохождение сигнала от ЭКМ на нагнетании насоса;

В случае срыва программы запуска подается команда на отключение электродвигателя насоса и включается сигнализация о срыве (светодиод)

Для периодической откачки нефти из сепарационной емкости без регулирования производительности насосной установки предусмотрен автоматический режим управления насосным агрегатом по сигналам от датчиков верхнего и нижнего уровней. При этом переключатель устанавливается в положение АВТ и происходит запуск насоса по программе, описанной выше. При достижении нижнего рабочего уровня выдается команда на отключение насосного агрегата.

Автоматический запуск работавшего насосного агрегата происходит после кратковременного (не более 3 секунд) исчезновения напряжения.

В режиме **РЕЗЕРВ** запуск насосного агрегата осуществляется по режиму программного запуска при аварийном отключении любого из насосных агрегатов.

Блок БЗ предназначен для:

1) Формирования сигналов на отключение насосных агрегатов при:

- повышении температуры подшипников электродвигателя и насоса;
- понижении давления на приеме и нагнетании насоса
- повышении давления на приеме и нагнетании насоса
- нарушении программы автоматического запуска;
- нижнем предельном уровне жидкости в сепарационной емкости.

2) формирования сигналов расшифровки аварийных параметров.

В блоке имеется 8 ячеек сигнализации, 2 ячейки работают в режиме аварийной сигнализации с задержкой, остальные – в режиме аварийной сигнализации без задержки.

При поступлении сигнала с одной ячейки входы сигналов с других блокируются, что позволяет установить причину аварии.

Схема позволяет контролировать работу ячеек сигнализации и соответствующих светодиодов панели сигнализации щита. При нажатии кнопки **КОНТРОЛЬ** светодиоды, подключенные к ячейкам, работающим в аварийном режиме, включаются сразу а остальные – в режиме аварийной сигнализации с задержкой – через установленное время задержки.

При нажатии кнопки **СБРОС** снимается сигнал аварии со всех ячеек сигнализации, и они подготавливаются к приему входных сигналов.

Панель сигнализации **ПС** предназначена для визуального контроля за технологическим процессом установки. На панели нанесена мнемосхема установки и установлены элементы индикации. Световая индикация контролируемых и аварийных параметров выполнена на светодиодах: контролируемые параметры на диодах - зеленые, аварийные - красные.

4.2.9. Блок **БП-3** предназначен для питания блоков щита (кроме блоков БРР-1), а также для контроля исчезновения напряжения щита и выдачи команд в блок БУНА на автозапуск насосных агрегатов при исчезновении напряжения питания на время до 3 секунд. Повторно запускаются те агрегаты, которые работали до исчезновения напряжения.

Блок **БУВ** предназначен для управления насосом откачки из емкости - сборника утечек в автоматическом и дистанционном режимах.

Блок БРР-1 предназначен для обеспечения искробезопасности электрических цепей датчиков и обеспечивает помехозащищенность блоков БР-1 и БЗ

Блок БР-1 предназначен для:

управления регулирующим клапаном в дистанционном и автоматическом режимах по сигналам датчика уровня жидкости;

Световой индикации наличия входных сигналов от датчиков уровня жидкости;

Цифровой индикации положения исполнительного механизма - % открытия клапана.

Шкаф управления БРХ обеспечивает:

Управление процессом заполнения технологической емкости и автоматическое отключение насоса циркуляции при заполнении емкости и срабатывании автомата откачки.

Управление процессом перемешивания реагента в технологической емкости, цикличность которого устанавливается реле времени ЭРВ 2-14, аварийное отключение насоса циркуляции при снижении уровня реагента в емкости ниже минимально допустимого и срабатывании автомата откачки, а также при выходе значения давления в нагнетательной линии за пределы допустимого и срабатывании электроконтактного манометра.

Управление процессом нагревания реагента: отключение электронагревателя при нагревании реагента до максимально допустимой температуры, контролируемой термометром манометрическим ТКП-100 ЭК.

и включение его при остывании реагента до минимально допустимой температуры.

Управление работой насоса дозатора, его аварийное отключение при понижении уровня реагента в технологической емкости ниже минимально допустимого и при выходе значения в нагнетательной линии за пределы допустимого.

- Управление обогревом аппаратного отсека, температура которого контролируется датчиком температуры ТВБ-10.
- Индикацию состояния технологического оборудования, в том числе аварийного.

