# МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИК БЕЛАРУСЬ

УЧРЕЖДЕНИЯ ОБРАЗОВАНИЯ

«ПОЛОЦКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к выполнению курсового проекта

по дисциплине:

«СООРУЖЕНИЕ ОБЪЕКТОВ ТРУБОПРОВОДНОГО ТРАНСПОРТА»

для студентов специальности 70 05 01 «Проектирование, сооружение и эксплуатация газонефтепроводов и газонефтехранилищ»

очной и заочной форм обучения

НОВОПОЛОЦК, 2015

УДК 62:621.64

Одобрены и рекомендованы к изданию

Методической комиссией инженерно-технологического факультета

Кафедра «Трубопроводного транспорта, водоснабжения и гидравлики»

Составители:

Л.М. СПИРИДЁНОК, доцент кафедры ТТВиГ, кандидат технических наук

А.И. Бондарчук, старший преподаватель кафедры ТТВиГ

Рецензенты:

В.К. ЛИПСКИЙ, заведующий кафедры ТТВиГ доктор технических наук, профессор

А.Г. КУЛЬБЕЙ, доцент кафедры ТТВиГ кандидат технических наук

В первой части методических указаний освещены вопросы о проведении расчетов по сооружению переходов через препятствия: приведены расчеты на прочность (для кожуха), расчеты по подбору балластирующих устройств, по методам строительства переходов на выбор студента, с целью анализа профиля и геологических параметров участка.

Вторая часть методических указаний направлена на проектирование площадочных объектов строительства – сооружение вертикальных стальных резервуаров. В этой части освещены вопросы о проведении расчетов на прочность и герметичность стенки, проектирование днища и выбор типа крыши с учетом заданных параметров.

©Полоцкий государственный университет, 2015

**СОДЕРЖАНИЕ**

|  |  |
| --- | --- |
| **ЧАСТЬ 1. СООРУЖЕНИЕ ПЕРЕХОДОВ ТРУБОПРОВОДОВ****ЧЕРЕЗ ЕСТЕСТВЕННЫЕ И ИСКУССТВЕННЫЕ ПРЕПЯТСТВИ**Я……………………………………………………….. | 3 |
| **РАЗДЕЛ 1. РАСЧЕТ ТРУБОПРОВОДА НА ПРОЧНОСТЬ**………. |  |
| * 1. Определение толщины стенки трубы………………………………
 |  |
| Расчет напряжений, действующих на трубопровод………………... |  |
| 1.3 Проверка прочности трубопровода………………………………… |  |
| **РАЗДЕЛ 2. СТРОИТЕЛЬСТВО ПЕРЕХОДА ЧЕРЕЗ ЕСТЕСТВЕННЫЕ ПРЕПЯТСТВИЯ**…………………………………. |  |
| 2.1 Расчет подводного перехода…………………………………………. |  |
| 2.1.1 Расчет устойчивости подводного трубопровода………………… |  |
| 2.1.2 Расчет объема земляных работ в русловой и береговой части перехода…………………………………………………………………… |  |
| 2.2 Расчеты по методу строительства…………………………………… |  |
| 2.2.1 Протаскивание……………………………………………………. |  |
| 2.2.1.1 Расчет тягового усилия при протаскивании трубопровода…… |  |
| 2.2.1.2 Расчет тягового троса……………………………………………. |  |
| 2.2.1.3 Расчет скорости протаскивания…………………………………. |  |
| 2.2.2 Погружение трубопровода с поверхности воды………………….. |  |
| 2.2.3 Пример расчета погружения с поверхности воды……………….. |  |
| **РАЗДЕЛ 3. СТРОИТЕЛЬСТВО ПЕРЕХОДА ЧЕРЕЗ ИСКУССТВЕННЫЕ ПРЕПЯТСТВИЯ**……………………………… |  |
| 3.1 Расчет футляра трубопровода………………………………………. |  |
| 3.1.1 Расчет перехода через автодорогу……………………………….. |  |
| 3.1.2 Примера расчета перехода под автодорогой……………………. |  |
| 3.1.3 Расчет трубопровода через железнодорожный переезд…………………………………………………………………….. |  |
| 3.2 Расчеты по методу строительства…………………………………… |  |
| 3.2.1 Продавливание……………………………………………………… |  |
| 3.2.2 Горизонтальное бурение…………………………………………… |  |
| 3.2.3 Пример расчет кожуха методом горизонтального бурения…….. |  |
| **ВАРИАНТЫ ЗАДАНИЙ на курсовое проектирование на тему «Сооружение переходов трубопроводов через естественные и искусственные препятствия»…………………………………………..** |  |
| **ЧАСТЬ 2. «СООРУЖЕНИЕ ВЕРТИКАЛЬНОГО СТАЛЬНОГО РЕЗЕРВУАРА»**…………………………………………………………... |  |
| **РАЗДЕЛ 1. РАСЧЕТ КРЫШИ СТАЛЬНОГО РЕЗЕРВУАРА**…….. |  |
| 1.1 Стационарная крыша…………………………………………………. |  |
| 1.1.1 Расчет конической самонесущей крыши…………………………. |  |
| 1.1.2 Пример расчета самонесущей крыши стального резервуара……. |  |
| 1.1.3 Расчет конической каркасной крыши…………………………….. |  |
| 1.1.3.1 Коническая крыша с центральной стойкой…………………….. |  |
| 1.1.3.2 Пример расчета конической крыши с центральной стойкой…. |  |
| 1.1.3.3. Коническая крыша без центральной стойки…………………… |  |
| 1.1.3.4 Пример расчета конической крыши без центральной стойки… |  |
| 1.1.4 Расчет сферической крыши………………………………………... |  |
| 1.1.4.1 Характеристика купола…………………………………………... |  |
| 1.1.4.2 Нагрузка на купол………………………………………………… |  |
| 1.1.4.3 Расчет радиальных балок сферы………………………………… |  |
| 1.1.4.4 Расчет кольцевых элементов…………………………………….. |  |
| 1.1.5 Пример расчета сферической крыши……………………………... |  |
| **РАЗДЕЛ 2. ПРОЕКТИРОВАНИЕ СТЕНКИ СТАЛЬНОГО РЕЗЕРВУАРА**……………………………………………………………. |  |
| 2.1 Расчет стенки резервуара на прочность…………………………….. |  |
| 2.2 Пример расчета толщины стенки пояса резервуара……………….. |  |
| 2.3 Расчет стенки резервуара на устойчивость…………………………. |  |
| 2.4 Пример расчета редуцированной высоты………………………….. |  |
| 2.5 Пример расчета стенки резервуара на устойчивость………………. |  |
| **РАЗДЕЛ 3. РАСЧЕТ ОКРАЙКИ ДНИЩА РЕЗЕРВУАРА**………… |  |
| **ВАРИАНТЫ ЗАДАНИЙ на курсовое проектирование на тему «Сооружение вертикального стального резервуара»**  |  |
| Список использованной литературы.…………………………………… |  |
| Приложение А – Перечень газовых месторождений и состав газа…… |  |

**ЧАСТЬ 1. СООРУЖЕНИЕ ПЕРЕХОДОВ ТРУБОПРОВОДОВ**

**ЧЕРЕЗ ЕСТЕСТВЕННЫЕ И ИСКУССТВЕННЫЕ ПРЕПЯТСТВИЯ**

**РАЗДЕЛ 1. РАСЧЕТ ТРУБОПРОВОДА НА ПРОЧНОСТЬ**

**1.1 Определение толщины стенки трубы**

Расчет трубопровода на прочность ведется в соответствии с [1].

Зная диаметр проектируемого трубопровода и его рабочее давление, выбираем класс прочности стали, из которой эти трубы изготавливают согласно [2] или [3] (для газопроводов).

Определяем расчетную толщину стенки по следующей формуле:

 (1.1)

Где:

 – коэффициент надежности по нагрузке (внутреннему рабочему давлению в трубопроводе), выбирается в соответствии по таблице 1.

*Таблица 1*

**Значения коэффициент надежности по нагрузке**

|  |  |
| --- | --- |
| По внутреннему рабочему давлению | Коэффициент n |
| Для НП диаметром 700-1400 мм с промежуточными НПС без подключений емкостей | 1,15 |
| Во всех других случаях | 1,1 |

 – рабочее давление, Па;

 – наружный диаметр трубы, м;

 – расчетные сопротивления растяжению, Па.

Расчётное сопротивление металла трубы и сварных соединений R1 определяем по формуле:

 (1.2)

Где:

R1н – нормативное сопротивление растяжению металла труб и сварных соединений, равное значению временного сопротивления, Па;

m - коэффициент условий работы трубопровода, принимается согласно таблице 2;

*Таблица 2*

**Значение коэффициента условий работы трубопровода от категории**

|  |  |
| --- | --- |
| Категория трубопровода и его участка | Коэффициент условий работы, m |
| В | 0,6 |
| I, II | 0,75 |
| III, IV | 0,9 |

k1 – коэффициент надежности по материалу, принимаемый по таблице 3.

*Таблица 3*

**Значения коэффициента надежности по материалу k1**

|  |  |
| --- | --- |
| Характеристика труб | k1 |
| Термически упрочнёные трубы (закалённые и отпущенные в трубе или листе); из низколегированной стали, прокатанной по регулируемому режиму | 1,34 |
| Горячеправленые (по режиму нормализации), термически упрочнённые (закалённые и отпущенные в трубе или листе), из нормализованной улучшенной низколегированной стали, из стали, прокатанной по регулируемому режиму | 1,4 |
| Спиральношовные из горячекатаной низколегированной стали, сваренные в три слоя, и прямошовные экспандированные трубы из нормализованной листовой стали, сваренные двусторонним швом дуговым методом | 1,47 |
| Прямошовные экспандированные и спиральношовные из горячекатаной низколегированной и углеродистой стали. Бесшовные трубы. | 1,57 |

kн - коэффициент надёжности по назначению, принимаем по таблице 4.

*Таблица 4*

**Значение коэффициента надежности по назначению**

|  |  |
| --- | --- |
| Условный диаметр трубопровода, мм | Значение коэффициента надежности по назначению трубопровода kн |
| для газопроводов в зависимости от внутреннего давления р, МПа | для нефтепроводов и нефтепродуктопроводов |
| р≤ 5,4 | 5,4 <р≤ 7,4 | 7,4 <р≤ 10 |
| 500 и менее | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| 600-1000 | 1,00 | 1,00 | 1,05 | 1,00 |
| 1200 | 1,05 | 1,05 | 1,10 | 1,05 |
| 1400 | 1,05 | 1,10 | 1,15 | - |

Полученное расчетное значение толщины стенки трубы округляется до ближайшего большего значения, предусмотренного государственными стандартами или техническими условиями. При этом минусовой допуск на толщину стенки труб не учитывается.

В соответствии с [1] толщину стенки труб следует принимать не менее 1/140 Dн, но не менее 3 мм для труб условным диаметром 200 мм и менее, и не менее 4 мм - для труб условным диаметром свыше 200 мм.

## **Расчет напряжений, действующих на трубопровод**

Магистральные трубопроводы рассчитывают по методу предельных состояний. Предельным состоянием называют такое, при достижении которого нормальная эксплуатация рассчитываемой конструкции становится невозможной. Различают первое, второе и третье предельные состояния. Первым предельным состоянием называется такое, при достижении которого рассматриваемая конструкция теряет несущую способность, или способность сопротивляться приложенным к ней усилиям, т.е. разрушается. Второе предельное состояние характеризуется чрезмерными, недопустимыми при эксплуатации остаточными деформациями или колебаниями. Третье предельное состояние определяется чрезмерными, недопустимыми при эксплуатации трещинами.

Уложенные в грунт магистральные трубопроводы рассчитываются по первому предельному состоянию, т.е. принимают, что наибольшее усилие, испытываемое трубопроводом, не должно превышать его несущей способности.

Для уложенного в грунт трубопровода достижение предела текучести не означает потерю работоспособности. Трубопровод может успешно эксплуатироваться до тех пор, пока напряжения в нем не достигнут предела прочности. При этом, в расчетах на прочность считают, что он идеально круглый, учитывая лишь внутреннее давление. Это воздействие оказывает основное влияние на работу трубопровода, находящегося под землей.

Таким образом, для определении несущей способности конструкции необходимо определить продольные напряжения в трубе и провести проверку прочности подземного магистрального трубопровода.

Продольные осевые напряжения σпр.N, определяются от расчетных нагрузок и воздействий с учетом упругопластической работы металла. В частности, для прямолинейных и упруго-изогнутых участков подземных и наземных (в насыпи) трубопроводов при отсутствии продольных и поперечных перемещений, просадок и пучения грунта продольные осевые напряжения определяются по формуле:

 (1.3)

Где:

α – коэффициент линейного расширения металла трубы (для стали α=1,2·10-51/˚С);

 - коэффициент надежности по нагрузке (внутреннему рабочему давлению в трубопроводе), выбирается в соответствии по таблице 1;

 - рабочее давление, Па;

Е – модуль упругости металла. Для стали принимается равным 2,06·105МПа;

 – толщина стенки трубы, м;

 – внутренний диаметр трубопровода, м;

 - коэффициент Пуассона, для углеродистой стали 0,25 - 0,3.

 – расчётный температурный перепад, принимаемый положительным при нагревании, °С. Определяется согласно формуле:

, (1.4)

Где:

 - то же, что и в формуле (1.5);

 – определяется согласно формуле (1.2).

Если , то в трубопроводе возникают сжимающие осевые продольные напряжения, которые должны учитываться при расчете толщины стенки. Следовательно, возникает необходимость в пересчете параметра по формуле:

 (1.5)

Где:

 - коэффициент, учитывающий двухосное напряженное состояние труб, определяемый по формуле:

, (1.6)

## **1.3 Проверка прочности трубопровода**

Определив значение продольных напряжений по формуле (1.3), необходимо провести проверку прочности проектируемого участка трубопровода по условию формулы:

 (1.7)

В случае если , то в трубопроводе возникают растягивающие осевые продольные напряжения и коэффициент, учитывающий двухосное напряженное состояние металла труб, принимается равным 1. При выполнении данного условия, завершается расчет на прочность участка трубопровода, и принимается рассчитанная по формуле (1.1) толщина стенки.

Если , то в трубопроводе возникают сжимающие осевые продольные напряжения. Следовательно, возникает необходимость в пересчете толщины стенки трубопровода по формуле (1.5) и (1.6). Далее рассчитать значения напряжений по формуле (1.3) и провести проверку прочности с учетом коэффициента , который определяем по формуле:

, (1.11)

, (1.12)

Где:

 – номинальная толщина стенки, м.

**РАЗДЕЛ 2. СТРОИТЕЛЬСТВО ПЕРЕХОДА ЧЕРЕЗ ЕСТЕСТВЕННЫЕ ПРЕПЯТСТВИЯ**

**2.1 Расчет подводного перехода**

**2.1.1 Расчет устойчивости подводного трубопровода**

Определим Dосн диаметр оснащенного изолированного и зафутерованного трубопровода:

 (2.1)

 и ⎯ толщина слоя противокоррозионной изоляции и футеровки, принимается согласно [5] и [6].

Условие устойчивости трубопровода на дне в период строительства и последующей эксплуатации имеет вид:

 (2.2)

Где:

 - необходимая величина пригрузки единицы длины трубопровода;

 - коэффициент надежности по нагрузке, для чугунных грузов принимаем 1; для железобетонных грузов – 0,9;

 - коэффициент надежности против всплытия:

* для пойменных участков принимаем 1,05;
* для русловых переходов при ширине до 200 м – 1,1
* для русловых участков переходов при ширине реки свыше 200 м - 1,15;

 - выталкивающая сила воды. Определяется по формуле (с учетом изоляции и футеровки):

 (2.3)

Где:

 - объемный вес воды с учетом взвешенных в воде частиц, принимается равным 10,3 – 10,8 кН/м3;

Определим число Рейнольдса:

, (2.4)

Где:

 - средняя скорость течения воды;

 – кинематическая вязкость воды, принимаем 1,01·10-6 м2/с;

 - расчетная интенсивность нагрузки от упругого отпора при свободном изгибе трубопровода. Определяется по формуле:

 (2.5)

Где:

 – модуль упругости металла. Для стали принимается равным 2,06·105МПа;

 – угол поворота трубопровода, равен 0,07 рад;

 – радиус упругого изгиба трубопровода, равен 1000;

 – момент инерции поперечного сечения трубопровода. Определяется по формуле:

 (2.6)

Где:

 - наружный диаметр трубопровода, м;

 - внутренний диаметр, м.

 - расчетная интенсивность нагрузки от вертикальной составляющей гидродинамического воздействия потока. Определяется по формуле:

 (2.7)

Где:

 – коэффициент лобового сопротивления и подъемной силы при обтекании трубы

 - объемный вес воды с учетом взвешенных в воде частиц, принимается равным 10,3 – 10,8 кН/м3;

 - средняя скорость течения воды;

 - ускорение свободного падения, принимается 9,81 м/с2;

 - диаметр оснащенного трубопровода, рассчитанный по (2.1);

 - расчетная интенсивность нагрузки от горизонтальной составляющей гидродинамического воздействия потока:

 (2.8)

Cx  - коэффициенты лобового сопротивления и подъемной силы при обтекании трубы, Сy = 0,55 , Сx - принимается в зависимости от числа Рейнольдса (при Re < 105, Cx = 1,2; при Re > 105, Cx = 1);

 - коэффициент трения трубопровода о грунт, зависит от характеристик грунта и принимается по таблице 5.

