

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
Воронежский государственный технический университет**

Кафедра теплогазоснабжения и нефтегазового дела

ПРОЕКТИРОВАНИЕ МОКРОГО ГАЗГОЛЬДЕРА

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

**к выполнению практических занятий и курсового проекта
для студентов направления подготовки
21.03.01 «Нефтегазовое дело»
всех форм обучения**

Воронеж 2022

УДК 66.076.2(07)
ББК 38.763я7

Составитель
ст. преп. А. И. Калинина

Проектирование мокрого газгольдера: методические указания к выполнению практических занятий и курсового проекта для студентов направления подготовки 21.03.01 «Нефтегазовое дело» всех форм обучения / ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»; сост. А. И. Калинина. Воронеж: Изд-во ВГТУ, 2022. 21 с.

Приводится метод расчета мокрого газгольдера, даны общие сведения о газохранилищах, а также методика конструктивного расчета. В приложениях даются справочные данные для выполнения курсового проекта.

Предназначены для студентов направления 21.03.01 «Нефтегазовое дело» всех форм обучения.

Методические указания подготовлены в электронном виде и содержатся в файле МУ_ПМГ.pdf.

Ил. 1. Табл. 2.

УДК 66.076.2(07)
ББК 38.763я7

Рецензент – М. Н. Жерлыкина, канд. тех. наук, доц. кафедры
жилищно-коммунального хозяйства ВГТУ

*Издается по решению редакционно-издательского совета
Воронежского государственного технического университета*

ВВЕДЕНИЕ

Методические указания предназначены для выполнения практических занятий и курсового проекта по дисциплине «Проектирование и строительство газохранилищ». Цель составления методических указаний – дать ответы на вопросы, возникающие у студентов, приступающих к выполнению курсового проекта, который является большой самостоятельной инженерной работой.

Методические указания включают пример расчета абсорбционной установки, последовательность и содержание этих расчетов, правила графического оформления, литературные источники, пользуясь которыми студенты выполняют расчеты. Работая над проектом, студент изучает действующие ГОСТы, справочную литературу, приобретает навыки выбора аппаратуры и оборудования, которые следует подобрать для обеспечения работы данной установки.

Основная цель курсового проекта заключается в закреплении и расширении теоретических знаний студентов, в приобретении ими навыков по решению инженерных задач. Выполнение курсового проекта служит базой для выполнения дипломных проектов по специальности.

Методические указания дополнены приложениями, в которых приведены формулы, справочные данные, что позволяет быстро определить необходимые расчетные величины.

1. СОДЕРЖАНИЕ КУРСОВОГО ПРОЕКТА И ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К ЕГО ОФОРМЛЕНИЮ

Курсовой проект по дисциплине «Проектирование и строительство газохранилищ» состоит из пояснительной записки и графической части.

1.1. Содержание пояснительной записки

Пояснительная записка к курсовому проекту, содержащая все исходные, расчетные и графические (вспомогательные) материалы, должна быть оформлена в определенной последовательности:

- 1) титульный лист;
- 2) бланк задания на проектирование;
- 3) содержание;
- 4) введение;
- 5) проектирование и строительство мокрого газгольдера;
- 6) заключение (выводы);
- 7) библиографический список.

Задание на выполнение курсового проекта выдается на специальном бланке и подшивается в пояснительную записку без переписывания.

Содержание приводят в точном соответствии с рубрикацией, принятой в пояснительной записке, с указанием номеров страниц начала разделов и подразделов.

Введение. В данном разделе необходимо кратко описать назначение мокрого газгольдера. Конструктивный состав и характеристику сооружения. Описать конструкций и процесс их изготовления.

Проектирование и строительство мокрого газгольдера. Задачей этого раздела проекта является определение нагрузок, подбор и выбор сечения основных металлических конструкций мокрого газгольдера. Произвести проверку несущей способности элементов конструкций.

Заключение (выводы). Заканчивая расчетную часть проекта, студент должен дать анализ полученных результатов, их соответствия заданию на проект.

Библиографический список. Литературные источники, которые использовались при составлении пояснительной записки, располагаются в порядке упоминания их в тексте или по алфавиту (по фамилии первого автора работы). Оформляется в соответствии с положениями о дипломном проектировании. Ссылки на использованную литературу в тексте приводят в квадратных скобках, учитывая номер источника по приведенному в пояснительной записке списку.

1.2. Оформление расчетно-пояснительной записки

Требования к оформлению текста пояснительной записки определены в «Положении о дипломном проектировании. Часть 1. Единые требования к текстовым документам», ГОСТ 2.105-95 «Общие требования к текстовым документам».

Текст дипломного проекта должен быть выполнен печатным способом с использованием компьютера и принтера на одной стороне белой бумаги шрифтом Times New Roman, кегль 14, через 1,5 интервала, черным цветом, величина абзацного отступа не менее 15 мм.

Содержание пояснительной записки может быть представлено в виде текста, таблиц, иллюстраций, формул и других составляющих.

Страницы пояснительной записки должны соответствовать формату А4. При необходимости допускается применение других основных и дополнительных форматов по вышеуказанному стандарту. Такие страницы подшиваются и складываются так, чтобы основная надпись оставалась сверху без разворачивания листа. Каждый лист пояснительной записки, кроме приложений, должен иметь рамку и основную надпись.