Перечень контролируемых технологических параметров, точки контроля и допускаемые пределы, и их значения приведены в таблице 8.1.

Перечень блокировок и сигнализаций приведены в таблице 8.2.

Таблица 8.1.

№ П/П	НАИМЕНОВАНИЕ СТАДИЙ ПРОЦЕССА, АППАРАТЫ, ПОКАЗАТЕЛИ РЕЖИМА	НОМЕР ПОЗИЦИИ ПРИБОРА НА СХЕМЕ	ЕДИНИЦА ИЗМЕРЕНИЯ	ДОПУСКАЕМЫЕ ПРЕДЕЛЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ	ТРЕБУЕМЫЙ КЛАСС ТОЧНОСТИ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ	ПРИМЕЧАНИЕ
1	2	3	4	5	6	7
Нефтегазосепаратор поз. С-1-1						
1	Давление в аппарате	PIA-0201	кгс/см <sup>2</sup>	не более 4,0	2,5	1р в 2 часа
2	Уровень жидкости	LCA-0103	м	1,5-1,95		1р в 2 часа
Нефтегазосепаратор поз. С-1-2						
3	Давление в аппарате	PIA -0202	кгс/см <sup>2</sup>	не более 4,0	2,5	1р в 2 часа
4	Уровень жидкости	LCA-0104	м	1,05 – 1,7		1р в 2 часа
Отстойник ОГ-1						
5	Давление в аппарате	PIA -0203	кгс/см <sup>2</sup>	не более 4,0	2,5	1р в 2ч с записью в реж. журнале
6	Уровень раздела фаз «вода – нефть»	LCA-0105	м	1,83-2,31		1р в 2 часа

7	Расход подтоварной воды	FQI-0310	м <sup>3</sup>			1р в 2ч с записью в реж. журнале
Отстойник ОГ-2						
8	Давление в аппарате	PIA -0204	кгс/см <sup>2</sup>	не более 4,0	2,5	1р в 2ч с записью в реж. журнале
9	Уровень раздела фаз «вода – нефть»	LCA-0106	м	1,6-2,17		1р в 2 часа
10	Расход подтоварной воды	FQI-0311	м <sup>3</sup>			1р в 2ч с записью в реж. журнале
Буферная емкость БЕ						
11	Давление в аппарате	PIA-0205	кгс/см <sup>2</sup>	не более 4,0	2,5	1р в 2ч с записью в реж. журнале
12	Уровень жидкости	LCA-0107	м	1,5-2,3		1р в 2 часа
Газосепаратор ГС-1						
13	Давление в аппарате	PI-0214	кгс/см <sup>2</sup>	не более 4,0	2,5	1р/2ч с записью в реж. журнале
14	Уровень жидкости	LA-0123 LA-0124	м	не более 4,0		1р в 2 часа
Газосепаратор ГС-2						
15	Давление в аппарате	PI-0215	кгс/см <sup>2</sup>	не более 4,0	2,5	1р в 2ч с записью в реж. журнале
16	Уровень жидкости	LA-0125 LA- 0126	м	1,27-4		1р в 2 часа
Газосепаратор ГС-3						
17	Давление в аппарате	PI-0216	кгс/см <sup>2</sup>	не более 4,0	2,5	1р в 2ч с записью в реж. журнале
18	Уровень жидкости	LA-0127 LA-0128	м	0,64-1,24		1р в 2 часа
Узел учёта газа на ФНД						
19	Давление газа	PI	кгс/см <sup>2</sup>	не более 4,0	2,5	1р в 2ч с записью в реж. журнале