Таблица 5

**Значения коэффициентов трения трубы о грунт в зависимости от типа грунта**

|  |  |
| --- | --- |
| Грунт | Коэффициент трения трубопровода о грунт  |
| Разрушенная скала, скальные грунты | 0,65 |
| Пески крупные и гравелистые | 0,55 |
| Пески мелкие и супеси | 0,45 |
| Илистые и суглинистые грунты | 0,40 |

Для определения веса изоляционного покрытия и футеровки на 1 м трубопровода необходимо знать диаметр трубопровода совместно с изоляционным покрытием:

, мм (2.7)

Расчетная нагрузка от веса оснащенного трубопровода с футеровкой:

 , Н/м (2.8)

Где:

qсв - собственный вес единицы длины трубопровода,

 ,Н/м (2.9)

Где:

 - удельный вес стали, =7850 Н/м3.

qиз - вес изоляционного покрытия:

 ,Н/м (2.10)

Где:

tиз - вес изоляционного покрытия на 1 м2 поверхности трубы, tиз =4,41 H/м2 [5],

qф - вес футеровки:

 , Н/м (2.11)

 - объемный вес футеровки,  = 7,45 кН/м,

Определим расчетная нагрузка от веса нефтепродукта qдоп:

 , Н/м (2.12)

ρн – плотность транспортируемого продукта, кг/м3;

Dвн – внутренний диаметр трубопровода, м.

Для определения расчетной нагрузки от веса реального газа, необходимо учесть все параметры газа:

 (2.13)

Где:

- плотность смеси реального газа, кг/м3. Определяется согласно п.18.2 [4];

 *-* давление газопровода, МПа;

- коэффициент сжимаемости реального газа п. 18.2 [4];

- газовая постоянная смеси транспортируемого газа, . Определяется с учетом состава газа согласно [5].

- температура транспортируемого газа, К.

Определим расстояние между пригрузами:

, м (2.14)

Где:

 - вес одного груза в воздухе, кН (выбрать по типу);

 - удельный вес воды с учетом взвешенных частиц;

 - объём груза (выбрать по типу).

Или если в воде:

,м (2.15)

Где:

 - вес одного груза в воде, кН (выбрать по типу);

Количество грузов для балластировки трубопровода длиной L определяется как:

, (2.16)

где L- общая длина (реальная) трубопровода;

Lгр – расстояние между пригрузами.

Вес единицы длины трубопровода в воздухе с выбранным типом груза:

, Н/м (2.17)

Или вес единицы длины трубопровода в воде с выбранным типом груза:

, Н/м (2.18)

**2.1.2 Расчет объема земляных работ в русловой и**

**береговой части перехода**

Расчет объемов земляных работ определяются по отдельности для русловой и для береговой части подводного перехода.

Проектная отметка верха забалластированного трубопровода при проектировании подводных переходов должна назначаться на 0,5 м ниже прогнозируемого предельного профиля размыва русла реки, определяемого на основании инженерных изысканий, с учетом размыва русла реки в течение 25 лет после окончания строительства перехода, но не менее 1 м от естественных отметок дна водоема.

Крутизна откосов подводных траншей следует назначать в соответствии с требованиями СНиП III-42-80.

Профиль трассы трубопровода следует принимать с учетом допустимого радиуса изгиба трубопровода, рельефа русла реки и расчетной деформации (предельного профиля размыва), геологического строения дна и берегов, необходимой пригрузки и способа укладки подводного трубопровода.

Определим глубину траншеи:

 (2.19)

где Dб – диаметр забалластированного трубопровода;

hр – расстояние от поверхности земли до верхней образующей трубы (уровень размыва за 25 лет).

Определим ширину траншеи по дну в русловой части перехода:

 , (2.20)

Dб - наружный диаметр оснащенного (забалластированного) трубопровода, Dосн принимается равным наружному диаметру кольца Dгр;

bk - ширина зазора между трубопроводом и кабелем связи, bk = 0,5м. Кабель связи укладывается в форме змейки, чтобы не разорвался;

bб - расстояние от боковой поверхности трубопровода до подошвы откосов траншеи (проход для водолаза при обследовании трубопровода после его укладки), bб=0,7 м;

bз – запас на заносимость траншеи донными наносами со стороны ее верхнего откоса. Если скорость течения реки не превышает 0,5 м/с, то bз=0.

bр – запас на допускаемые отклонения по ширине траншеи в процессе ее разработки, bр=0,5 м;

bТ – запас на отклонения продольной оси трубопровода в процессе его укладки от проектной оси траншеи (принимается 0,5 м на 1000 м длинны перехода):

. (2.21)

Если скорость течения превышает 0,5 м/с, то

 (2.22)

qз – средняя интенсивность отложений донных наносов на 1 м фронта траншеи. Примем для расчетов 40·10-3 м2/сут;

Тз – продолжительность занесения траншеи, примем 25 суток.

Определим площадь поперечного сечения траншеи:

, (2.23)

Где:

h – глубина траншеи;

b – ширина траншеи по дну;

m – крутизна откосов траншеи. Числовые данные, определяемые как отношение h к горизонтальной проекции откоса.

Определим объем земляных работ:

 (2.24)

В зависимости от объемов земляных работ с учетом производительности выбранной машины необходимо определим число машин для завершения земляных работ:

 (2.25)

Qз – производительность машины.

**2.2 Расчеты по методу строительства**

Метод строительства выбирается в зависимости от профиля подводного перехода с учетом целесообразности использования ресурсов.

**2.2.1 Протаскивание**

**2.2.1.1 Расчет тягового усилия при протаскивании трубопровода**

Усилие протаскивания при трогании (вдергивании) трубопровода с места по грунту определяется по формуле:

 , (2.26)

Где:

- вес единицы длины снаряженного (забалластированного) трубопровода;

 - коэффициент трения грунта;

 ˚ - угол внутреннего трения грунта;

- восстанавливающаяся часть сцепления грунта, равняется 10% от структурного сцепления грунта, = 1,82кПа ;

 - длина части окружности трубы, врезающейся в грунт:

 , (2.27)

L - длина протаскиваемой плети;

Епас - пассивный отпор грунта с врезающимся в него утяжеляющим грузом (при сплошном обетонирование Епас равно нулю):

 (2.28)

Где:

Nгр- количество пригрузов;

γест = 20 кН/м3 - объёмный вес грунта естественного состояния;

tгр = - толщина выступающего груза;

При установившемся движении трубопровода усилие протаскивания определяется по формуле:

 , (2.29)

 = 0,1 - коэффициент трения грунта при сдергиваниии трубопровода с роликов.

При вынужденных остановках движения трубопровода прилагается повторное сдергивающее усилие (продолжительностью более 2 ч):

 , (2.30)

Где:

qпр - удельное усилие присоса для плотных глин и суглинков, qпр =0,29кН/м2, для вязких qпр =0,59кН/м2

Подбор тягового средства производится по величине наибольшего расчетного тягового усилия:

 , (2.31)

Где:

m0 - коэффициент условий работы тяговых средств, m0 = 1,1 - при протаскивание лебедкой; m0 = 1,2 - при протаскивание тягачами;

T0 - наибольшее тяговое усилие;

Если использовать полиспаст, то усилие уменьшается в два раза.

**2.2.1.2 Расчет тягового троса**

Расчетное усилие, действующее на тяговый трос:

 , (2.32)

Где:

n - коэффициент перегрузки, n = 1,3 - при протаскивании трубопровода по специальным дорожкам (стланям), n = 2 - при протаскивании трубопровода по грунту;

m - коэффициент условий работы, m = 1,1;

k - коэффициент однородности троса, k = 1 для новых тросов; k = 0,8 для тросов с обрывами волокон;

t - коэффициент тросового соединения, зависящий от крепления троса за трубоукладчик, значения коэффициента приведены в таблице 6.

Таблица 6

**Коэффициент тросового соединения**

|  |  |
| --- | --- |
| Вид соединений троса | Значения коэффициента t |
| При изгибе троса: | Вокруг подвижного блока | 0,43 |
| Вокруг ковша | 0,67 |
| Продетого в отверстие планки | 0,35 |
| Через крюк простой петлей | 0,20 |
| При наличии на тросе расправленных узлов | 0,50 |
| При наличии оплетки | 0,75 |
| При сжатии троса специальными сжимами | 0,70 |

Tр.Т ⎯тяговое усилие, развиваемое при использовании полиспаста:

, (2.33)

Где:

в — число ветвей полиспаста.

Полученное значение расчетного усилия не должно превышать предельных величин разрывного усилия для троса конкретного диаметра.

**2.2.1.3 Расчет скорости протаскивания**

Скорость протаскивания трубопровода определяется из условия предотвращения всплытия протащенной части трубопровода. При этом уровень воды в трубе не должен опускаться ниже зеркала воды в водоеме более чем на .

Секундный расход воды, поступающей в трубопровод через заливное отверстие диаметром , равен:

 , (2.34)

 – коэффициент расхода для кругового сечения с острыми краями, = 0,62;

h0 – максимальный уровень недозаполнения трубопровода водой, h0 = 1 м;

 – ускорение свободного падения.

С учетом численных значений 

  (2.35)

Расход воды в трубопроводе с внутренним диаметром D, потаскиваемого со скоростью , составляет:

 , (2.36)

Из условия обеспечения устойчивости трубопровода в процессе протаскивания:

 (2.37)

Откуда скорость протаскивания трубопровода:

 (2.38)

При заданной скорости протаскивания трубопровода (например, исходя из характеристик лебедки) необходимый диаметр заливного отверстия:

 (2.39)

**2.2.2 Погружение трубопровода с поверхности воды**

В данном способе укладки при заливе внутрь трубопровода воды образуется переходный участок с (рис. 2.1). Каждое сечение трубопровода последовательно испытывает значительные напряжения от изгиба, при этом для сохранности трубопровода должно выполняться следующее условие прочности:

 (2.40)

где – соответственно максимальные изгибающие моменты для участка a и b; - нормативное сопротивление трубной стали, равное пределу текучести.

Выполним геометрический и прочностной расчеты, считая известными следующие величины: ; ; ; .

При известном отношении по уравнению:

 (2.41)

или из графика (рис. 2.2) можно найти соотношение между длиной изогнутого участка с и участка, заполненного водой, а; . Длину заполненного водой участка а определяем по выражению:

 (2.42)

Рисунок 2.1 - Расчетная схема переходной кривой

Рисунок 2.2 - Зависимость n от q1/q2

Тогда и .

Опорная реакция:

 (2.43)

Максимальный изгибающий момент на участке a

 (2.44)

а для участка b

 (2.45)

Для облегчения расчетов можно использовать график зависимости коэффициентов и от (рис. 2.3). Максимальные напряжения в трубопроводе на участке а

 (2.46)

а для участка b

 (2.47)

здесь - средний радиус трубы,

 (2.48)

Если условие прочности не выполняется, необходимо искусственно изменить отношение , например, использованием утяжеляющих грузов или разгружающих понтонов.

Рис. 2.3 Зависимость ψa, ψb от q1/q2

Новое значение соответствующее условию прочности, будет

 (2.49)

При укладке с поверхности воды также рассчитывают число оттяжек, удерживающих трубопровод в створе от сноса течением реки.

Расстояние между оттяжками:

при двух пролетах

 (2.50)

при трех пролетах

 (2.51)

при четырех и большем числе пролетов

 (2.52)

здесь - расчетное сопротивление трубной стали; – интенсивность воздействия гидродинамического потока на трубопровод,

 (2.53)

 – коэффициент, зависящий от отношения длины трубопровода к диаметру, при - проекция смоченной поверхности трубопровода на вертикальную плоскость.

Определив расстояния , находим прогиб трубопровода f :

для прибрежных пролетов

 (2.54)

для русловых пролетов

 (2.55)

Величина f должна быть не больше, чем половина ширины дна траншеи.

**2.2.3 Пример расчета погружения с поверхности воды**

Рассчитать параметры укладки трубопровода с поверхности воды при следующих данных: ; ; материал трубы – сталь 14Г2САФ, ; вес воды

При отношении по графику на рис. 2.2 величина

По формуле

Тогда

Так как отношение , наибольшие напряжения возникнут на участке b.

По формуле

По графику на рис. 2.3

По формуле

Ввиду того, что условие прочности не обеспечивается, т. е.

(), необходимо уменьшить напряжения изменением соотношения в пределах изменения функций , .

По формуле:

Этому значению согласно графику (см. рис. 2.3) соответствуют два значения , равные 0,1 и 11, т. е. уменьшить напряжения от изгиба до допустимой величины можно разгрузкой понтонами и балластировкой утяжеляющими грузами. Рассмотрим первый случай – разгрузку трубопровода понтонами грузоподъемностью 3 тс.

Подъемную силу понтонов на 1 м длины найдем из соотношения

где - подъемная сила понтонов,

откуда

Расстояние между устанавливаемыми понтонами

При втором расчетном случае пригрузку трубопровода выполняем одиночными чугунными грузами весом Вес балласта Б на 1 м трубопровода определяем из соотношения

откуда

Вес балластного чугунного груза под водой

Расстояние между грузами

Необходимо отметить, что дополнительная пригрузка увеличивает устойчивость подводных трубопроводов, особенно при их укладке непосредственно по дну водоема или с незначительным заглублением.

**РАЗДЕЛ 3. СТРОИТЕЛЬСТВО ПЕРЕХОДА ЧЕРЕЗ ИСКУССТВЕННЫЕ ПРЕПЯТСТВИЯ**

**3.1 Расчет футляра трубопровода**

Прокладка участков переходов трубопроводов через железные и автодороги предусматривается в защитном футляре (кожухе), который является основной деталью перехода и предназначен для предохранения прокладываемого через него трубопровода от воздействия нагрузок, агрессивных грунтовых вод и блуждающих токов. На футляр действуют внешние нагрузки ⎯ вертикальное и боковое давление грунта qгр.в и qгр.б и давление от веса подвижного транспорта qп.

Рисунок 3.1 - Схема к расчету футляра на прочность

**3.1.1 Расчет перехода через автодороги**

В качестве автотранспорта принимаем самый тяжелый грузовой автомобиль МАЗ 6501 B5 с максимальной нагрузкой на задний мост 26000 кг или 255,06 кН, числом колес – 8 шт. Таким образом, нагрузка на одно колесо составит 31,883 кН.

1. Ширина пролета естественного свода обрушения:

, (3.1)

Где:

Dф- наружный диаметр футляра, м. Согласно [1] диаметр футляра должен быть больше наружного диаметра трубопровода не менее чем на 200 мм;

 - угол внутреннего трения грунта, принять согласно таблице 7.

*Таблица 7*

**Ориентировочные значения физико-механических характеристик грунтов**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Грунт | Удельный вес, , кН/м3 | Угол внутреннего трения , градус | Коэффициент крепости  |
| Сланец, известняк, мел, мерзлый грунт | 2 | 65 | 2 |
| Слежавшаяся галька, щебенистый грунт, твердая глина | 18-20 | 60 | 1,5 |
| Плотный глинистый грунт | 18 | 60 | 1 |
| Гравий, глинистый грунт, лесс | 16 | 40 | 0,8 |
| Слабый глинистый грунт, сырой песок, растительный грунт | 15 | 30 | 0,6 |
| Песок, мелкий гравий, насыпной грунт | 17 | 27 | 0,5 |
| Разжиженные грунты, глина | 15 | 9 | 0,3 |
| Гравелистый песок | 36-40 | 38-43 | 0,7-0,8 |
| Песок средней крупности | 33-38 | 35-40 | 0,65-0,75 |
| Мелкий песок | 30-36 | 28-38 | 0,6-0,7 |
| Пылеватый песок | 28-34 | 26-36 | 0,55-0,65 |
| Супеси | 21-25 | 18-30 | 0,35-0,45 |
| Суглинки | 17-22 | 12-26 | 0,3-0,4 |

1. Высота грунта в пределах естественного свода обрушения, действующая на футляр:

м (3.2)

Где:

f кр- коэффициент крепости породы, принять согласно таблице 7.

 – ширина пролета естественного свода обрушения, определяется по формуле (3.1), м.

1. Определим расчетную вертикальную нагрузку на футляр:

т/м2 (3.3)

Где:

nгр - коэффициент надежности по перегрузки;

 - объемный вес грунта в естественном состоянии, принять согласно таблице 7.

 - высота грунта в пределах естественного свода обрушения, определяется по формуле (3.2), м.

1. Определим расчетное боковое давление на футляр:

 (3.4)

Где:

 - коэффициент надежности по перегрузки, принимаем согласно [2] 1,2;

 - обозначение то же, что в формуле (3.3);

 - обозначение то же, что в формуле (3.3);

Dф- обозначение то же, что в формуле (3.1);

 - обозначение то же, что в формуле (3.1).

1. Момент инерции полотна дороги:

, (3.5)

Где:

 - толщина покрытия дороги, м. Определяется согласно [4] в зависимости от категории автодороги.