20	Расход газа на ФНД	FQI-0302	м <sup>3</sup>	Исходя из газового фактора (м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup> нефти)		1р в 2ч с записью в реж. журнале
Узел учёта газа на ФВД						
21	Давление газа	PI	кгс\см <sup>2</sup>	не более 4,0	2,5	1р в 2ч с записью в реж. журнале
22	Расход газа на ФВД	FQI-0303	м <sup>3</sup>	Исходя из газового фактора (м <sup>3</sup> /т нефти)		1р в 2ч с записью в реж. журнале
Узел учёта газа на УПН						
23	Давление газа	PI	кгс\см <sup>2</sup>	не более 4,0	2,5	1р в 2ч с записью в реж. журнале
24	Расход газа на УПН	FQI-0307	м <sup>3</sup>	Исходя из газового фактора (м <sup>3</sup> /т нефти)		1р в 2ч с записью в реж. журнале
Узел учёта газа на продувку факельных коллекторов						
25	Давление газа	PI	кгс\см <sup>2</sup>	не более 4,0	2,5	1р в 2ч с записью в реж. журнале
26	Расход газа на продувку факельных коллекторов	FQI-0308	м <sup>3</sup>	150-200		1р в 2ч с записью в реж. журнале
Насосная						
27	Давление нефти на нагнетании ЦНС105/294 agr№1 при работе с частотным преобразователем «Электрон-05»	PIS-0208	кгс\см <sup>2</sup>	5,5 – 32,7	2,5	1р в 2ч с записью в реж. журнале
28	Давление нефти на нагнетании ЦНС105/294 agr№2 при работе с частотным преобразователем «Электрон-05»	PIS-0210	кгс\см <sup>2</sup>	5,5 – 32,7	2,5	1р в 2ч с записью в реж. журнале
29	Давление нефти на нагнетании ЦНС105/294 agr№3	PIS-0212	кгс\см <sup>2</sup>	24,2 -32,7	2,5	1р в 2ч с записью в реж. журнале

30	Давление нефти на приеме ЦНС105/294 агр№1	PIS-0207	кгс\см <sup>2</sup>	0,5 – 2,9	2,5	1р в 2ч с записью в реж. журнале
31	Давление нефти на приеме ЦНС105/294 агр№2	PIS-0209	кгс\см <sup>2</sup>	0,5 – 2,9	2,5	1р в 2ч с записью в реж. журнале
32	Давление нефти на приеме ЦНС105/294 агр№3	PIS-0211	кгс\см <sup>2</sup>	0,5 – 2,9	2,5	1р в 2ч с записью в реж. журнале
33	Температура подшипников насосов ЦНС105/294 агр№1,2,3	TISA-0406, 0407, 0408, 0409,0410, 0411	°С	не более 75	А	1р в 2ч с записью в реж. журнале
34	Температура подшипников электродвигателей ЦНС- 1, 2, 3	TISA-0422, 0423, 0427, 0428, 0432, 0433	°С	не более 75	А	1р в 2ч с записью в реж. журнале
35	Температура сальников насосов ЦНС – 1, 2, 3	TISA-0419, 0421, 0424, 0426, 0429, 0431	°С	не более 75	А	1р в 2ч с записью в реж. журнале
36	Температура линии разгрузки насосов ЦНС –1, 2, 3	TISA-0420, 0425, 0430	°С	не более 75	А	1р в 2ч с записью в реж. журнале
<b>Узел учета нефти</b>						
37	Расход нефти	FQI-0304,0305, 0306	м <sup>3</sup> /час	50 - 150 (по одной линии)		1р в 2ч с записью в реж. журнале
38	Содержание воды	QI-0305	%	не более 5,0		1р в 2ч с записью в реж. журнале
<b>Дренажные емкости</b>						
39	Уровень жидкости	LA-0108, 0109, 0110, 0107, 0114, 0115, 0123	м	не более 1,7		1р в 2 часа
40	Уровень жидкости	LA-0111, 0113, 0116, 0117	м	не более 1,8		1р в 2 часа

41	Давление жидкости на нагнетании НП	PI	кгс/см <sup>2</sup>	не более 5,0	2,5	Во время работы насоса
БРХ-1						
42	Давление нагнетания плунжерного насоса П-1	PIS-0206	кгс/см <sup>2</sup>	не более 6,0	2,5	1р в 2 часа
43	Уровень в расходной емкости Е-1	LI LSA-0101 LSA-0102	мм	300-1400		1р в 2 часа
БРХ-3						
44	Давление нагнетания плунжерного насоса П-3	PIS-0207	кгс/см <sup>2</sup>	не более 6,0	2,5	1р в 2 часа
45	Уровень в расходной емкости Е-3	LI LSA-0103 LSA-0104	мм	300-1400		1р в 2 часа
46	Температура реагента в емкости Е-3	TIC-0405 TIAS-0406	°С	20-60	2,5	1р в 2 часа
<b>ПНПТ-1,6 ХЛ</b>						
47	Давление на входе ПП	PISA-101	кгс/см <sup>2</sup>	не более 22		1 раз в 2 час с записью в сменном журнале
48	Давление на выходе из ПП	PISA-102	кгс/см <sup>2</sup>	не более 20		1 раз в 2 час с записью в сменном журнале
49	Температура на выходе из ПП	TIA-102	°С	не более 75		1 раз в 2 час с записью в сменном журнале
50	Температура теплоносителя	TISA-102	°С	не более 90		1 раз в 2 час с записью в сменном журнале