 - ширина полотна дороги, равная 1 м.

1. Цилиндрическая жесткость бетонного полотна дороги:

, (3.6)

Где:

 – модуль упругости материала полотна дороги, согласно условию;

 – момент инерции материала полотна, определяется по формуле (3.5), м4;

 - коэффициент Пуассона материала полотна дороги (для бетона принимаем равным 0,17).

1. Коэффициент жесткости бетонного полотна дороги:

, (3.7)

Где:

 - ширина полотна дороги, равная 1 м;

 - коэффициент постели грунта при сжатии, согласно условию для песка принимаем 30000 кН/м3;

 - цилиндрическая жесткость бетонного полотна дороги, определяется по формуле (3.6), кНм2.

1. При расчете давления от автомобильного транспорта полотно дороги рассматриваем как балку конечной жесткости на упругом основании. Нагрузка, передаваемая через каждую ось, представляется виде сосредоточенной силы, отнесенной к единичной ширине полотна дороги b=1 м.

Нагрузка от автомобиля передается через бетонное полотно дороги в грунт. На рисунке 1 представлена эпюра реакции основания полотна дороги, где центры координат O2 и О3 являются центрами приложения сосредоточенной нагрузки от автомобильных колес задней оси. Параметр а’, который является расстоянием от центра координат O2 или О3 до точек пересечения линии графика реакций с координатной осью Х (где Х=0), и определяется как:

, (3.8)

Где:

 - коэффициент жесткости бетонного полотна дороги, определяется по формуле (3.7), м-1.

Тогда зона распространения суммарной эпюры реакции основания определяется как сумма:

, (3.9)

Где:

 - расстояние между колесами задней оси, м. Для автомашины МАЗ 6501 B5 принимаем равное 1,4 м.

Рисунок 3.2 – Схематическая эпюра реакций основания полотна дороги

1. Максимальное значение реакции основания , равное q, имеет место в точках (см. рисунок 3.2), равных нулю:

, (3.10)

Где:

 – сила действующая на основание от оси автомобиля МАЗ 6501 B5, которая составила 31,883 кН;

 – ширина полотна дороги, равная 1 м;

 – коэффициент жесткости бетонного полотна дороги, определяется по формуле (3.7), м-1.

1. Равномерно распределенная нагрузка q, передаваемая на основание полотна дороги от действия транспорта, и напряжение в грунте в любой точке с координатами x, z, действующие вертикально вниз, можно определить:

, (3.11)

Где:

z – координата распределения напряжения в грунте, равная расчетному заглублению трубопровода до верхней образующей Н, м. Определяется по чертежу;

 - максимальная равномерно распределенная нагрузка от автотранспорта, определяется по формуле (3.10), кПа;

 - координата распределения напряжения в грунте по оси Х (по эпюре), м. При определении максимальной нагрузке принимаем х=0.

1. Расчетное давление от подвижного транспорта:

, (3.12)

Где:

 – напряжение в грунте в любой точке, определяется по формуле (3.11), кПа.

1. Расчетное сжимающее усилие:

, (3.13)

Где:

– радиус трубопровода с футляром, м;

 – расчетная вертикальная нагрузка, определяется по формуле (3.4), кПа;

 – расчетное давление от подвижного состава, определяется по формуле (3.12), кПа.

1. Расчетный изгибаемый момент:

, (3.14)

Где:

 – коэффициент, учитывающий всестороннее сжатие трубы, согласно условию принимаем равным 0,25;

 – радиус трубопровода с футляром, м;

 – вертикальная нагрузка, нагрузка от подвижного состава и боковое давление, действующие на трубопровод, рассчитанные по формулам (3.3), (3.12), (3.4) соответственно.

1. Расчетное сопротивление металла трубы и сварных соединений R1 определяем по формуле:

, (3.15)

Где:

 - нормативное сопротивление растяжению металла труб и сварных соединений, равное значению временного сопротивления, Мпа. Принимается согласно условию;

 - коэффициент условий работы газопровода, принимаем, таблица 2 раздела 1 [1];

 - коэффициент надежности по материалу, таблица 3 раздела 1;

 - коэффициент надёжности по назначению, таблица 4 раздела 1;

1. Требуемая толщина трубы:

, (3.16)

Где:

 – расчетное сжимаемое усилие, определяемое по формуле (3.13), кПа;

 – расчетное сопротивление металла трубы и сварных соединений, определяется по формуле (3.15), кПа

 – расчетный изгибаемый момент, определяемый по формуле (3.14), кПа.

**3.1.2 Пример расчета перехода под автодорогой**

Исходные данные:

Автотранспорт МАЗ 6501 B5, с нагрузкой на одно колесо 31,883 кН проезжает по временной бетонной дороге. В качестве полотна использовали бетонные плиты класса прочности по сжатию В22,5 с параметрами 2×6×0,14 м. Диаметр кожуха газопровода равен 720 мм с толщиной стенки 7,5 мм марки стали 17ГС (временное сопротивление металла 490 МПа). Заглубление участка трубопровода от верха покрытия дороги до верхней образующей составляет 1,54 м. Определить выдержит ли нагрузку от проезда автомобиля футляр трубы.

При расчете давления от автомобильного транспорта на полотно дороги рассматривают как балку конечной жесткости на упругом основании. Нагрузка, передаваемая через каждую ось, представляется в виде сосредоточенной силы Pi, отнесенной к единичной ширине полотна дороги b=1 м.

Ширина пролета естественного свода обрушения по формуле (3.2):

Высота грунта в пределах естественного свода обрушения, действующая на трубопровод определяется по формуле (3.3):

Определим по (3.4) расчетную вертикальную нагрузку на трубопровод:

Определим по (3.5) расчетное боковое давление на трубопровод:

Определяем по (3.6) момент инерции бетонного полотна:

Примем, что бетонное покрытие имеет класс прочности по сжатию В22,5 со значением модуля упругости равным 20000 МПа. Тогда по (3.7) цилиндрическая жесткость полотна дороги:

Коэффициент жесткости полотна дороги (3.8):

Определим параметр а’ (3.9), который является расстоянием от центра координат O2 или О3 до точек пересечения линии графика реакций с координатной осью Х:

Тогда зона распространения суммарной эпюры реакции основания определим как сумму (3.10):

Максимальное значение реакции основания , равное q, имеет место в точках , равных нулю, тогда (3.11):

Нагрузка q, передаваемая на основание полотна дороги от действия транспорта, напряжение в грунте в любой точке с координатами x, z, действующие вертикально вниз, можно определить по (3.12) (при x=0, z=Н=1,54 м):

Расчетное давление от подвижного транспорта (3.13):

Расчетное сжимающее усилие (3.14):

Расчетный изгибаемый момент (3.15):

Определим расчетное сопротивление металла трубы и сварных соединений R1 определяем по формуле (3.16):

По результатам проведенного расчета согласно формуле (3.17) требуемая толщина газопровода, которая необходима для поддержания работоспособности трубы при заданных условиях составляет:

Результаты расчета показали, что на кожух позволит защитить действующий газопровод от нагрузки автотранспорта, т.к. проектное значение толщины кожуха составляет 7,5 мм, что значительно больше требуемого параметра в 5 мм.

**3.1.3 Расчет трубопровода через железнодорожный переход**

Нормативное давление от железнодорожного транспорта определяется используя график зависимости нормативного давления на футляр от глубины заложения футляра. Класс нагрузки принят 140 Н. Расчетная нагрузка получается путем умножения нормативной на коэффициент надежности по нагрузке, равный 1,3.

Нагрузка от подвижного состава:

 (3.1)

Где:

nн = 1,3—коэффициент надежности по нагрузке;

qн – нормативное давление транспорта на единицу площади защитного футляра, определяется по графику .

График 1 – Зависимость давления qн/К от глубины заложения футляра

График рассчитан для двухпутной линии железной дороги. При использовании графика для однопутной железной дороги, необходимо полученное значение расчетной нагрузки умножить на поправочный коэффициент 0,56, а для трехпутной – 1,33.

Ширина пролета естественного свода обрушения:

, (3.2)

Где:

Dф- наружный диаметр футляра, м;

 - угол внутреннего трения грунта, принять согласно таблице 7.

Высота грунта в пределах естественного свода обрушения, действующая на футляр:

м (3.3)

Где:

f кр- коэффициент крепости породы, принять согласно таблице 5.18.

Определим расчетную вертикальную нагрузку на футляр:

т/м2 (3.4)

Где:

nгр - коэффициент надежности по перегрузки;

 - объемный вес грунта в естественном состоянии.

Определим расчетное боковое давление на футляр:

 (3.5)

Определим поперечное усилие, действующее на футляр:

 (3.6)

Где:

rф — радиус футляра.

Определим изгибающий момент, действующий на футляр:

 (3.7)

Где:

cпл— коэффициент учитывающий всестороннее сжатие футляра, спл=0,25.

Толщина стенки футляра:

 (3.8)

Где:

R2 — расчетное сопротивление материала.

**3.2 Расчеты по методу строительства**

**3.2.1 Продавливание**

Бестраншейная прокладка труб продавливанием отличается тем, что прокладываемую трубу открытым концом, снабженным ножом, вдавливают в массив грунта, а грунт, поступающий в трубу в виде пробки, разрабатывают и удаляют из забоя. При продвижении трубы преодолевают усилия трения по наружному ее контуру и врезания ножевой части в грунт.

Для продавливания труб применяют нажимные насосно-домкратные установки из двух, четырех, восьми и более гидродомкратов усилием по 500-3000 кН каждый с ходом штока 1,1-2,1 м, работающие от насосов высокого давления. Количество домкратов в установке зависит от необходимого нажимного усилия Р, кН, равного:

 (3.9)

 – удельное сопротивление вдавливанию ножа в грунт, равное для глинистых грунтов 50-70 кН, для песчаных грунтов 70-100 кН, для прочих грунтов 200-600 кН на 1 м длины режущей кромки ножа;

 - периметр ножа, м. Определим как .

 - коэффициент бокового давления грунта, равный для песка 0,35-0,41, для суглинка 0,5-0,7, для глины 0,7-0,74;

 - вес 1 м длины кожуха (футляра), определяем по формуле (2.9);

 – длина бестраншейной проходки;

 – коэффициент трения кожуха о грунт, принимается согласно таблицы 5;

 - вертикальное давление на 1 м длины кожуха, рассчитывается по формуле:

 (3.10)

 *-* удельный вес грунта, кН/м3 (таблица 7);

** – наружный диаметр кожуха;

 - коэффициент крепости грунта (таблица 7).

**3.2.2 Горизонтальное бурение**

Горизонтальное бурение используется для трубопроводов средних и больших диаметров. Проходка скважин ведется установками горизонтального бурения (см. таблицу 8), предусматривающими опережающую разработку грунта с устройством скважин в грунте большего диаметра, чем прокладываемая труба. Этот метод не рекомендуется применять на слабых (водонасыщенных и сыпучих) грунтах во избежание просадки дорожного полотна.

Эффективность применения шнековых установок зависит от правильного выбора конструктивных и рабочих параметров установок.

Конструктивные параметры установок: диаметр режущей головки, шаг и длина шнека; угол подъема наружной образующей винтовой линии шнека и др. выбираются исходя из конструкции перехода, диаметра прокладываемого трубопровода и глубины его заложение под дорогами.

*Таблица 8*

**Техническая характеристика установок горизонтального бурения**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Показатели | УГБ-4 | УГБ-5 | УГБ-2 | ГБ-1421 |
| Диаметр прокладываемого кожуха, мм | 325, 426, 530, 630 | 630, 720, 920, 1020 | 1220 | 1220, 1420 |
| Длина прокладки, м | До 60 | 40-50 | До 40 | До 50 |
| Мощность двигателя, кВт | 29 | 40,5-44 | 40,5-44 | 51,5 |
| Скорость бурения, м/ч | 1,8-1,9 | 1,-18 | 1,8-18,5 | 1,5-12,7 |
| Максимальное усилие подачи кожуха, кН | 748,8 | 748,8 | 748,8 | 748,8 |

Рабочими параметрами считаются: частота вращения шнека и режущей головки; скорость бурения, подача и толщина стружки; коэффициенты разрыхления грунта, заполнение сечения и объема шнека; производительность шнекового транспортера, мощность и энергоемкость резания и транспортирования грунта, усилия для подачи режущей головки и проталкивания кожуха.

Требуемая мощность установки горизонтального бурения находится по формуле (3.11):

, (3.11)

Где:

 – мощность, затрачиваемая на бурение скважины, кВт;

 - мощность, затрачиваемая на перемещение грунта шнеком, кВт;

 - мощность, затрачиваемая на продавливание кожуха, кВт;

Мощность, затрачиваемая на бурение скважины:

, (3.12)

Где:

 – радиус шнека, м. Определяется по таблице 9 путем деления параметра диаметра шнека на половину;

*Таблица 9*

**Размеры режущих головок установок УГБ иГБ**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Установка | Диаметр кожуха, мм | Диаметр диска, мм | Диаметр скважины, мм | Диаметр головки, мм |
| УГБ-4 | 325 | 280 | 360 | 315 |
| 426 | 360 | 460 |
| 530 | 480 | 575 |
| 630 | 570 | 670 |
| УГБ-5 | 630 | 570 | 670 | 315 |
| 720 | 660 | 760 |
| 920 | 860 | 960 |
| 1020 | 960 | 1060 |
| УГБ-2 | 1220 | 1165 | 1260 | 315 |
| ГБ-1421 | 1220 | 1165 | 1260 | 360 |
| 1420 | 1360 | 1470 |

*n* – среднее значение частоты вращения шнека, об/мин. Максимальное значение частоты определяется по формуле (3.13):

, (3.13)

 – диаметр шнека, м. Определяется по таблице 12;

 – угол наклона винтовой линии шнека, на которой расположены частицы грунта. Определяется в зависимости от выбранной установки по таблице 10.

*Таблица 10*

**Основные геометрические размеры шнеков установок**

**горизонтального бурения**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Установка горизонтального бурения | Размеры шнеков, мм | Угол подъема винтовой линии поверхности шнека,  |
| Диаметр наружной образующей винтовой линии | Диаметр внутренней ограничивающей винтовой линии | Шаг шнека |
| УГБ-4 | 270 | 102 | 230 |  |
| 290 |  |
| 320 |  |
| 345 |  |
| 370 |  |
| 390 |  |
| 480 | 360 |  |
| 500 |  |
| 520 |  |
| 550 |  |
| 580 |  |
| 600 |  |
| УГБ-5 | 570 | 152 | 460 |  |
| 590 |  |
| 610 |  |
| 640 |  |
| 665 |  |
| 685 |  |
| 750 | 800 |  |
| 840 | 600 |  |
| 880 |  |
| 920 |  |
| 940 |  |
| 980 |  |
| УГБ-2 | 1050 | 168 | 800 |  |
| 1100 |  |
| 1140 |  |
| 1175 |  |
| ГБ-1421 | 1050 | 168 | 800 |  |
| 1100 |  |
| 1150 |  |
| 1200 |  |
| 1250 |  |
| 1300 |  |
| 1350 |  |

 и – коэффициенты трения грунта по винтовой поверхности шнека в движении и в покое соответственно, определяются по таблице 11;

*Таблица 11*

**Коэффициент трения насыпных грунтов по стали в покое и движении**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Грунты |  |  |
| Щебень гранита влажный | 0,53 | 0,45 |
| Известняк мелкокусковой влажный | 0,55 | 0,51 |
| Супесь мелкокусковая нормальной влажности | 0,53 | 0,46 |
| Песок среднезернистый сухой  | 0,43 | 0,41 |
| Суглинок мелкокусковой нормальной влажности | 0,63 | 0,54 |

Минимальное значение частоты определим по формуле (3.14):

, (3.14)

Где:

 - коэффициент, учитывающий физико-механические свойства грунта. Определяется по таблице 12.

*Таблица 12*

**Коэффициент , характеризующий физико-механические свойства транспортируемого грунта**

|  |  |
| --- | --- |
| Грунты и их основания |  |
| Пески и супеси | нормальной влажности | 6-7 |
| мокрые | 7-10 |
| Суглинки и глины | нормальной влажности | 4,5-6 |
| мокрые | 6-8 |
| Известняки, глинистые сланцы, мел | нормальной влажности | 5-8 |
| мокрые | 8-10 |

– среднее усилие, необходимое для разрушения грунта режущей головкой, *Н*. Вычисляется по формуле (3.15):

*,* (3.15)

Где:

 - радиус скважины, м. Определяется по таблице 9;

 - число режущих граней на головке, обычно принимается равным 2-3;

*k* – коэффициент удельного сопротивления грунта разработки при бурении режущими головками фрезерного типа, определяется в зависимости от и по графику 2;

График 2 – Зависимость коэффициента удельного сопротивления от грунта резанию *k* от толщины стружки *hc* и скорости бурения *v*:

1-2 – слабый известняк; 3-4 – суглинок влажный; 5-6 - супесь

 - толщина стружки срезаемого грунта, м;

 - скорость бурения, м/мин, определяется по формуле (3.16):

, (3.16)

 и – диаметр шнека и скважины соответственно, м. Определяется по таблице 9;

*n* – максимальная частота вращения шнека, об/мин. Определяется по формуле (3.13);

 - шаг шнека, м. Определяем по таблице 10;

 - коэффициент объемного наполнения шнека, зависящий от высоты заполнения шнека и угла естественного откоса насыпных грунтов при движении по цилиндрическим кожухам. Определяем его в зависимости от высоты *h* (в долях от *Rш*) по графику 3.