51	Давление топливного газа до РДБК	PISA-203	кгс/см <sup>2</sup>	не более 4		1 раз в 2 час с записью в сменном журнале
52	Давление топливного газа после РДБК	PISA-204	кгс/см <sup>2</sup>	не более 0,5		1 раз в 2 час с записью в сменном журнале
53	Уровень теплоносителя	LSA-102	%	не менее 80		1 раз в 2 час с записью в сменном журнале

№ П/П	НАИМЕНОВАНИЕ ПАРАМЕТРА	НАИМЕНОВАНИЕ ОБОРУДОВАНИЯ	КРИТИЧЕСКИЙ ПАРАМЕТР	ВЕЛИЧИНА УСТАНОВЛИВАЕМОГО ПРЕДЕЛА		БЛОКИРОВА КА		СИГНАЛИЗАЦИЯ		ОПЕРАЦИИ ПО ОТКЛЮЧЕНИЮ, ВКЛЮЧЕНИЮ,  ПЕРЕКЛЮЧЕНИЮ И ДРУГОМУ ВОЗДЕЙСТВИЮ
				МИНИМАЛЬНАЯ	МАКСИМАЛЬНАЯ	МИНИМАЛЬНАЯ	МАКСИМАЛЬНАЯ	МИНИМАЛЬНАЯ	МАКСИМАЛЬНАЯ	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	Давление в сепараторе	С-1-1	4,0 кгс/см <sup>2</sup>	-	4,0 кгс/см <sup>2</sup>	-	-	-	4,0 кгс/см <sup>2</sup>	Звуковая сигнализация Световая сигнализация
2	Уровень жидкости в сепараторе	С-1-1	0,82 м 2,55 м	1,5 м	1,95 м	-	-	1,5 м	1,95 м	Световая сигнализация
								0,82	2,55	Световая сигнализация Звуковая сигнализация
3	Давление в сепараторе	С-1-2	4,0 кгс/см <sup>2</sup>	-	4,0 кгс/см <sup>2</sup>	-	-	-	4,0 кгс/см <sup>2</sup>	Звуковая сигнализация Световая сигнализация
4	Уровень жидкости в сепараторе	С-1-2	0,65 м 2,0 м	1,05	1,7	-	-	1,05	1,70	Звуковая сигнализация Световая сигнализация
								0,65 м	2,0 м	Звуковая сигнализация Световая сигнализация
5	Давление в отстойнике	ОГ-1	4,0 кгс/см <sup>2</sup>	-	4,0 кгс/см <sup>2</sup>	-	-	-	4,0 кгс/см <sup>2</sup>	Звуковая сигнализация Световая сигнализация
6	Уровень раздела фаз “вода-нефть”	ОГ-1	0,96м 2,97м	1,83	2,31	-	-	1,83м	2,31м	Световая сигнализация
								0,96м	2,97м	Световая сигнализация Звуковая сигнализация
7	Давление в отстойнике	ОГ-2	4,0 кгс/см <sup>2</sup>	-	4,0 кгс/см <sup>2</sup>	-	-	-	4,0 кгс/см <sup>2</sup>	Звуковая сигнализация Световая сигнализация
8	Уровень раздела фаз “вода-нефть”	ОГ-2	0,96 м 2,54 м	1,6 м	2,17 м	-	-	1,6 м	2,17 м	Световая сигнализация
								0,96 м	2,54 м	Световая сигнализация Звуковая сигнализация
9	Давление в аппарате	БЕ	4,0 кгс/см <sup>2</sup>	-	4,0 кгс/см <sup>2</sup>	-	-	-	4,0 кгс/см <sup>2</sup>	Звуковая сигнализация Световая сигнализация
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
10		БЕ	0,9 м	1,5 м	2,3 м	-	-	1,5 м	2,3 м	Световая сигнализация