График 3 – Зависимость коэффициента от *h* и

1-; 2- ;3-

Максимальное значение высоты *h* можно определить, исходя из геометрических размеров транспортируемого грунтового потока, размещенной в пределах шага шнека:

*,*  (3.17)

Где:

*LT* – длина транспортируемого грунтового потока в пределах шага шнека, м. Для расчета можно взять *LT=s*;

 - угол естественного откоса разрыхленного грунта в движении, определим по формуле (3.18):

, (3.18)

Где:

 – угол естественного откоса грунта в покое, принимается по таблице 7;

 - коэффициент разрыхления транспортируемого грунта, определяется по таблице 13.

*Таблица 13*

**Коэффициент разрыхления транспортируемого грунта**

|  |  |
| --- | --- |
| Грунт |  |
| Глина мягкая жирная | 1,44-1,75 |
| Глина мореная ломовая | 1,5-1,78 |
| Песок без примесей | 1,3-1,58 |
| Песок с примесью щебня и гравия | 1,37-1,73 |
| Скальные разрыхленные грунты | 1,6-1,72 |
| Легкий суглинок | 1,42-1,66 |
| Тяжелый суглинок | 1,55-1,69 |
| Суглинок с примесью щебня и гравия | 1,57-1,72 |
| Супесь без примесей | 1,3-1,58 |
| Супесь с примесью гравия и щебня | 1,57-1,72 |

Мощность, необходимая для перемещения грунта винтовым транспортером со шнеком, смонтированным на опорных подшипниках определяется по импирической формуле:

*,* (3.19)

Где:

 - длина шнека, м;

 - ускорение свободного падения, м/с2;

 – поправочный коэффициент, зависящий от типа грунта, для глинистых и суглинистых грунтов =1,2-1,6; для песчаных и супесчаных грунтов =1,8-2,0;

 – коэффициент сопротивления насыпного грунта транспортированию, определяем по графику 4;

График 4 – Зависимость коэффициента удельного сопротивления грунта перемещению шнеком: 1- =1,5 м/ч; 2-=2,5 м/ч; 3-5,24 м/ч

 – массовая производительность шнекового транспортера, т/ч, которая определяется по формуле (3.20):

, (3.20)

Где:

*n,* , , – тоже, что в формуле (3.15);

 – плотность грунта, разрыхленного режущего головкой. Принимается в зависимости от грунта согласно таблице 14.

*Таблица 14*

**Средняя плотность грунта естественной влажности**

|  |  |
| --- | --- |
| Грунт | , кг/м3 |
| Пески, супеси, пески и супеси с примесью гальки, щебня или гравия (до 10%) | 1600 |
| Пески, супеси, пески и супеси с примесью гальки, щебня или гравия (более 10%) | 1700 |
| Суглинки легкие и лессовидные с примесью гальки, щебня или гравия (до 10%) | 1600 |
| Суглинки легкие и лессовидные с примесью гальки, щебня или гравия (более 10%) | 1750 |
| Глины без примесей | 1800 |
| Глины с примесью гальки, щебня или гравия (до 10%) | 1750 |
| Глины с примесью гальки, щебня или гравия (более 10%) | 1900 |
| Гравий и галька | 1750 |
| Мореные глины с валунами (до 10%) | 1850 |
| Мореные глины с валунами (от 10 до 30%) | 2100 |
| Мореные пески, супеси и суглинки с гравием, галькой, и валунами (до 10%) | 1750 |
| Мореные пески, супеси и суглинки с гравием, галькой, и валунами (до 30%) | 1950 |
| Торф | 500-700 |

Мощность, затрачиваемая на продавливание кожуха с учетом временных вертикальных нагрузок от транспорта, определяется по формуле (3.21):

, (3.21)

Где:

и – плотность насыпного грунта и грунта в массиве соответственно;

 - длина кожуха, м;

 - диаметр кожуха, м;

 - ускорение свободного падения, м/с2;

, , , , – тоже, что в формуле (3.15);

 – высота насыпи, определяется с учетом профиля дороги;

 - толщина материкового грунта над кожухом;

 – коэффициент трения стали о грунт, принимается по таблице 5;

 - наружный и внутренний диаметры кожуха соответственно;

 - плотность стали, принимается равным 7850 кг/м3;

 – временная нагрузка от транспортера, определяемая по таблице 15 в зависимости от глубины заложения кожуха;

*Таблица 15*

**Временные нагрузки при различной глубине заложения защитного кожуха**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Глубина заложения кожуха, м | Временная нагрузка q, МПа | Глубина заложения кожуха, м | Временная нагрузка q, МПа |
| От автотранспорта | От подвижного состава ж/д | От автотранспорта | От подвижного состава ж/д |
| 0,5 | 10,3 | - | 3 | 0,349 | 0,627 |
| 1 | 0,523 | 0,957 | 4 | 0,299 | 0,535 |
| 2 | 0,418 | 0,768 | 5 | 0,262 | 0,467 |

 - площадь поверхности кожуха, на которую действует давление от временных нагрузок транспортера, определяемая по графику 5 в зависимости от глубины заложения кожуха и его диаметра;

График 5 – Площадь действия нагрузок на защитный кожух от транспорта в зависимости от глубины его заложения

 - масса единицы длины шнекового транспортера с разрабатываемым грунтом, которая определяется по формуле:

, (3.22)

Где:

 - масса грунта на единицу длины шнека, определяемая в зависимости от высоты заполнения кожуха грунтом по формуле:

, (3.23)

Где:

, , – тоже, что в формуле (3.21);

 - масса единицы длины шнека, кг/м. Определяется по формуле:

, (3.24)

Где:

 - собственный вес единицы длинны трубы кожуха, кг/м. Определяется по формуле (2.9).

**3.2.3 Пример расчета кожуха методом горизонтального бурения**

Исходные данные

Провести подбор бурильной установки для прокладки трубы параметрами 1220х10 мм на глубину 2,84 м под железной дорогой “Полоцк-Минск”. Грунты: преимущественно встречаются супеси с примесью гравия и щебня. Длина кожуха 24 м.

Для проведения работ выберим установку ГБ1421.

Требуемая мощность установки горизонтального бурения находится по формуле (3.11):

,

1. Мощность, затрачиваемая на бурение скважины:

Где:

 – радиус шнека, равный 0,5825 м;

*n* – частота вращения шнека, об/мин. Максимальное значение определяется по формуле (3.13):

Минимальное значение частоты определим по формуле (3.14):

Где:

 – диаметр шнека, равный 1,165 м;

 – угол наклона винтовой линии шнека, принимаем 34°40’;

 и – коэффициенты трения грунта по винтовой поверхности шнека в движении и в покое 0,46 и 0,53 соответственно.

Среднее значение частоты оборотов равно 27 об/мин.

– среднее усилие, необходимое для разрушения грунта режущей головкой, *Н*. Вычисляется по формуле (3.14):

Где:

 - радиус скважины, принимаем 0,63 м;

 - число режущих граней на головке, принимаем равное 2;

*k* – коэффициент удельного сопротивления грунта разработки при бурении режущими головками фрезерного типа, равный ;

 - толщина стружки срезаемого грунта, равная 0,001 м;

 - шаг шнека принимаем 0,8 м;

 - коэффициент объемного наполнения шнека, равен 0,03.

Максимальное значение высоты *h*:

Где:

*LT* – длина транспортируемого грунтового потока в пределах шага шнека, м. Для расчета можно взять *LT=s*=0,8 м;

 - угол естественного откоса разрыхленного грунта в движении, определим по формуле (3.17):

Где:

 – угол естественного откоса грунта в покое, принимаем равным 25°;

 - коэффициент разрыхления транспортируемого грунта, принимаем 1,4.

1. Мощность, необходимая для перемещения грунта винтовым транспортером со шнеком, смонтированным на опорных подшипниках определяется по импирической формуле:

Где:

 - длина шнека, равная 30 м;

 - ускорение свободного падения, равно 9,81 м/с2;

 – поправочный коэффициент, для супесчаных грунтов =1,9;

 – коэффициент сопротивления насыпного грунта транспортированию, равный 10;

 – массовая производительность шнекового транспортера, т/ч, которая определяется по формуле (3.19):

Где:

 – плотность грунта, разрыхленного режущего головкой. Принимаем 1600 кг/м3.

1. Мощность, затрачиваемая на продавливание кожуха с учетом временных вертикальных нагрузок от транспорта, определяется по формуле (3.20):

Где:

и – плотность насыпного грунта и грунта в массиве 1600 кг/м3 соответственно;

 - длина кожуха, равная 24 м;

 - диаметр кожуха, 1,22 м;

 – высота насыпи, равная 2,84 м;

 - толщина материкового грунта над кожухом, равная 1,34 м;

 – коэффициент трения стали о грунт, принимаем 0,45;

 - плотность стали, принимается равным 7850 кг/м3;

 – временная нагрузка от транспортера, принимаем с учетом интерполяции 0,65 МПа;

 - площадь поверхности кожуха, на которую действует давление от временных нагрузок транспортера, принимаем 9,5 м2;

 - масса единицы длины шнекового транспортера с разрабатываемым грунтом, которая определяется по формуле:

Тогда требуемая мощность установки горизонтального бурения находится по формуле:

**ВАРИАНТЫ ЗАДАНИЙ**

**НА КУРСОВОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ НА ТЕМУ**

**«СООРУЖЕНИЕ ПЕРЕХОДОВ ТРУБОПРОВДОВ ЧЕРЕЗ ЕСТЕСТВЕННЫЕ И ИСКУССТВЕННЫЕ ПРЕПЯТСТВИЯ»**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| № Варианта | Параметры трубопровода | Транспортируемый продукт  | Графический материал\*\*\* |
| Диаметр, м | Рабочее давление, МПа\* | Вид | Характеристики (плотность нефти, состав газа)\*\* |
|  | 720 | 5 | нефть | 860 кг/м3 | А/д №1, п/п №1 |
|  | 820 | 6,8 | нефть | 835 кг/м3 | Ж/д №1, п/п №1 |
|  | 1020 | 5,5 | газ | Березовское | А/д №1, п/п №2 |
|  | 1220 | 7,3 | газ | Вой-Вожское | Ж/д №2, п/п №1 |
|  | 1420 | 6,5 | нефть | 851 кг/м3 | А/д №3, п/п №1 |
|  | 720 | 5,5 | нефть | 793 кг/м3 | Ж/д №2, п/п №2 |
|  | 820 | 6 | газ | Комсомольское | А/д №2, п/п №3 |
|  | 1020 | 6,6 | нефть | 858 кг/м3 | А/д №2, п/п №2 |
|  | 1220 | 6,5 | газ | Юбилейное | Ж/д №3, п/п №3 |
|  | 1420 | 7 | газ | Ефремовское | Ж/д №2, п/п №2 |
|  | 720 | 6 | газ | Майское | А/д №3, п/п №3 |
|  | 820 | 6,5 | нефть | 862 кг/м3 | Ж/д №3, п/п №2 |
|  | 1020 | 6,2 | нефть | 841 кг/м3 | А/д №3, п/п №3 |
|  | 1220 | 7 | газ | Газлинское | А/д №2, п/п №1 |
|  | 1420 | 5 | газ | Учкырское | А/д №1, п/п №1 |
|  | 720 | 6,5 | газ | Уренгойское | Ж/д №3, п/п №3 |
|  | 820 | 7 | газ | Губкинское | А/д №1, п/п №1 |
|  | 1020 | 6 | газ | Тазовское | А/д №2, п/п №3 |
|  | 1220 | 7,5 | газ | Покровское | Ж/д №1, п/п №2 |
|  | 1420 | 5,5 | нефть | 824 кг/м3 | А/д №1, п/п №3 |
|  | 720 | 5,7 | газ | Самантепе | А/д №2, п/п №2 |
|  | 820 | 5,5 | нефть | 799 кг/м3 | А/д №1, п/п №3 |
|  | 1020 | 7 | нефть | 819 кг/м3 | Ж/д №3, п/п №1 |
|  | 1220 | 6 | нефть | 849 кг/м3 | А/д №3, п/п №2 |
|  | 1420 | 7,5 | газ | Вергунское | Ж/д №1, п/п №3 |
| Примечание \* - в качестве исходных данных дано рабочее давление в трубопроводе. Для проведения расчетов необходимо увеличить давление с учетом в последующем проведения испытания проектируемого участка согласно СНиП III-42-80\*;\*\* - перечень газовых месторождений и состав газа приведен в приложение А;\*\*\* - весь графический материал в электронном виде. |

**ЧАСТЬ 2. «СООРУЖЕНИЕ ВЕРТИКАЛЬНОГО**

**СТАЛЬНОГО РЕЗЕРВУАРА»**

###### **РАЗДЕЛ 1. РАСЧЕТ КРЫШИ СТАЛЬНОГО РЕЗЕРВУАРА**

**1.1 Стационарная крыша**

Конструкции стационарных крыш зависят от объема резервуара, физических свойств хранимого продукта и подразделяются на следующие типы [9]:

* Коническая крыша, которая в свою очередь подразделяется на:
* Самонесущая коническая крыша, несущая способность которой обеспечивается конической оболочкой настила (без центральной стойки);
* Каркасная коническая крыша, состоящая из элементов каркаса и настила;
* Сферическая крыша, поверхность которой близка к сферической и образуется изогнутыми элементами каркаса и укрупненными элементами настила.

Разрешается применение и других конструкций [10].

**1.1.1 Расчет конической самонесущей крыши**

Самонесущая (бескаркасная) коническая крыша и в виде конической оболочки применяется для вертикальных резервуаров низкого давления малых объемов (до 12,5 м в диаметре) и сложна в исполнении. Ее геометрические параметры должны удовлетворять следующим требованиям: максимальный и минимальный угол наклона образующей крыши к горизонтальной плоскости должны составлять соответственно 30° и 15° (. Минимальная толщина настила крыши должна быть не менее 4 мм, но не более 7 мм [10]. Если толщина настила более 7 мм, то оболочку необходимо укреплять кольцевыми ребрами жесткости, устанавливаемыми с наружной стороны крыши.

По периметру крыша опирается на стенку резервуара с использованием кольцевого элемента жесткости. Минимальный размер кольцевого уголка 63x5 мм. Узел крепления крыши к верху стенки может выполняться по одному из вариантов, представленных на рисунке 1.1.

Рисунок 1.1 - Узлы соединения самонесущей крыши со стенкой

Расчетная схема крыши является коническая безмоментная оболочка, опирающаяся на опорное кольцо стенки согласно рисунку 1.2.

Рисунок 1.2 – Расчетная схема самонесущей крыши

Минимальная расчетная толщина настила бескаркасной крыши должна быть не менее 4 мм [10], и определяется из условия устойчивости оболочки по формулам:

— минимальная расчетная толщина:

 (1.1)

— минимальная номинальная толщина:

, (1.2)

где:

r – радиус резервуара, м;

α – угол наклона крыши;

Е – модуль упругости стали, 2·105 МПа;

pr – расчетная нагрузка на крышу резервуара, МПа.

Расчетная нагрузка на крышу, определяется по формуле:

 (1.3)

Gr - вес крыши, МН. Определяется по формуле:

 (1.4)

γст – удельный вес стали, равен 7850 кг/м3;

 – образующая конуса крыши, м;

g – ускорение свободного падения, принимаем равным 9,81 м/с2;

Gr0 - вес оборудования крыши, примем 100..200 кН;

Grt - вес теплоизоляции, кН;

pS - расчетное значение снеговой нагрузки, определяется по таблице 8;

pV - нормативное значение вакуума, определяется по таблице 1.

Формула (1.1) применима для углов α < 30° и при выполнении условия:

 (1.5)

которое следует проверять после вычисления первого приближения для  Поскольку pr, в свою очередь, зависит от предварительно неизвестной толщины  (в формуле (1.3) вес крыши Gr зависит от предварительно неизвестной толщины настила крыши), для расчета требуется несколько последовательных приближений.

Определив толщину настила крыши проектируемого резервуара, необходимо выбрать схему сопряжения узла настила крыши и верхнего пояса стенки согласно рисунку 1. Для проверки опорного кольца на устойчивость необходимо определить площадь поперечного сечения узла и его элементов:

, (1.6)

Где:

 – площадь сечения сопряжения узла со стенкой верхнего пояса, м2;

 - площадь сечения сопряжения узла с настилом крыши, м2;

 – площадь сечения выбранного по сортаменту металлопроката, м2.

Размеры участков, включенных в узел сопряжения, согласно рисунку 1.1, определяются по формулам:

 (1.7)

, (1.8)

Где:

 – фактическая толщина стенки верхнего пояса стенки резервуара, сопряженного с крышей, м;

 – припуск на коррозию верхнего пояса стенки и настила крыши, м;

 – принятая толщина настила крыши, м.

Опорное кольцо должно рассчитываться из условия:

 (1.9)

**1.1.2 Пример расчета самонесущей крыши стального резервуара**

Провести расчет самонесущей крыши стального резервуара, угол наклона которой равен 30°. Толщина последнего 8 пояса резервуара, диаметром 10,43 м, равна 10 мм.

Решение.

Поставленную задачу можно решить методом последовательного приближения.

Пусть минимальная толщина настила бескаркасной крыши будет равна 0,005 м. Зная, что угол наклона крыши равен 30°, высота крыши будет равна 3 м. Значит, вес крыши можно определить по формуле (1.4):

Тогда расчетная нагрузка на крышу, определяется по формуле:

;

Gr0 - вес оборудования крыши, примем 100 кН;

Определим толщину настила крыши резервуара по формуле (1.1):

Проверим выполнение условия (3.5):

 условие выполняется.

По ГОСТ 8509-93 выбираем угол 63х5 мм площадью 6,13 см2. Рассчитает участки, которые относятся к опорному кольцу по формулам (1.7) и (1.8):

Тогда площадь сопряжения узла будет равно:

Проверяем условие устойчивости опорного кольца:

Таким образом, условие выполняется. Принимаем толщину настила крыши равную 6 мм, а в качестве опорного кольца используем уголок 63х5 мм.

**1.1.3 Расчет конической каркасной крыши**

Все элементы и узлы крыши должны быть запроектированы таким образом, чтобы максимальные напряжения в них не превышали допускаемые и обеспечивали устойчивость конструкции для всех расчетных сочетаний нагрузок.

Стальная каркасная крыша рекомендуется к применению резервуаров с диаметром от 10 до 25 м включительно. Угол наклона образующей к горизонтальной поверхности α должен быть в пределах от 4,76° (уклон 1:12) до 9,46° (уклон 1:6).

Минимальная толщина настила крыши должна быть не менее 4 мм [10] (рисунок 1.3).

Каркас крыши представляет собой систему радиальных и кольцевых балок (каркасные), узел сопряжения каркаса крыши и стенки резервуара представлен на рисунке 1.4.

Рисунок 1.3 – Щит покрытия резервуара

Рисунок 1.4 – Узел сопряжения конической крыши и стенки резервуара

Каркасная коническая крыши в конструктивном исполнении может быть:

* с центральной стойкой (рисунок 1.5);
* без центральной стойки.

Рисунок 1.5 – Верхнее кольцо центральной стойки резервуара

**1.1.3.1 Коническая крыша с центральной стойкой**

Покрытие состоит из плоских трапецеидальных щитов заводского изготовления, опирающихся по периметру стенки резервуара и на центральную стойку через центральное кольцо, как представлено на рисунке 1.5. Количество щитов определяется шириной щита у стенки резервуара b0, которая принимается равной 3…3,5 м:

 (1.10)

Где:

D – диаметр резервуара, м.

Щит представляет собой трапецеидальную раму с основными радиальными ребрами из прокатных двутавров. В кольцевом направлении располагают поперечные ребра из мелких номеров прокатного швеллера. Поверх ребер располагается стальной настил толщиной не менее 4,0 мм, который приваривается к ребрам.

Нагрузками на покрытие являются:

- собственный вес настила и ребер;

- вакуум;

- снеговая нагрузка.

Покрытие с центральной стойкой проектируют пологим с уклоном 1:12.

Расчету подлежат элементы щита:

- настил;

- поперечные ребра;

- радиальные ребра.

Расчетной схемой настила является тонкая оболочка, работающая только на растяжение и опирающаяся на поперечные ребра. Расчетным пролетом настила будет шаг поперечных ребер щита. Сечение настила проверяют по жесткости, принимая значение предельного относительного прогиба согласно формуле:

 (1.11)

и по прочности.

Принимая толщину настила, равную минимальному значению 4 мм, по условию эксплуатации, определим наибольший пролет настила:

 (1.12)

Где:

 – толщина настила крыши, м

 - значение относительного прогиба, принимаем равное 150;

 - определяется по формуле:

 (1.13)

 - коэффициент Пуассона, принимаем для стали 0,3;

 – модуль упругости стали, равен 25 МПа;

 - нормативная нагрузка на полосу настила единичной ширины, определяется по формуле:

, (1.14)

Где:

 - коэффициент сочетания нагрузок, принимаем 0,9;

 - вес 1 м2 настила крыши, определяется по формуле:

 (1.15)

Где:

 – удельный вес стали, равен 7850 кг/м3;

g – ускорение свободного падения, принимаем равным 9,81 м/с2;

pV - нормативное значение вакуума, определяется по таблице 1;

 - нормативное значение снегового давления. Определяется согласно [11], кПа:

 (1.16)

Где:

 – коэффициент, учитывающий снос снега с покрытий зданий под действием ветра, принимается в зависимости от диаметра по п.10.5 [11];

 – вес снегового покрова на 1 м2 горизонтальной поверхности земли, определяется по таблице 8;

 – термический коэффициент, согласно [11] равен 1;

 - коэффициент перехода от веса снегового покрова земли к снеговой нагрузке на покрытие. В зависимости от схемы крыши и распределения нагрузки на нее, принимаем (для всех конических).

По конструктивным соображениям принимаем шаг поперечных ребер настила равным 1,2…1,5 м.

Определив значение , необходимо проверить настил крыши на прочность.

Поперечные ребра рассчитываются по простой балочной схеме с равномерно распределенной нагрузкой и с наибольшим пролетом (для ребра, ближайшего к стенке резервуара).

Тогда нормативная погонная нагрузка будет определяться по формуле:

 (1.17)

Расчетная нагрузка на полоску настила определим по формуле:

 (1.18)

Расчетные изгибающие моменты в сечении поперечного ребра:

 (1.19)

Требуемый момент сопротивления:

 (1.20)

Где:

 - коэффициент условий работы. Согласно [10] для кольцевых (поперечных) балок принимается 0,75.

По сортаменту подбирается номер швеллера. Принятое сечение ребра необходимо проверить по предельному прогибу f/lп.р.=1/200 или определить требуемый момент инерции и по нему подобрать номер швеллера, сравнив с найденным выше. Относительный прогиб поперечного ребра определяется по формуле:

 (1.21)

Радиальная балка (ребро) настила воспринимает нагрузку по треугольнику как на рисунке 1.6, в соответствии с грузовой площадью, и является основным несущим элементом покрытия. Расчетной схемой радиальной балки является обычная шарнирно опертая балка.

Рисунок 1.6 – Расчетная схема радиальной балки

Максимальное значение нагрузки на балку будет у стенки резервуара:

 (1.22)

Где:

 (1.23)

Где:

 – собственный вес 1 м2 настила крыши, определяется по формуле (1.15);

 – собственный все 1 м2 каркаса крыши из радиальных и поперечных балок, принимаем равным 0,15 кПа.

Максимальный расчетный момент:

 (1.24)

Требуемый момент сопротивления с учетом развития пластических деформаций:

 (1.25)

Где:

 - коэффициент условий работы конструкции. Согласно [10] для радиальных балок и опорного кольца принимается 0,9.

Принятое сечение проверяется по жесткости. Предельное значение относительного прогиба:

 (1.26)

Сечение центральной стойки по конструктивным соображениям принимается трубчатым, диаметром 0,4…0,6 м.

**1.1.3.2 Пример расчета конической крыши с центральной стойкой**

Требуется рассчитать коническую крышу вертикального стального резервуара диаметром 23 м и высотой 15 м. Расчетное значение снеговой нагрузки равно 1,8 кПа, вакуум – 250 Па. Крыша изготовлена из ВСт3сп6 с пределом текучести стали 235 МПа.

Решение.

Покрытие резервуара проектируем в виде щитов, состоящих из листов толщиной 4 мм, уложенных на каркас из двутавра, швеллеров и уголков. Щиты опираются на кольцо центральной стойки и корпус резервуара.

Сбор нагрузок.

Определим расчетные и нормативные нагрузки на щит покрытия:

кН/м2.

кН/м2.

Расчет настила.

Пусть настил приварен к радиальным ребрам щитов электродами типа Э42. Предельный относительный прогиб настила должен соответствовать условиям как в формуле (1.11). По формуле (1.12) определим. Для этого:

 = кН/см2 по формуле (1.13);

 кН/см2 определили по формуле (1.14). Тогда наибольший пролет настила:

 см.

По конструктивным соображениям принимаем расстояние между поперечными ребрами щита равным 1,5 м.

Проверим настил на прочность.

Расчетная нагрузка на полосу настила за вычетом собственного веса балок:

кН/см2.

Шаг поперечных ребер жесткости щита а = 1,5 м.

Примем стрелку прогиба настила:

см

Тогда определим распор:

кН/см

Коэффициент:

.

Опорный момент:

.

Проверка настила на прочность:

Где:

 – коэффициент условий работы настила, принимаем равным 1(для всех).

Прочность настила обеспечена.

Расчет поперечных ребер щита.

Предварительно назначим количество щитов в покрытии. Принимая ширину щита у стенки резервуара bo = 3 м, требуемое количество щитов определим по формуле:

шт

Количество щитов покрытия должно быть кратно 4. Принимаем шт.

Расчетный продет поперечного ребра будет равен величине , т.е. м. Равномерно распределенная нагрузка на поперечное ребро при шаге ребер а = 1,5 м составит:

 кН/м – расчетная нагрузка

 кН/м – нормативная нагрузка

Расчетный изгибающий момент определим по формуле (1.19):

кН·м

Требуемый момент сопротивления определим по формуле (1.20):

 см3

Требуемый момент инерции при предельном относительно прогибе ребра определим согласно (1.21):

см4

Принимаем швеллер 8С по ГОСТ 8240-97 .

см4.

Расчет радиальных ребер щита.

Пролет радиального ребра, как балки при свободном опирании щита на стенку резервуара и на вернее центральное кольцо трубчатой стойки равен:

м.

Максимальная интенсивная нагрузка на радиальное ребро у стенки резервуара определим по формуле (1.22):

кН/м

Расчетная схема радиального ребра изображена на рисунке 6.

Максимальный расчетный момент определим по формуле (1.24):

кН·м.

Требуемый момент сопротивления определим по формуле (1.25):

см3.

Принимаем двутавр 23Б1 по ГОСТ 26020-83 .

см4.

Требуемый момент инерции сечения ребра из условия обеспечения жесткости при будет равен:

см4

Тогда для обеспечения жесткости необходимо выбрать двутавр, характеристики которого будут близки этому значению. Принимаем №27 по ГОСТ 8239-89 с см4.

Диаметр центральной стойки принимается по конструктивным соображениям с учетом условий опирания щитов покрытия и использования стойки для рулонирования элементов резервуара. Dст = 400 мм.

**1.1.3.3** **Коническая крыша без центральной стойки**

Конструкция щита покрытия не отличается от щита покрытия с центральной стойкой, за исключением того, что радиальные балки конструируют из швеллеров. Но этот тип отличается наличием распора, вызывающего сжимающие усилия в радиальных балках и требующего для своего восприятия опорного кольца.

Соединение радиальных ребер щита с центральным кольцом, как правило, осуществляется по шарнирной схеме. Поэтому расчетную схему (рисунок 1.7) конического покрытия можно принять статической определимой.

Рисунок 1.7 –Расчетная схема конического покрытия без центральной стойки

При расчете крыши необходимо учитывать две комбинации нагрузок:

1. нагрузки, действующие на крышу сверху вниз (q): вес конструкции крыши (и теплоизоляции), снег, вакуум (1.22);
2. нагрузки, действующие на крышу снизу вверх (q’): избыточное давление в паровоздушной среде, ветер, собственный вес крыши:

 (1.27)

Где:

р – нормативное избыточное давление в резервуаре, МПа. При проектировании резервуаров нормативное избыточное давление принимаем согласно таблице 1 [10];

 - коэффициент сочетания нагрузок, принимается равным 0,9;

 - ширина щита настила у стенки резервуара, принимается как и в п. 1.1.3.1;

 – собственный вес всей конструкции крыши, включая радиальные и поперечные балки, кПа;

 - расчетное значение ветрового давления, кПа. Определяется по формуле согласно [11]:

 (1.29)

Где:

 – коэффициент надежности по ветровой нагрузке, принимаем согласно [11] равный 1,4;

 - нормативное значение средней составляющей ветровой нагрузки на высоте z над поверхностью земли, определяется как:

, (1.28)

Где:

 – нормативное значение ветрового давления, для Беларуси равен 0,23 кПа;

 - коэффициент, учитывающий изменение ветрового давления по высоте, определяется согласно разделу 2 части 2 по формуле (2.19);

 – аэродинамический коэффициент внешнего давления, принимается согласно таблице Д.6 [11] или методом интерполяции.

Если , то рассматривается только первая комбинация нагрузок.

Для первой комбинации нагрузок (q) опорные реакции и усилия в радиальных ребрах щитов определяется по формулам:

* распор

 (1.30)

* вертикальная составляющая опорной реакции

 (1.31)

* продольное усилие в радиальной балке щита

 (1.32)

Где:

 - стрела подъема крыши (рисунок 1.7), м.

На рисунке 1.7 (q’) – максимальная интенсивность нагрузки на радиальную балку от избыточного давления, ветровой нагрузки, собственного веса покрытия. Эта нагрузка вызывает сжатие опорного кольца.

В рассматриваемом случае уклон кровли должен быть больше

(i = 1/8…1/12), поскольку продольное усилие в радиальной балке и распор резко возрастают при малых уклонах.

Расчетный изгибающий момент в радиальной балке определяется по формуле (1.24). Сечение радиальной балки определяется расчетом на внецентренное сжатие (Nб и M). При этом номер профиля определяется методом попыток. Задавшись номером швеллера, следует определить приведенный относительный эксцентриситет:

 (1.33)

Где:

 – относительный эксцентриситет;

η - коэффициент влияния формы сечения, определяемый по [таблице 73](#TO0000085) [13];

 – максимальный расчетный момент, определяется по формуле (1.24), кН·м;

 - площадь выбранного прокатного швеллера, м2;

 - продольное усилие в радиальном ребре, рассчитывается по формуле (1.32), кН;

 - момент сопротивление выбранного прокатного швеллера, см3.

Условная гибкость рассчитывается по формуле:

 (1.34)

Где:

 = - расстояние пролет радиальной балки, м;

 – параметр выбранного прокатного швеллера, см.

 – предел текучести стали, МПа;

 - модуль упругости стали, равен 25 МПа.

По и устанавливают по таблице 74 [13] коэффициент снижения расчетного сопротивления по пределу текучести при внецентренном сжатии и проверяют радиальное ребро (составленное из двух швеллеров) на устойчивость в плоском моменте по формуле:

 (1.35)

Где:

 - продольное усилие в радиальной балке щита, кН. Определяется по формуле (1.32);

 - площадь выбранного прокатного швеллера, м2;

 – предел текучести стали, МПа;

 - коэффициент условий работы конструкции. Согласно [10] для радиальных балок и опорного кольца принимается 0,9.

При значительном недонапряжении или перенапряжении следует изменить номер швеллера в соответствующую сторону и вновь произвести проверку по формуле (1.35).

Настил и поперечные ребра рассчитываются так же, как для покрытия с центральной стойкой.

Для обеспечения совместной работы двух прокатных швеллеров в радиальном ребре покрытия необходимо ставить прокладки между ними на расстоянии не более 40 радиусов инерции одного швеллера относительно собственной вертикальной оси (по типу прокладки между уголками стержней стропильных ферм). Однако стенки швеллеров будут располагаться под углом Δβ (рисунок 1.8) между собой в связи с тем, что каждое ребро конического покрытия образуется двумя смежными плоскими щитами, не лежащими в одной плоскости. Поэтому в качестве прокладок наряду с полосовой сталью можно применять коротыши круглых стержней (длиной 100... 120 мм).

Рисунок 1.8 – Сечение радиального ребра

Угол Δβ/2 определяется по формуле:

, (1.36)

Где:

 - угол наклона образующей крыши к горизонтальной поверхности;

 (1.37)

Где:

 - количество щитов в покрытии.

**1.1.3.4 Пример расчета конической крыши без центральной стойки**

Требуется рассчитать коническую крышу вертикального стального резервуара диаметром 23 м и высотой 15 м. Расчетное значение снеговой нагрузки равно 1,8 кПа, вакуум – 250 Па. Крыша изготовлена из ВСт3сп6 с пределом текучести стали 235 МПа. Тип местности А.

Покрытие резервуара проектируем в виде щитов, состоящих из листов толщиной 4 мм, уложенных на каркас из двутавра, швеллеров и уголков.

Сбор нагрузок.

Определим расчетные на щит покрытия:

кН/м2.

Предварительно назначим количество щитов в покрытии. Принимая ширину щита у стенки резервуара bo = 3 м, требуемое количество щитов определим по формуле:

шт

Количество щитов покрытия должно быть кратно 4. Принимаем шт.

Максимальная интенсивная нагрузка на радиальное ребро у стенки резервуара определим по формуле (1.22):

кН/м

Для определения нагрузок снизу вверх найдем величину расчетного ветрового давления по (1.29):

Максимальная интенсивная нагрузки снизу вверх:

Расчет настила и поперечных ребер щита производится точно так же, как для крыш с центральной стойкой.