	Уровень жидкости		2,8 м					0,9 м	2,8 м	Световая сигнализация Звуковая сигнализация
11	Уровень жидкости в сепараторе	ГС-1	0,9 м	0,3 м	0,9 м	-	-	-	0,3 м	Звуковая сигнализация Световая сигнализация
									0,9 м	
12	Уровень жидкости в сепараторе	ГС-2	0,9 м	0,3 м	0,9 м	-	-	-	0,3 м	Звуковая сигнализация Световая сигнализация
									0,9 м	
13	Уровень жидкости в сепараторе	ГС-3	0,85 м	0,25 м	0,85 м	-	-	-	0,25 м	Звуковая сигнализация Световая сигнализация
									0,85 м	
14	Содержание углеводородов в воздушной среде на площадке	СИКГ	40 % НКПВ	-	-	-	-	-	20 % НКПВ	Звуковая сигнализация Световая сигнализация
									40 % НКПВ	
15	Давление нефти на нагнетании насоса при работе с «Электрон-05»	ЦНС-1	5,5 кгс/см <sup>2</sup> 32,7 кгс/см <sup>2</sup>	5,5 кгс/см <sup>2</sup>	32,7 кгс/см <sup>2</sup>	5,5 кг/с/с м <sup>2</sup>	32,7 кгс/см <sup>2</sup>	5,5 кгс/см <sup>2</sup>	32,7 кгс/см <sup>2</sup>	Звуковая сигнализация Световая сигнализация Останов насоса
16	Давление нефти на нагнетании насоса при работе с «Электрон-05»	ЦНС-2	5,5 кгс/см <sup>2</sup> 32,7 кгс/см <sup>2</sup>	5,5 кгс/см <sup>2</sup>	32,7 кгс/см <sup>2</sup>	5,5 кг/с/с м <sup>2</sup>	32,7 кгс/см <sup>2</sup>	5,5 кгс/см <sup>2</sup>	32,7 кгс/см <sup>2</sup>	Звуковая сигнализация Световая сигнализация Останов насоса
17	Давление нефти на нагнетании насоса	ЦНС-3	24,2 кгс/см <sup>2</sup> 32,7 кгс/см <sup>2</sup>	24,2 кгс/см <sup>2</sup>	32,7 кгс/см <sup>2</sup>	2,4,2 кг/с/с м <sup>2</sup>	32,7 кгс/см <sup>2</sup>	24,2 кгс/см <sup>2</sup>	32,7 кгс/см <sup>2</sup>	Звуковая сигнализация Световая сигнализация Останов насоса
18	Давление нефти на приеме насоса	ЦНС-1	0,1 кгс/см <sup>2</sup> 3,0 кгс/см <sup>2</sup>	0,5 кгс/см <sup>2</sup>	2,9 кгс/см <sup>2</sup>	0,1 кг/с/с м <sup>2</sup>	3,0 кгс/см <sup>2</sup>	0,1 кгс/см <sup>2</sup>	3,0 кгс/см <sup>2</sup>	Звуковая сигнализация Световая сигнализация Останов насоса

19	Давление нефти на приеме насоса	ЦНС-2	0,1 кгс/см <sup>2</sup> 3,0 кгс/см <sup>2</sup>	0,5 кгс/см <sup>2</sup>	2,9 кгс/см <sup>2</sup>	0,1 кгс/см <sup>2</sup>	3,0 кгс/см <sup>2</sup>	0,1 кгс/см <sup>2</sup>	3,0 кгс/см <sup>2</sup>	Звуковая сигнализация Световая сигнализация Останов насоса
20	Давление нефти на приеме насоса	ЦНС-3	0,1 кгс/см <sup>2</sup> 3,0 кгс/см <sup>2</sup>	0,5 кгс/см <sup>2</sup>	2,9 кгс/см <sup>2</sup>	0,1 кгс/см <sup>2</sup>	3,0 кгс/см <sup>2</sup>	0,1 кгс/см <sup>2</sup>	3,0 кгс/см <sup>2</sup>	Звуковая сигнализация Световая сигнализация Останов насоса
21	Температура подшипников	ЦНС	75 <sup>0</sup> С	-	-	-	75 <sup>0</sup> С	-	75 <sup>0</sup> С	Звуковая сигнализация Световая сигнализация Останов насоса
22	Температура подшипников электродвигателя	ЦНС-1,2,3	75 <sup>0</sup> С	-	75 <sup>0</sup> С	-	75 <sup>0</sup> С	-	75 <sup>0</sup> С	Звуковая сигнализация Световая сигнализация Останов насоса
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
23	Температура линии разгрузки	ЦНС-1,2,3	75 <sup>0</sup> С	-	75 <sup>0</sup> С	-	75 <sup>0</sup> С	-	75 <sup>0</sup> С	Звуковая сигнализация Световая сигнализация Останов насоса
24	Температура сальников насоса	ЦНС-1,2,3	75 <sup>0</sup> С	-	75 <sup>0</sup> С	-	75 <sup>0</sup> С	-	75 <sup>0</sup> С	Звуковая сигнализация Световая сигнализация Останов насоса
25	Положение защитного кожуха насоса	ЦНС-1,2,3	Кожух снят	-	-	-	Кожух снят	-	Кожух снят	Звуковая сигнализация Световая сигнализация Останов насоса
26	Содержание углеводородов в воздушной среде помещения	Маш. зал	40 % НКПВ	-	-	-	20 % НКПВ	-	20 % НКПВ	Звуковая сигнализация Световая сигнализация Включение вытяжной вентиляции.
						-	40 % НКПВ	-	40 % НКПВ	Звуковая сигнализация Световая сигнализация Выключение вытяжной

										вентиляции. Останов насосов
27	Уровень жидкости в емкости	ЕПС-1 ДЕ-1,2,6	2,3 м	0,6	1,8	-	-	-	2,3 м	Звуковая сигнализация Световая сигнализация
28	Уровень жидкости в емкости	ДЕ-3,4,5,7 ЕПС-2 ЕК1,2	2,2 м	0,5	1,7 м	-	-	-	2,2 м	Звуковая сигнализация Световая сигнализация
29	Давление Нагнетания насоса	П-1 (БРХ)	6 кгс/см <sup>2</sup>	-	6 кгс/см <sup>2</sup>	-	6 кгс/см <sup>2</sup>	-	-	Останов насоса
30	Уровень реагента в расходной ёмкости	Е-1 (БРХ)	22 см 150 см	30 см	140 см	2 2	150	22	150	Останов насоса НД Останов насоса НШ
31	Давление Нагнетания насоса	П-3 (БРХ)	6 кгс/см <sup>2</sup>	-	6 кгс/см <sup>2</sup>	-	6 кгс/см <sup>2</sup>	-	-	Останов насоса
32	Уровень реагента в расходной ёмкости	Е-3 (БРХ)	22 см 150 см	30 см	140 см	2 2	150	22	150	Останов насоса НД Останов насоса НШ Отключение электрообогревателей
33	Температура реагента в расходной ёмкости	Е-3 (БРХ)	20 °С 60 °С	20 °С	60 °С	-	65 °С	20 °С	60 °С	Останов насоса НД Останов насоса НШ Отключение электрообогревателей
34	Давление на входе в ПП	ПНПТ-1,6 ХЛ	22 кгс/см <sup>2</sup>	1 кгс/см <sup>2</sup>	22 кгс/см <sup>2</sup>	1 кгс/см <sup>2</sup>	22 кгс/см <sup>2</sup>	1 кгс/см <sup>2</sup>	22 кгс/см <sup>2</sup>	Звуковая сигнализация Световая сигнализация Заккрытие задвижек ЗдЭ1, ЗдЭ2, кЭ1
35	Давление на выходе из ПП	ПНПТ-1,6 ХЛ	20 кгс/см <sup>2</sup>	1 кгс/см <sup>2</sup>	20 кгс/см <sup>2</sup>	1 кгс/см <sup>2</sup>	20 кгс/см <sup>2</sup>	1 кгс/см <sup>2</sup>	20 кгс/см <sup>2</sup>	Звуковая сигнализация Световая сигнализация Заккрытие задвижек ЗдЭ1, ЗдЭ2, кЭ1

36	Температура на выходе из ПП	ПНПТ-1,6 ХЛ	70 °С		65 °С	5 8 0 С	65 °С			Включение, выключение горелки ПНПТ
37	Температура теплоносителя	ПНПТ-1,6 ХЛ	95 °С		95 °С		95 °С		95 °С	Звуковая сигнализация Световая сигнализация Выключение горелки ПНПТ
38	Давление топливного газа до РДБК	ПНПТ-1,6 ХЛ	4 кгс/см <sup>2</sup>		4 кгс/см <sup>2</sup>				4 кгс/см <sup>2</sup>	Звуковая сигнализация Световая сигнализация

Таблица 8.2.