Сечение радиального ребра щита примем из прокатного швеллера. Тогда два смежных щита будут иметь общее радиальное ребро из двух прокатных швеллеров (рисунок 1.8), сечение которого подбирается и проверяется по первой комбинации нагрузок - сверху вниз (q).

Пролет радиального ребра, как балки при свободном опирании щита на стенку резервуара и на вернее центральное кольцо трубчатой стойки равен:

м.

Пусть , тогда стрела подъема крыши при уклоне составит:

м

Распор системы определим по (1.30):

Вертикальная составляющая опорной реакции (1.31):

Продольное усилие в радиальной балке щита (1.32):

Максимальный расчетный момент определим по формуле (1.24):

кН·м

Назначим высоту сечения ребра из условия:

см

Принимаем ребро щита из швеллера 24 (А= 30,6 см2, Wx=242 см3,

ix =9,73 см) [16].

Проверим сечение ребра из 2-х швеллеров на устойчивость при внецентренном сжатии по формуле (1.35):

Условная гибкость рассчитывается по формуле (1.34):

Относительный эксцентриситет:

При и η = 1,25 по [13] таблица 73.

Тогда по формуле (1.33).

При и по таблице 74 [13] =0,132.

Для второй комбинации нагрузок (снизу вверх) имеем:

Отношение проверку ребра на внецентренное растяжение можно не делать.

Вычислим угол Δβ по формуле (1.36). Количество щитов 24 шт. Угол β=7,5°. Тогда Δβ=1,43°.

Зная величину угла Δβ и номер швеллера радиального ребра, можно определить требуемый диаметр круглого вкладыша.

**1.1.4 Расчет сферической крыши**

**1.1.4.1 Характеристика купола**

Конструкция купола состоит из плоских криволинейных ребер, установленных в радиальном направлении и соединенных между собой рядом колец, образующих совместную пространственную систему. Чаще всего применяются купола, собираемые из трапециевидных щитов заводского изготовления.

В отличие от конического покрытия щит купола имеет радиальные ребра, изогнутые в радиальной плоскости по дуге окружности. Кроме того, в куполе применяют в зависимости от диаметра резервуара, два и более ярусов щитов, тогда как в коническом покрытии используется только один тип ярус щитов.

Если законструировать все узлы купола жесткими, система становится многократно статически неопределимой, достаточно трудоемкой для расчета даже с использованием вычислительной техники. Однако если законструировать все узлы конструкции купола шарнирными, то трудоемкость расчета резко снижается.

Рисунок 1.9 – Ребристо-кольцевой купол (общий вид)

**1.1.4.2 Нагрузка на купол**

При расчете элементов купола участвуют нагрузки:

* вертикального направления:
* вниз

, (1.38)

* вверх

, (1.39)

* горизонтального направления, собираемые в верхней части резервуара равной 0,4Н (Н – высота резервуара):
* нагрузки, вызывающие сжатие опорного кольца купола «-W»: активное давление ветра и вакуум;
* нагрузки, вызывающие растяжение опорного кольца «+W»: ветровой отсос и избыточное давление.

В горизонтальной плоскости активное давление ветра передается на сектор стенки с центральным углом 80°. При этом аэродинамический коэффициент можно принимать равным 0,5. Тогда сосредоточенное давление на участок резервуара высотой 0,4Н и шириной b0 определяется по формуле:

, (1.40)

Где:

 - нормативное значение средней составляющей ветровой нагрузки на высоте z над поверхностью земли, определяется согласно (1.28);

 - высота резервуара, м;

 - шаг радиальных ребер по дуге окружности (как в разделе 1.1.3.1);

pV - нормативное значение вакуума, определяется по таблице 1;

Наибольшее значение ветрового отсоса на стенку резервуара в плане располагается под углом в 70°к направлению ветра. Максимальное значение аэродинамического коэффициента в этой точке равно 1,13. Для расчетов модно применять значение равное 1. Тогда сосредоточенное давление, вызывающее растяжение опорного кольца, определяется по формуле:

, (1.41)

Где:

р – нормативное избыточное давление в резервуаре, МПа. При проектировании резервуаров нормативное избыточное давление принимаем согласно таблице.1 [10].

Вертикальная сосредоточенная нагрузка, приходящая на i-ый узел пересечения радиального ребра с i-ым кольцом, определяется по формуле:

, (1.42)

Где:

 – количество щитов одного яруса;

 - радиус i-ого кольца.

**1.1.4.3 Расчет радиальных ребер сферы**

Щиты купола опираются своими радиальными ребрами на кольца и передают сосредоточенную нагрузку на них. Поэтому нагрузка с поверхности щита полностью воспринимается радиальными ребрами. Самым наряженным участком будет радиальное ребро, расположенное в первом ярусе купольной крыши, считая от опорного кольца. Расчетные схемы имеют вид, как представлено на рисунке 1.10.

Рисунок 1.10 – Расчетные схемы радиального ребра купола на нагрузки:

1. горизонтальную
2. вертикальную
3. местную

Суммарное продольное сжимающее усилие в ребре определяется как:

, (1.43)

Где:

 - коэффициент сочетания нагрузок, принимается равным 0,9;

 - продольное усилие от горизонтальной нагрузки . Определяется по формуле (1.44):

, (1.44)

 - продольное усилие от вертикальной нагрузки . Определяется по формуле:

, (1.45)

 – продольное усилие от местной нагрузки q.Определяется по формуле:

, (1.46)

Где:

 и – интенсивность нагрузки на опорное радиальное ребро. Определяется по формулам:

, (1.47)

, (1.48)

 - нагрузка вертикального направления, действующая вниз. Определяется по формуле (1.38);

 – длина радиального ребра 1 яруса крыши;

 – угол наклона касательной радиального ребра.

От местной нагрузки q в ребре кроме продольной силы будут и изгибающие моменты. Наибольший изгибающий момент будет в сечении на расстоянии х от левой опоры:

, (1.49)

Где:

 (1.50)

Суммарное продольное растягивающее усилие в ребре определяется по формуле (1.43) с заменой на (см. формулу (1.39)).

Проверка прочности радиального ребра как сжатого или растянутого стержня с местной поперечной нагрузкой производится по формуле:

, (1.51)

Где:

, (1.52)

 - шаг ребер на i-ом кольце;

 - коэффициент условий работы купола, принимаем равным 1;

 и - соответственно площадь и минимальный момент сопротивления сечения ребра.

Предварительно сечением ребра следует задаться. Высота сечения ребра . Ребро не проверяется на устойчивость как внецентренно сжатый стержень, поскольку к нему приваривается настил в конструкции щита (в плоскости настила).

При определении продольных усилий в радиальном ребре необходимо знать углы наклона касательной по концам ребра с горизонтальной осью (), которые определяется по формуле:

, (1.53)

Где:

 – определяется по формуле (1.49);

 – радиус резервуара;

 - стрела подъема купола.

Причем .

Радиус кривизны сферической крыши резервуаров должен быть в пределах от 0,8 до 1,5 диаметра самого резервуара [10].

**1.1.4.4 Расчет кольцевых элементов**

Кольцевые элементы образуются кольцевыми ребрами купола. Купол собирают из нескольких ярусов щитов в зависимости от диаметра резервуара. Каждый ярус состоит из одинаковых щитов, опирающихся своими торцами на правильные многоугольники, называемые условно кольцами. Опорное кольцо купола, располагаемое по верхнему краю стенки резервуара, является одновременно и кольцом жесткости резервуара.

Опорное кольцо – важный несущий элемент сферического покрытия и верхней части стенки резервуара, который, помимо распора ребристо-кольцевого купола, воспринимает воздействие вакуума, избыточного давления и ветрового напора на 0,4 высоты стенки.

Радиальные ребра купола передают на опорное кольцо горизонтальные силы в виде распоров P (распор P – горизонтальные составляющие продольного усилия ребра Nоп, величина которых определяется по формуле:

 (1.54)

Где:

 - вертикальная нагрузка на купол, направленная сверху вниз и определяемая по формуле (1.38);

 - находится по формуле (1.53) при х = 0.

Расчетная схема опорного кольца на действие распоров изображена на рисунке 1.11.

Рисунок 1.11 – Расчетные схемы опорного кольца на вертикальную нагрузку на купол:

а) действие нагрузки q;

б) действие нагрузки q1 (см. формулы (1.38) и (1.39))

Распоры вызывают в кольце изгибающие моменты и продольные силы, определяемые по формулам:

- максимальный момент (под радиальным ребром)

, (1.55)

- момент между ребрами

, (1.56)

- продольное усилие

, (1.57)

Распоры P1 (рисунок 1.11 б) порождают моменты и продольные силы, определяемые по формулам (1.55) – (1.57) обратного знака.

Дополнительные максимальные сжимающие продольные усилия в опорном кольце от вакуума Nк,вак  и ветрового давления Nк,в  на верхней части стенки резервуара высотой 0,4Н и соответствующий момент Mк,в  определяется по формулам:

 (1.58)

, (1.59)

, (1.60)

Где:

 – аэродинамический коэффициент внешнего давления, равен 0,6;

 - см. формулу (1.28);

 - условный аэродинамический коэффициент, учитывающий воздействие ветровой нагрузки на разные секторы кольца (рисунок 1.12), определяемый по формуле:

, (1.61)

Где:

 и - коэффициенты для нахождения изгибающих моментов в кольце, равные соответственно 0,192 и 0,239.

Рисунок 1.12 – Упрощенная эпюра для определения изгибающего момента в кольце:

а) в направлении ветровой нагрузки;

б) перпендикулярно направлению ветровой нагрузки

В точке **Б** будет наибольшее сжимающее усилие и соответствующий изгибающий момент от ветровой нагрузки на стенку резервуара, определяемого как сумму двух моментов6

- от ветровой нагрузки на сектор кольца с центральным углом 72 и шириной 1 м (рисунок 1.12 а):

, (1.62)

- от ветровой нагрузки на сектор кольца с центральным углом 90 и шириной 1 м (рисунок 1.12 б):

, (1.63)

Где:

 - аэродинамический коэффициент при перпендикулярном направлении ветровой нагрузки, принимаемый равный 1.

Суммарный момент в точке **Б** от ветровой нагрузки на стенку высотой 0,4Н:

, (1.64)

В точке **А** кольца от ветровой нагрузки будет наибольшее растягивающее усилие и соответствующий момент, определяемый по формулам:

, (1.65)

, (1.66)

Возможными сочетаниями усилий для опорного кольца будут:

1. от вертикальных нагрузок сверху вниз q на покрытие и вакуум на 0,4Н стенки:
2. от вертикальных нагрузок снизу вверх q1 на покрытие, избыточного давления и ветрового давления на 0,4Н стенки:
3. от вертикальных нагрузок сверху вниз от нагрузок q на покрытие, ветрового давления и вакуум на 0,4Н стенки (с учетом ветрового отсоса на покрытие):

Для проверки кольца по прочности на совместное действие момента и продольной силы следует выбрать самое невыгодное сочетание усилий.

Расчет промежуточных колец рассматриваемого щитового купола осуществляется только на продольные усилия (растягивающие и сжимающие), так как радиальные ребра щитов опираются в узлах купола. При значении числа промежуточных колец следует иметь в виду, что длина щита покрытия принимается равной 8…12 м.

Продольное усилие в кольцевом элементе определяется по формуле:

 (1.67)

Где:

 и - продольные усилия по концам радиального ребра, определяемые по формуле (1.43), с учетом только слагаемого и, что ветровая нагрузка на стены будет восприниматься опорным кольцом.

Кольцо будет испытывать сжатие при действии вертикальной нагрузки сверху вниз q и растяжение от вертикальной нагрузки снизу вверх q1, определяемые по формулам (1.38) и (1.39).

При расчете на устойчивость многоугольник заменяется кольцом радиуса ri и проверяется в своей плоскости по формуле:

, (1.68)

Где:

 - момент инерции сечения кольца относительно вертикальной оси.

Если настил приваривается к кольцам, то они проверяется только на прочность по формуле:

 (1.69)

**1.1.5 Пример расчета сферической крыши**

Тип резервуара - вертикальный цилиндрический со стационарной крышей. Жидкость - темные нефтепродукты, =0,9т/м3. Внутреннее избыточное давление Ризб =2 кПа. Вакуум Рнвак= 0,25 кПа. Район строительства: III - снеговой и II - ветровой. Резервуар относится к I классу опасности (= 1,1). Запроектировать купольную крышу для вертикального резервуара объемом 30000 м3, высотой 18 м и диаметром 53,43 м.

**1.1.5.1 Установление габаритных размеров сферического покрытия**

Назначаем стрелку подъема и вычисляем радиус сферы купола.

Длина щита покрытия колеблется в пределах 8..12 м. Центральный угол сферы определяется по формуле:

Длина дуги купола в вертикальной плоскости:

Половину длины дуги следует разделить на целое число ярусов щитов покрытия и выделить радиус верхнего центрального кольца. Примем длину щита по дуге окружности м. При этом радиус центрального кольца согласно рисунка 1.13:

Рисунок 1.13 – Схема сферического купола

 м,

которое уточняется после расчета радиальных ребер.

Определим число щитов в одном ярусе, исходя из ширины щита по опорному кольцу = 3..3,5 м. Количество щитов в одном ярусе:

Примем 56 шт. Рекомендуется, что бы количество щитов в одном ярусе было кратно четырем.

Купол собирается из трех типов трапециевидных щитов, изготовленных на заводе.

Ширина щитов:

 м

 м

 м

**1.1.5.2 Сбор нагрузок на сферический купол**

По формуле (1.38) определим нагрузку вертикального направления направленную вниз:

 кН/м2

По формуле (1.39) определим нагрузку вертикального направления направленную вверх. Для этого определим высоту :

Для типа местности В при высотной отметке 20 м. коэффициент . Для II района кН/м2, при этом аэродинамический коэффициент будет равен при . Тогда коэффициент учитывающий изменение ветрового давления будет равен:

 кН/м2, знак минус учтен направлением ветровой нагрузки на покрытие. Тогда:

 кН/м2

Комбинация нагрузок горизонтального направления на верхнюю часть резервуара 0,4Н:

- нагрузки, вызывающие сжатие опорного кольца купола в виде активного давления ветра и вакуума, определяется по формуле (1.40):

 кН

Для типа местности В при высотной отметке м коэффициент , а с=0,5.

- нагрузки, вызывающие растяжение опорного кольца: ветровой отсос и избыточное давление по формуле (1.41):

 кН

При этом с = 1.

Вертикальная сосредоточенная нагрузка на узел пересечения радиального ребра с кольцом определяется по формуле (1.42):

Для 1-го кольца при м:

- направленная вверх

 кН

- направленная вниз

 кН

Для 2-го кольца при м, м:

- направленная вниз

 кН

- направленная вверх

 кН

**1.1.5.3 Расчет радиального ребра купола**

Наиболее напряженным будет радиальное ребро между опорным и вторым кольцами.

Найдем углы наклона касательной с осью х в уровнях опорного кольца ( и 2-го кольца ( м) по формуле (1.53):

Вычислим в уровне 1-го кольца при м.

Для опорного радиального ребра средний угол наклона касательных

То же для ребра между 2-м и 1-м кольцами

Интенсивность нагрузки на опорное радиальное ребро:

 кН/м

 кН/м

Продольные сжимающие усилия в опорном ребре:

 кН

 кН

 кН,

Где:

 = 8,36 м.

Суммарное продольное сжимающее усилие в опорном ребре определяется по формуле (1.43):

 кН

Найдем наибольшее значение изгибающего момента в опорном ребре от распределенной нагрузки.

Рисунок 1.14 – Схема загружения опорного ребра

Левая опорная реакция:

 кН

Найдем положение сечения с наибольшим изгибающим моментом:

 м

Максимальное значение изгибающего момента в этом сечении:

Радиальные ребра конструируем из двух прокатных швеллеров из стали марки ВСт3пс6-1 =24 кН/см2.

Ребро работает на внецентренное сжатие.

Считаем, что настил приваривается к радиальным и поперечным ребрам щитов, тем самым обеспечивается устойчивость ребра. Поэтому радиальное ребро будем рассчитывать только на прочность.

Высоту сечения ребра примем из условия . Принимаем ребро в виде двух швеллеров №22 ().

Проверим принятое сечение радиального ребра на другую комбинацию нагрузок (), вызывающих растяжение.

Продольные растягивающие усилия в ребре:

 кН

 кН

Распределенные нагрузки:

 кН/м

 кН/м

 кН

Суммарное продольное растягивающее усилие в ребре:

Поскольку интенсивность распределенной нагрузки направленной вверх, меньше интенсивности нагрузки, направленной вниз, по проверку на прочность ребра по растягивающим усилиям проводить не следует.

Уточним радиус центрального кольца из условия закрепления в нем радиальных ребер щитов из двух швеллеров №22 (b=82 мм). Учитывая, что ширина двух полок швеллера 164 мм; толщина промежуточного ребра t-10 мм; зазор- 5 мм, ширина опирания ребра составит Тогда радиус центрального кольца:

Длина щита верхнего яруса купола уменьшится и составит:

Радиальные ребра вышележащих ярусов щитов испытывают меньшие нагрузки . Поэтому можно оставить сечение радиальных ребер постоянным из двух швеллеров №22.