39	Давление топлива газа после РДБК	ПН ПТ-1,6 ХЛ	0,5 кгс/см <sup>2</sup>	0,1 кгс/см <sup>2</sup>	0,5 кгс/см <sup>2</sup>	0,1 кгс/см <sup>2</sup>	0,5 кгс/см <sup>2</sup>	0,1 кгс/см <sup>2</sup>	0,5 кгс/см <sup>2</sup>	Звуковая сигнализация Световая сигнализация Включение, выключение горелки ПНПТ
40	Содержание углеводородов в воздушной среде помещения	УК-1	40 % НКПВ		40 % НКПВ		40 % НКПВ		40 % НКПВ	Звуковая сигнализация Световая сигнализация Включение вентиляции при 20 % НКПВ Закрытие электроклапана кЭ-1
41	Содержание углеводородов в воздушной среде на технологической площадке	Технологическая площадка ПН ПТ-1,6 ХЛ	20 % НКПВ		20 % НКПВ		20 % НКПВ		20 % НКПВ	Звуковая сигнализация Световая сигнализация Закрытие задвижек ЗдЭ1, ЗдЭ2, кЭ1
42	Содержание углеводородов в воздушной среде помещения	УК-2	40 % НКПВ		40 % НКПВ		40 % НКПВ		40 % НКПВ	Звуковая сигнализация Световая сигнализация Включение вентиляции при 20 % НКПВ
43	Температура дымовых газов	ПН ПТ-1,6 ХЛ	250 °С		250 °С		250 °С		250 °С	Звуковая сигнализация Световая сигнализация Прекращение подачи газа на горелку ПНПТ-1,6 ХЛ

## Список использованной литературы

1. Технологический регламент установки предварительного сброса воды №1 (УПСВ-1) ЦППН-4.
2. Лутошкин Г.С. Дунюшкин И. И. Сборник задач по сбору и подготовке нефти, газа и воды на промыслах. Учебник для вузов. М.: Недра, 1985. – 135 с.
3. Лазинский А.А., Толчинский А.Р. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры: Справочник. — 2-е изд. – Л.: Машиностроение, 1970. – 752 с.
4. ГОСТ Р 52857.2-2007 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет цилиндрических и конических обечаек, выпуклых и плоских днищ и крышек.
5. АТК 24.218.06-90 Штуцера для сосудов и аппаратов стальных сварных. Типы, основные параметры, размеры и общие технические требования.
6. ГОСТ 12821-80 Фланцы стальные приварные встык. Конструкция и размеры.
7. ГОСТ Р 52857.3-2007 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Укрепление отверстий в обечайках и днищах при внутреннем и внешнем давлениях. Расчет на прочность обечаек и днищ при внешних статических нагрузках на штуцер.
8. Михалева М. Ф.: Расчет и конструирование машин и аппаратов химических производств. Примеры и задачи, 1984, 301с.
9. ГОСТ Р 52857.4-2007 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет на прочность и герметичность фланцевых соединений.
10. ГОСТ Р 52857.5-2007 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет обечаек и днищ от воздействия опорных нагрузок
11. Молоканов Ю.К., Харас З.Б. Монтаж аппаратов и оборудования для нефтяной и газовой промышленности. М:Недра, 1982. – 391 с.
12. Семакина О.К. Монтаж, эксплуатация и ремонт оборудования отрасли. Методические указания по расчетам. Томск, 2002. – 38 с.

13. Матвеев В.В., Крупнин Н.Ф. Примеры расчета такелажной оснастки. – Л.: Стройиздат, 1987. – 320 с.
14. Кушелев В.П. Охрана труда на нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности. М: Химия, 1983. – 472 с.
15. Белов С.В., Девисилов В.А. Безопасность жизнедеятельности. М:Высш. шк., 2007. – 616 с.
16. Панов Г.Е. Охрана окружающей среды на предприятиях нефтяной и газовой промышленности. М:Недра, 1986. – 244 с.
17. Бусыгина Н.В., Бусыгин И.Г. Технология переработки природного газа и газового конденсата. Оренбург: ИПК Газпромпечатать, 2002. – 432 с.
18. ГОСТ Р 52857.1-2007 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Общие требования.
19. Бухаленко Е.И. Нефтепромысловое оборудование. Справочник. М: Недра, 1990. – 559 с.