**1.1.5.4 Расчет кольцевых элементов купола**

А) Опорное кольцо

Распор, передаваемый на опорное кольцо со стороны радиального ребра:

 – вызывает растяжение в опорном кольце;

 – сжимает опорное кольцо.

При нагрузке сверху вниз *q* на купол:

- максимальный момент под радиальным ребром

- момент между радиальным ребром

- продольное растягивающее усилие

При нагрузке снизу вверх на купол:

- момент под радиальным ребром

;

- момент между радиальными ребрами

- продольное сжимающее усилие

Дополнительные продольные усилия и изгибающие моменты в опорном кольце:

- от избыточного давления на 0,4Н стенки

;

- от вакуума на 0,4Н стенки

- от ветровой нагрузки на 0,4Н стенки

При , =0,738.

Изгибающие моменты:

.

Усилия в кольце от ветрового отсоса на покрытие резервуара:

*.*

Распор от ветрового отсоса, передаваемый через радиальные ребра:

.

Изгибающие моменты в опорном кольце от ветровых распоров :

Результаты определения усилий в опорном кольце от нагрузок приведены в таблицу.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Вертикальные нагрузки на покрытие - вниз | Вакуум на 0,4Н стенки | Вертикальные нагрузки на покрытие - вверх |
| 1 | 2 | 3 |
| , кН·м | , кН·м | , кН | , кН | , кН·м | , кН·м | , кН |
| -86,1 | 43,5 | 3072 | -58 | 42,3 | -21,4 | -1509 |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Избыточное давление на 0,4Н стенки | Ветер на 0,4Н стенки | Ветровой отсос на покрытие |
| 4 | 5 | 6 |
| , кН | , кН·м | , кН | , кН | , кН·м | , кН·м | , кН |
| 462 | 558 | -21 | 42 | 5,9 | -2,9 | -202 |

При составлении таблицы расчетных сочетаний усилий в сечениях опорного кольца необходимо учитывать следующее:

1. нагрузки 1 следует суммировать с нагрузкой 2, т.к. в составе *q* имеется вакуум на покрытие;
2. нагрузки 3 суммируются с нагрузкой 4, поскольку в состав *q1* входит избыточное давление на покрытие, и с нагрузкой 5 (*q1* включает также и ветровой отсос);
3. если учитывается ветровая нагрузка на 0,4Н стенки, то надо учитывать и нагрузку 6 (ветровой отсос).

Проверка сечения опорного кольца на прочность должна проводиться по отмеченным расчетным усилиям.

|  |  |
| --- | --- |
| Усилия | Нагрузки |
| 1+2 | 3+4+5+6 | 1+2+5+6 |
| , кН·м | 43,5 | 606 | 607 |
| , кН·м | -8,1 | -582 | -647 |
| , кН | 3072 | -1207 | 2854 |

Для опорного кольца принята сталь ВСт3пс6-1 =24 кН/см2 .

В сечении опорного кольца необходимо учесть часть стенки резервуара высотой:

.

При этом площадь сечения кольца составит (рисунок 1.15):

.



Рисунок 1.15 – Сечение опорного кольца

Момент инерции сечения кольца относительно вертикальной оси *у-у*:

.

Момент сопротивления:

.

Проверка сечения на прочность осуществляется по формуле:

.

 - прочность опорного кольца обеспечена.

Устойчивость кольца в своей плоскости будет обеспечена за счет опирающихся на него щитов и листов кровли.

Б) Промежуточное кольцо.

Рассмотрим расчет кольца, смежного с опорным.

Продольное усилие в элементы 2-го кольца:

Где:

 и - определяются по формуле (1.45);

 и – определяются по формуле (1.42) с учетом радиусов колец (см. рисунок 1.13):

Принимая условие, что настил приваривается к кольцам, определяем требуемое сечение кольца из условия прочности:

.

Если предположить, что настил не приварен к кольцам, то сечение кольца определяется из условия устойчивости:

Законструируем кольцо по второму варианту, когда настил не приварен к кольцам. Ширину кольца можно определить по требуемому моменту инерции задавшись параметрами (рисунок 1.16). Момент инерции сечения кольца относительно вертикальной оси *у-у*:



Рисунок 1.16 – Сечение промежуточного 2-го кольца

 - сечение кольца достаточно для обеспечения его устойчивости.

Площадь сечения кольца:

,

что значительно больше требуемого сечения кольца из условия прочности, равного . Поэтому целесообразно настил приваривать к кольцам, если это возможно по конструктивным соображениям.

В) Центральное кольцо

Радиус центрального кольца .

Центральное кольцо воспринимает распоры со стороны радиальных ребер от вертикальных нагрузок.

Распор радиального ребра:

.

Поскольку радиальные ребра расположены часто по периметру центрального кольца, то приведем нагрузку на кольцо к равномерно распределенной по оси кольца:

*.*

Продольное сжимающее усилие в центральном кольце определяется по формуле:

.

Настил приваривается к центральному кольцу, что обеспечивает его устойчивость. Поэтому требуемое сечение кольца установим по прочности:

Сечение центрального кольца конструируем в виде сварного двутавра с параметрами как на рисунке 1.17.



Рисунок 1.17 – Сечение центрального кольца

Высота сечения стенки двутавра (205 мм) принимается равной высоте прокатного швеллера (радиального ребра) и плюс 5 мм на зазор. Фактическое сечение центрального кольца:

Принятое значение центрального кольца завышен с учетом того, что при неравномерной нагрузке на купол кольцо дополнительно будет испытывать кручение.

**РАЗДЕЛ 2. ПРОЕКТИРОВАНИЕ СТЕНКИ СТАЛЬНОГО РЕЗЕРВУАРА**

######

###### **2.1 Расчет стенки резервуара на прочность**

Расчет толщины поясов стенки резервуара выполняют из условия обеспечения прочности при статическом нагружении в условиях эксплуатации и гидравлических испытаний при действии нагрузки от веса хранимого продукта.

Значения толщины поясов стенки вычисляют по кольцевым напряжениям, определяемым в срединной поверхности цилиндрической оболочки на уровне с координатой XL, в котором радиальные перемещения стенки в пределах пояса являются максимальными.

При расчете значений толщины стенки учитывают коэффициент надежности для избыточного давления для условий эксплуатации и для гидравлических или пневматических испытаниях согласно [10] по формулам (2.1) и (2.2) соответственно:

 (2.1)

 (2.2)

Где:

 (2.3)

 (2.4)

 (2.5)

Где:

tUd, tUg – номинальная толщина пояса стенки, примыкающего сверху к i-му стыку соответственно при эксплуатации и гидравлических испытаниях;

ΔtcU, ΔtmU – соответственно припуск на коррозию и минусовой допуск на прокат пояса стенки, примыкающего к i-му стыку сверху.

Припуск на коррозию элементов резервуара устанавливается проектировщиком по согласованию с заказчиком. Тогда:

ΔtcU = 0,002 м, для первого пояса и последнего пояса n;

ΔtcU = 0,001 м, для поясов со 2 по (n-1);

Минусовой допуск на прокат:

ΔtmU = 0,0008 м, согласно т. 3 [14];

ΔtcL, ΔtmL – соответственно припуск на коррозию и минусовой допуск на прокат пояса стенки, примыкающего к i-му стыку снизу.

Припуск на коррозию элементов резервуара устанавливается проектировщиком по согласованию с заказчиком. Тогда:

ΔtcL = 0,002 м, для первого и последнего пояса n;

ΔtcL = 0,001 м, для поясов со 2 по (n-1);

Минусовой допуск на прокат:

ΔtmL = 0,0008 м, согласно т. 3 [14];

ρ – плотность хранимого продукта в проектируемом резервуаре, т/м3;

 – плотность воды, равна 1 т/м3;

g – ускорение свободного падения, принимаем равным 9,81 м/с2;

р – нормативное избыточное давление в резервуаре, МПа. При проектировании резервуаров нормативное избыточное давление принимаем согласно таблице 1 [12].

*Таблица 1*

**Значения рабочего избыточного давления и вакуума в газовом пространстве резервуаров**

|  |  |
| --- | --- |
| Тип конструкции резервуара | Рабочее давление, кПа (мм.рт.ст.) |
| избыточное | вакуум |
| РВС | 2,0(200) | 0,25(25) |
| РВСП | 0,2(20) | 0,2(20) |
| РВСПК | 0 | 0 |

Hi – расстояние от зеркала продукта до i-гo стыка поясов, м. Определяется по формуле:

Hi = – (а-1)h, (2.6)

Где:

 - уровень взлива хранимого продукта в резервуаре, м;

а – номер i-ого стыка снизу;

h – высота пояса резервуара, м.

Уровень взлива хранимого продукта зависит от геометрических параметров и конструкции проектируемого резервуара, и определяется по формуле:

, (2.7)

Где:

 - коэффициент использования емкости резервуара, определяется по таблице 2 [15].

Н – высота проектируемого резервуара, м.

*Таблица 2*

**Коэффициент использования емкости резервуара**

|  |  |
| --- | --- |
| Геометрический объем резервуара | Коэффициент использования емкости в зависимости от типа |
| без понтона  | с понтоном  |
| До 5000 м3 вкл. | 0,85  | 0,81  |
| от 10000 до 75000 м3 | 0,88  | 0,84  |

Уровень взлива хранимого продукта для резервуаров с плавающей крышей определяется по формуле (1.45) раздела 1.

XL – расстояние от i-гo стыка поясов до расчетного сечения пояса. При расчете первого пояса XL=0 м;

r – радиус резервуара, м;

R – расчетное сопротивление стали, определяется по формуле (2.5), МПа;

Ryn – предел текучести стали, МПа;

γс – коэффициент условий работы, определяется согласно таблице 3 [10];

*Таблица 3*

**Коэффициент условий работы**

|  |  |
| --- | --- |
| Элементы стенки | Коэффициент условий работы γc |
| в условиях эксплуатации | в условиях гидравлических испытаний |
| 1-й пояс | 0,7 | 0,9 |
| Все пояса, кроме 1-го | 0,8 | 0,9 |
| Уторный узел | 1,2 | 1,2 |

γt – температурный коэффициент, принимаем согласно п.5.17.4 [10]. Так как температура металла не превышает 100°С, то температурный коэффициент принимаем равным 1.

γm – коэффициент надежности по материалу, принимается согласно таблице 4 [10 т.2].

*Таблица 4*

**Коэффициент надежности по материалу**

|  |  |
| --- | --- |
| Государственный стандарт или технические условия на прокат | Коэффициент надежности по материалу  |
| ГОСТ 27772-88 (кроме сталей С590, С590К); ТУ 14-1-3023-80 (для круга, квадрата, полосы) | 1,025 |
| ГОСТ 27772-88 (кроме сталей С590, С590К); ГОСТ 380-71\*\* (для круга и квадрата размерами, отсутствующими в ТУ 14-1-3023-80); ГОСТ 19281-73\* (для круга и квадрата с пределам текучести до 380 МПа (39 кгс/мм2) и размерами, отсутствующими в ТУ 14-1-3023-80); ГОСТ 10705-80\*; ГОСТ 10706-76\* | 1,050 |
| ГОСТ 19281-73\* (для круга и квадрата с пределам текучести свыше 380 МПа (39 кгс/мм2) и размерами, отсутствующими в ТУ 14-1-3023-80); ГОСТ 8731-87; ТУ 14-3-567-76 | 1,1 |

γn – коэффициент надежности по ответственности, согласно таблице 5 [10].

*Таблица 5*

**Коэффициент надежности по ответственности**

|  |  |
| --- | --- |
| Класс опасности | Коэффициент надежности по ответственности  |
| I | 1,20 |
| II | 1,10 |
| III | 1,05 |
| IV | 1,00 |

В зависимости от объема и места расположения резервуары подразделяются на четыре класса по степени опасности:

— класс I — резервуары объемом более 50 000 м3;

— класс II — резервуары объемом от 20 000 до 50 000 м3, а также резервуары объемом от 10 000 до 50 000 м3, расположенные непосредственно по берегам рек, крупных водоемов и в черте городской застройки;

— класс III — резервуары объемом от 1000 до 20 000 м3;

— класс IV — резервуары объемом менее 1000 м3.

Произвести расчет толщины стенки резервуара, используя формулы (2.1) - (2.3), выбрать фактическое наибольшее значение, округлив его до целого числа согласно [14]. При этом фактические толщины не должны быть меньше минимально допустимых значений, приведенных в таблице 6 [10].

*Таблица 6*

**Минимально допустимые значения толщины стенки резервуара**

|  |  |
| --- | --- |
| Диаметр резервуара, м | Минимально допустимая толщина листов стенки, мм |
| До 15 включ. | 5 |
| Св. 15 “ 25 “  | 6 |
| “ 25 “ 40 “  | 8 |
| “ 40 “ 65 “  | 10 |
| “ 65  | 12 |

Полученные в ходе расчетов значения занесите в итоговую таблицу 7.

*Таблица 7*

**Итоговые значения толщины стенки проектируемого резервуара**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| № пояса | Расчетные значения t, мм | Округленные значения t, мм | Минимально допустимые t, мм | Фактические значения t, мм |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 1 |  |  |  |  |
| … |  |  |  |  |
| n |  |  |  |  |

###### **2.2 Пример расчета толщины стенки пояса резервуара**

Рассчитать толщину стенок 1 и 2 пояса вертикального стального резервуара радиусом r, равным 19,95 м, с уровнем заполнения H, равным 17 м. Плотность хранимого продукта ρ равна 0,9 т/м3. Высота пояса резервуара (высота листа) h равна 1,5 м, а= 190,91 МПа, =245,45 МПа,  = 218,18 МПа.

Решение.

Определим толщины поясов стенки резервуара по формулам (2.1) и (2.2) для условий эксплуатации и гидравлических испытаний соответственно:

1) Пояс 1: 







или, после округления, .

Таким образом, толщина первого пояса составит 18 мм.

2) Пояс 2:  ,







или, после округления, .

###### Таким образом, толщина стенки второго пояса составит 14 мм.

Сведем полученные результаты в таблицу итоговых значений.

Итоговые значения толщины стенки резервуара с r=19,95 м

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| № пояса | Расчетные значения t, мм | Округленные значения t, мм | Минимально допустимые t, мм | Фактические значения t, мм |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 1 | 17,73 | 18 | 6 | 18 |
| 2 | 13,967 | 14 | 6 | 14 |

###### **2.3 Расчет стенки резервуара на устойчивость**

Критерием устойчивости стенки является выполнение условия согласно [10]:

 (2.8)

где:

σ1 – расчетное меридиональное напряжение в поясе стенки (для каждой), МПа;

σcr1 – первое (меридиональное) критическое напряжение, МПа;

σ2 – расчетное кольцевое напряжение в поясе стенки (для каждой), МПа;

σcr2 – второе (кольцевое) критическое напряжение, МПа.

Меридиональное критическое напряжение рассчитывают по формуле:

 (2.9)

Где:

С0 – коэффициент, зависящий от δ, рассчитывается согласно п.5.22.2.3 [10]:

E – модуль упругости стали, равен 25 МПа;

δ – параметр, используемый в расчетах устойчивости стенки резервуара:

 (2.10)

Где:

r – радиус проектируемого резервуара;

tmin – фактическая толщина самого тонкого пояса стенки (таблица 7 части 2);

Δtc – припуск на коррозию (см. п.2.1 части 2);

Δtm – минусовой допуск на прокат (см. п.2.1 части 2);

Кольцевое критическое напряжение рассчитываю по формуле:

 (2.11)

Где:

Hr – редуцированная высота стенки резервуара определяется по формуле, согласно [10]:

 (2.12)

Где:

ti – фактическая толщина i-гo пояса стенки (таблица 7 части 2).

Расчетное меридиональное напряжение в i-м поясе стенки определяется по формуле, согласно [10]:

а) для резервуаров со стационарной крышей

; (2.13)

б) для резервуаров с плавающей крышей

. (2.14)

ti – фактическая толщина i-гo пояса стенки, м.

fs – коэффициент, учитывающий форму стационарной крыши, для расчетов на опрокидывание, устойчивость и для определения нагрузок на фундамент принимается равным:

0,7 — для купольных крыш при ;

0,9 — для купольных крыш при 

1,0 — для прочих купольных и конических крыш.

Gm – вес металлоконструкций выше расчетной точки;

G0 – вес стационарного оборудования выше расчетной точки, Н;

Gt – вес теплоизоляции выше расчетной точки, Gt=0;

PS – расчетная снеговая нагрузка на поверхности земли, принимается согласно таблице 8.

*Таблица 8*

**Нормативное значение веса снегового покрова для Республики Беларусь**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Снеговые районы | IБ | IIБ |
| PS, кПа(Н/м2) | 0,8 (800) | 1,2(1200) |

pV - нормативное значение вакуума, определяется по таблице 1.

Вес металлоконструкций рассчитываю по формуле:

 (2.15)

Где:

Gs – вес стенки выше расчетной точки;

Gr – вес крыши, МН (см. раздел 1 части 2).

Вес стенки определяю по формуле:

 (2.16)

Где:

γст – удельный вес стали, равен 7850 кг/м3;

g – ускорение свободного падения, принимаем равным 9,81 м/с2;

ti – сумма толщин поясов, м;

hni – высота пояса стенки, м.

Расчетное кольцевое напряжение в i-м поясе стенки определяются по формуле согласно [10]:

а) для резервуаров со стационарной крышей

; (2.17)

б) для резервуаров с плавающей крышей

, (2.18)

Где:

pW – нормативное значение ветрового давления, pW = 0,00023 МПа;

 - коэффициент, учитывающий изменение ветрового давления по высоте стенки резервуара для каждого пояса, который определяется согласно [11] по формуле:

, (2.19)

Где:

– номер пояса резервуара;

 – высота пояса резервуара, м;

 - эквивалентная высота или высота от поверхности земли, м;

 - параметр, учитывающий изменение ветрового давления. Определяется по таблице 9;

 – коэффициент, учитывающий тип местности. Определяется с учетом значения высотной отметки согласно таблице 9.

*Таблица 9*

**Значения коэффициентов для определения ветрового давления**

|  |  |
| --- | --- |
| Высота, м | Коэффициент для типов местности |
| А | В | С |
| ≤5 | 0,75 | 0,5 | 0,4 |
| 10 | 1,0 | 0,65 | 0,4 |
| 20 | 1,25 | 0,85 | 0,55 |
| 40 | 1,5 | 1,1 | 0,8 |
| 60 | 1,7 | 1,3 | 1,0 |
| 80 | 1,85 | 1,45 | 1,15 |
| Параметр, м |  |
| α | 0,15 | 0,2 | 0,25 |
| Примечание - типы местности: А – открытые побережья морей, озер и водохранилищ, сельские местности, в том числе с постройками высотой менее 10 м, пустыни, степи, лесостепи, тундра;В – городские территории, лесные массивы и другие местности, равномерно покрытые препятствиями высотой более 10 м;С – городские районы с плотной застройкой зданиями высотой более 25 м. |

Провести расчеты по проверке устойчивости для всех поясов стенки резервуара по формуле (2.8).

В случае если условие устойчивости резервуара не выполняется, то следует увеличить толщину верхних поясов резервуара или установить промежуточное кольцо (кольца), или и то и другое вместе.

В случае необходимости установки промежуточного ветрового кольца момент сопротивления его поперечного сечения определяется из условий:

* Для резервуаров со стационарной крышей:

Если pV ≠0

 (2.20)

Если pV =0

 (2.21)

* Для резервуаров с плавающей крышей:

 (2.22)

Где:

 – максимальное значение редуцированной высоты, выбираемое из значений для участков выше или ниже промежуточного кольца;

R – расчетное сопротивление стали, определяется по (2.5), МПа;

pV - нормативное значение вакуума, определяется по таблице 1.

 – диаметр резервуара, м;

PW – нормативное значение ветрового давления следует назначать не менее 1,2 кПа [10];

В резервуарах с плавающей крышей верхний пояс стенки всегда усиливается кольцом жесткости, сечение которого подбирается из условий действия в нем максимального изгибающего момента при условии действия ветрового давления на стенку опорожненного резервуара. Тогда:

 (2.23)

Где:

1,5 – коэффициент, учитывающий разряжение от ветра в резервуаре с открытым верхом;

 - высота стенки резервуара, м.

Рекомендуемая высота установки верхнего ветрового кольца составляет от 1,1 до 1,25 м от верхней кромки стенки (кольцевой уголок сечением не менее 75х6 мм).

Определив требуемый момент сопротивления сечения по формулам (2.20 – 2.23), необходимо подобрать профиль сечения по [16].

После выполнения всех расчетов, оформить полученные результаты в виде таблицы 10.

*Таблица 10*

**Итоговые значения толщины стенки проектируемого резервуара**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| № пояса | Расчетные значения t по расчету на прочность, мм | Значения t по расчету на устойчивость, мм | Минимально допустимые t, мм | Фактические значения t, мм |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 1 |  |  |  |  |
| … |  |  |  |  |
| n |  |  |  |  |

**2.4 Пример расчета редуцированной высоты**

Рассчитать параметр редуцированной высоты резервуара с поясом стенки резервуара hni, равное 1,5 м. Минимальная толщина листа стенки tmin, равна 0,008 м. Расчетное значение толщины стенки по поясам представлено в таблице:

|  |
| --- |
| Значения толщины стенки по поясам, мм |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| 18 | 14 | 13 | 12 | 11 | 9,5 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 |

Решение.

По формуле (2.12) определим параметр редуцированной высоты:



**2.5 Пример расчета стенки резервуара на устойчивость**

Проверить стенку резервуара высотой 18 м на устойчивость. Диаметр резервуара 60,7 м с высотой пояса 2,25 м. По проекту на резервуаре установлена плавающая крыши, вес которой равен 3,19 МН. вес оборудования 0,15 МН. Значения толщины стенок по поясам представлены в таблице:

|  |
| --- |
| Значения толщины стенки по поясам, мм |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| 23,5 | 16,5 | 14,5 | 12 | 10 | 10 | 10 | 10 |

Решение.

Критерием обеспечения устойчивости стенки стального резервуара является условие согласно формуле (2.8). Таким образом, необходимо определить критические значения кольцевых и меридиональных напряжений в стенке резервуара. Затем найти значения расчетных кольцевых и меридиональных напряжений, и найти их соотношения. Выполнение условия позволит оценить устойчивость.

По формуле (2.9) определим меридиональные напряжения в стенке. Для этого нужно найти δ по формуле (2.10) и коэффициент, зависящий от δ - С0. Тогда напряжение будет равно:



Критические кольцевые напряжения определим по (2.11), предварительно рассчитав редуцированную высоту по (2.12). Нr = 11,74 м.



По формуле (2.16) определим вес стенки для 1 пояса резервуара. Аналогичным образом по формуле, рассчитаем остальные пояса стенки резервуара, и результаты запишем в виде табличных данных.

В 1-ом поясе:





|  |  |
| --- | --- |
| Параметры расчета | Полученные значения по поясам |
| № пояса | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| Толщина пояса, мм | 23,5 | 16,5 | 14,5 | 12 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| Вес стенки, МН | 3,517 | 2,74 | 2,2 | 1,72 | 1,32 | 0,9 | 0,66 | 0,33 |
| Вес металла, МН | 6,707 | 5,93 | 5,39 | 4,91 | 4,51 | 4,18 | 3,85 | 3,52 |
| Коэффициент учета изменения ветрового давления | 0,358 | 0,472 | 0,555 | 0,623 | 0,675 | 0,726 | 0,773 | 0,815 |
| Меридиональные напряжения, МПа | 1,83 | 2,28 | 2,4 | 2,73 | 3,12 | 2,9 | 2,7 | 2,5 |
| Кольцевые напряжения, МПа | 0,121 | 0,224 | 0,305 | 0,426 | 0,575 | 0,618 | 0,655 | 0,69 |
| Критические меридиональные напряжения, МПа | 3,11 | 3,11 | 3,11 | 3,11 | 3,11 | 3,11 | 3,11 | 3,11 |
| Критические кольцевые напряжения, МПа | 1,26 | 1,26 | 1,26 | 1,26 | 1,26 | 1,26 | 1,26 | 1,26 |
| Выполнение условия: | 0,68<1 | 0,91<1 | 1,01>1 | 1,22>1 | 1,46>1 | 1,42>1 | 1,39>1 | 1,35>1 |

Определим кольцевые напряжения. Для этого нужно знать коэффициент учета изменения ветрового давления:

Для 1-го пояса:





Проведем проверку на устойчивость стенку. По таблице можно заметить, что начиная с 3 пояса необходимо увеличить толщину стенки резервуара. Тогда:

|  |
| --- |
| Значения толщины стенки по поясам, мм |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| 23,5 | 16,5 | 15,5 | 14,5 | 12,5 | 12,5 | 12,5 | 12,5 |

Сделаем аналогичный расчет, но с новыми значениями толщин поясов.

|  |  |
| --- | --- |
| Параметры расчета | Полученные значения по поясам |
| № пояса | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| Толщина пояса, мм | 23,5 | 16,5 | 15,5 | 14,5 | 12,5 | 12,5 | 12,5 | 12,5 |
| Вес стенки, МН | 3,996 | 3,220 | 2,675 | 2,163 | 1,684 | 1,238 | 0,826 | 0,413 |
| Вес металла, МН | 7,186 | 6,410 | 5,865 | 5,353 | 4,874 | 4,428 | 4,016 | 3,603 |
| Коэффициент учета изменения ветрового давления | 0,358 | 0,472 | 0,555 | 0,623 | 0,675 | 0,726 | 0,773 | 0,815 |
| Меридиональные напряжения, МПа | 1,96 | 2,46 | 2,42 | 2,38 | 2,36 | 2,35 | 2,14 | 1,93 |
| Кольцевые напряжения, МПа | 0,12 | 0,23 | 0,28 | 0,34 | 0,40 | 0,47 | 0,50 | 0,53 |
| Критические меридиональные напряжения, МПа | 4,18 | 4,18 | 4,18 | 4,18 | 4,18 | 4,18 | 4,18 | 4,18 |
| Критические кольцевые напряжения, МПа | 1,74 | 1,74 | 1,74 | 1,74 | 1,74 | 1,74 | 1,74 | 1,74 |
| Выполнение условия: | 0,54<1 | 0,72<1 | 0,74>1 | 0,77>1 | 0,80>1 | 0,83>1 | 0,80>1 | 0,77>1 |

###### Таким образом, устойчивость выполняется при утолщении поясов стенки стального резервуара. Примем вновь полученные значения толщин согласно таблице:

|  |
| --- |
| Значения толщины стенки по поясам, мм |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| 23,5 | 16,5 | 15,5 | 14,5 | 12,5 | 12,5 | 12,5 | 12,5 |

###### **РАЗДЕЛ 3. РАСЧЕТ ОКРАЙКИ ДНИЩА РЕЗЕРВУАРА**

Размеры кольцевых окраек днища назначаются из условия прочности узла соединения стенки с днищем с учетом деформативности листа окрайки днища. При этом учитывается, что днище имеет сплошное опирание по всей поверхности, включая кольцевые окрайки.

Номинальная толщина кольцевых окраек tb должна быть не менее величины, определяемой по формуле, согласно [10]:

 (3.1)

где:

k1 – безразмерный коэффициент, k1 = 0,77 [10];

r – радиус проектируемого резервуара, м;

t1 – фактическое значение толщины нижнего пояса стенки, м. Принять согласно таблице 7;

 – припуск на коррозию нижнего пояса стенки и днища соответственно. Принимаем ∆tcs = 0,002 м, ∆tcb = 0,002 м;

∆tmb – минусовой допуск на прокат окрайки днища, принимаем согласно [14] 0,0008 м;

Номинальную толщину кольцевых окраек назначаю с учетом ограничений [10]:

 (3.2)

Кольцевые окрайки должны иметь ширину в радиальном направлении Lо, мм, обеспечивающую расстояние между внутренней поверхностью стенки и швом приварки центральной части днища к окрайкам, указанное в таблице 11 [10], но не менее значения, определяемого по формуле:

 (3.3)

где:

k2 – безразмерный коэффициент, k2 = 0,92.

Таблица 11

**Значения расстояний**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Наименование параметра | Объем резервуара, м3 | Допустимые значения, мм |
| Расстояние между внутренней поверхностью стенки и швом приварки центральной части днища к окрайкам | До 5000 | Не менее 300 |
| Св. 5000 | Не менее 600 |

**ВАРИАНТЫ ЗАДАНИЙ**

**НА КУРСОВОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ НА ТЕМУ**

**«СООРУЖЕНИЕ ВЕРТИКАЛЬНОГО СТАЛЬНОГО РЕЗЕРВУАРА»**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| № Варианта | Геометрические параметры резервуара | Материал | Хранимый продукт |
| Диаметр, м | Высота, м | Объем, м3 |
|  | 34,2 | 12 | 10000 | С345-3 | Осветительный керосин |
|  | 45,6 | 12 | 20000 | С255 | Дизель |
|  | 45,6 | 18 | 30000 | 09Г2С-12 | Тяжелая нефть |
|  | 12,33 | 18 | 2000 | Ст3сп | Вакуумный газойль |
|  | 22,8 | 12 | 5000 | Ст3сп | Керосин |
|  | 18,98 | 13,5 | 3000 | 09Г2С | Российская нефть (Самотлорское месторождение) |
|  | 10,43 | 12 | 1000 | Ст3сп5 | Мазут |
|  | 39,9 | 18 | 20000 | С345-3 | Бензин АИ-95 |
|  | 28,5 | 18 | 10000 | 09Г2С-15 | Бензин АИ-92 |
|  | 18,98 | 12 | 3000 | Ст3сп5 | Печное топливо |
|  | 18,98 | 18 | 5000 | С255 | Бензин АИ-92 |
|  | 12,33 | 12 | 1500 | С345-3 | Керосин |
|  | 12,33 | 9 | 1000 | Ст3сп | Тяжелая нефть |
|  | 10,43 | 18 | 1500 | С255 | Вакуумный газойль |
|  | 15,18 | 12 | 2000 | 09Г2С-15 | Мазут |

**СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ**

1. СНиП 2.05.06 - 85 Магистральные трубопроводы
2. ГОСТ 20295-85 Трубы стальные сварные для магистральных газонефтепроводов. Технические условия
3. СТО Газпром 2-2.1-131-2007 Инструкция по применению стальных труб на объектах ОАО «Газпром»
4. СТО Газпром 2-3.5-051-2006 Нормы технологического проектирования магистральных газопроводов
5. Учебно-методический комплекс по дисциплине «Трубопроводный транспорт и хранение газа» для студентов специальностей 700501 "Проектирование, сооружение и эксплуатация газонефтепроводов и газонефтехранилищ" / А.И. Вегера. – Новополоцк: УО "ПГУ", 2005. – 316 с.
6. ТКП 45-3.03-19-2006 Автомобильные дороги. Правила проектирования
7. ТКП 420-2012 Строительство магистральных нефтепроводов. Противокоррозионные покрытия
8. ТКП 418-2012 Строительство магистральных нефтепроводов. Подводные переходы
9. Нехаев Г.А. Проектирование и расчет стальных цилиндрических резервуаров и газгольдеров низкого давления, 2005
10. ТКП 45-5.04-172-2010 Стационарные вертикальные цилиндрические резервуары для хранения нефти и нефтепродуктов. Правила проектирования и устройства
11. СП 20.13330.2011 СНиП 2.01.07-85\* Нагрузки и воздействия
12. РД 16.01-60.30.00-КТН-026-1-04 Нормы проектирования стальных вертикальных резервуаров для хранения нефти объемом 1000-50000 м3//ОАО «АК «Транснефть»
13. СНиП II-23- 81\* Стальные конструкции
14. ГОСТ 19903-74\* Прокат листовой горячекатаный. Сортамент
15. ВНТП 5-95 Нормы технологического проектирования предприятий по обеспечению нефтепродуктами (нефтебаз)
16. ГОСТ 26020-83 Двутавры стальные горячекатаные с параллельными гранями полок. Сортамент

**Приложение А**

**Перечень газовых месторождений и состав газа**

|  |  |
| --- | --- |
| Месторождение | Состав газа, % |
| СН4 | С2Н6 | C3Н8 | С4Н10 | С5Н12 | СО2 | N2 и др. | Н2S |
| Уренгойское | 93,2 | 1,46 | 0,66 | 0,5 | 0,15 | 0,33 | 3,7 | - |
| Тазовское | 96,6 | 1,1 | 0,03 | 1,06 | 0,01 | 0,2 | 1 | - |
| Комсомольское | 97,2 | 0,14 | 0,03 | - | 0,03 | 0,1 | 2,5 | - |
| Губкинское | 98,4 | 0,13 | 0,01 | - | 0,01 | 0,15 | 1,3 | - |
| Юбилейное | 98,4 | 0,07 | 0,01 | - | 0,2 | 0,22 | 1,1 | - |
| Вой-Вожское | 84,4 | 5,2 | 1,39 | 0,43 | 0,2 | 0,18 | 8,2 | - |
| Березовское | 94,8 | 1,2 | 0,3 | 0,1 | 0,1 | 0,5 | 3 | - |
| Покровское | 65,3 | 4,9 | 2,1 | 0,9 | 0,5 | 0,3 | 26 | - |
| Вергунское | 84,6 | 3,45 | 1 | 0,36 | 0,29 | 1,3 | 9 | - |
| Ефремовское | 93,2 | 3,93 | 0,81 | 0,28 | 0,18 | 0,2 | 1,4 | - |
| Газлинское | 94,7 | 3,3 | 0,1 | 0,29 | 0,11 | 0,4 | 1,1 | - |
| Учкырское | 92,5 | 4,4 | 1,23 | 0,33 | 0,12 | 0,3 | 1,1 | 0,02 |
| Самантепе | 88,3 | 2,3 | 0,38 | 0,15 | 0,17 | 5 | 0,5 | 3,2 |
| Майское | 97,3 | 0,7 | 0,1 | 0,02 | - | 0,88 | 1 | - |