Нумерация страниц пояснительной записки сквозная, включая приложения, арабскими цифрами в основной надписи. Заглавным листом считается титульный лист, вторым листом пояснительной записки является «Содержание». Номер страницы на титульном листе не проставляется. Иллюстрации, таблицы включаются в общую нумерацию.

Библиографический список должен содержать точные сведения об источниках, использованных при разработке дипломного проекта, в соответствии с ГОСТ 7.1- 2003, настоящим положением и удовлетворять следующим требованиям:

- соответствовать теме дипломного проекта;

- представлять разнообразные виды изданий: официальные, нормативные, справочные, учебные, научные, методические и т. д.;
- не содержать нормативно-устаревшие источники.

Библиографический список составляется в последовательности ссылок на источники по тексту пояснительной записки, которые нумеруются арабскими цифрами.

Графики, таблицы выполняются ручным способом или с помощью специальных компьютерных программ. Объем работы составляет 30 - 40 страниц. Текст печатается на одной стороне листа. Терминология и определения в записке должны быть едиными и соответствовать установленным стандартам, а при их отсутствии - общепринятым в научно-технической литературе. Сокращения слов в тексте и подписях не допускаются. Все расчетные формулы в пояснительной записке приводятся сначала в общем виде, нумеруются, дается объяснение обозначений и размерностей всех входящих в формулу величин. Затем в формулу подставляют численные значения величин и записывают результаты расчета.

Все иллюстрации (графики, схемы, чертежи) именуются рисунками. Рисунки нумеруют и располагают после ссылки на него.

Все таблицы, как и рисунки, нумеруют. Слева над таблицей (на уровне левой кромки контура таблицы) помещается слово «Таблица», ее номер и название. Нумерация таблиц производится арабскими цифрами либо сквозной нумерацией в пределах всего текстового документа. Название таблицы помещается над таблицей и оформляется строчными буквами, начиная с прописной.

Страницы скрепляются жесткой обложкой специальных папок для выполнения курсовых работ.

1.3. Графическая часть курсового проекта

Графическая часть включает один лист чертежей размером 841 × 594 мм (формат A1), на котором представлены: фасад мокрого газгольдера, план днища и крыши сооружения, развертка стенки, раскрой листов днища и конструктивные узлы, примечание.

1.4. Защита курсового проекта

К защите допускается студент, выполнивший задание на проектирование в установленном объеме и оформивший его в соответствии с требованиями.

Оформленный проект сдается руководителю для проверки, а затем в назначенный срок студент защищает свой проект.

2. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ К ПРОЕКТУ

Задание на курсовой проект выдается кафедрой теплогазоснабжения и нефтегазового дела. В задании указывается:

1. Сооружение - мокрый газгольдер;
2. Полезный объем , м^3 ;
3. Марка стали;
4. Избыточное давление , кПа;
5. Район строительства.

3. ПРОЕКТИРОВАНИЕ И СТРОИТЕЛЬСТВО МОКРОГО ГАЗГОЛЬДЕРА

3.1. Общие сведения

В настоящее время природный горючий газ является одним из важнейших полезных ископаемых, необходимых для функционирования инфраструктуры страны. Известно, что число потребителей непостоянно и зависит от времени года. Таким образом, в России не смотря на активную добычу газа, все равно существует такая проблема как «сезонность». Для решения данной задачи были разработаны технологии строительства газохранилищ и газгольдеров.

В отличие от обычных резервуаров газохранилища имеют специальные устройства, обеспечивающие их герметичность при наполнении, хранении и расходовании газа из хранилища. В настоящее время существуют разные виды газохранилищ.

Наиболее распространены природные подземные резервуары (емкости). К ним относятся:

1) Природные резервуары в водонасыщенных пористых грунтах. Данный резервуар работает следующим образом: газ под давлением подается в поры водонасыщенный слоя грунта, «выдавливая» из них воду вниз. Таким образом, воды образует нижнюю границу природного резервуара. А верхняя граница – это купол из прочного непроницаемого грунта. Но такой природный резервуар можно применять только для хранения тех газов, которые допускают насыщения водой.

2) Природные резервуары, образованные после выработки углеводородов. Это такие резервуары, которые были получены после добычи нефти или газа. Как правило, они считаются наиболее приспособленными подземными хранилищами. К недостаткам таких резервуаров можно отнести то, что при повторном использовании нефтяных выработок к газу могут примешиваться иные испарения, которые негативно сказываются на качестве газа.

3) Резервуары в отложениях каменной соли. Данный вид хранилища считается наиболее распространенным, конечно в тех районах, где имеются залежи. Важное отличительное свойство каменной соли – это увеличение пластических характеристик при повышении давления и смачивании. При проведении

таких процедур капилляры и трещины в каменной соли «закрываются» и это приводит к увеличению прочности породы и ее непроницаемости.

4) Резервуары в горных выработках рудников (шахтные хранилища). Наиболее природными для строительства подземных шахтных емкостей являются осадочные породы. Стоит отметить, что в шахтах можно хранить одновременно несколько видов газа, создавая дополнительные перегородки. В некоторых случаях для обеспечения непроницаемости хранилища его стенки облицовывают стальными листами.

5) Льдогрунтовые хранилища. Данный вид хранилища сооружают в местах многолетней мерзлоты. Внутри резервуара поверхность облицована льдом, что создает непроницаемость для газа.

6) Хранилища, сооружаемые способом взрыва. Сначала бурят скважину на проектную глубину, затем постепенно закладывают взрывчатое вещество. Так как в грунте содержится достаточное количество глины, а это очень пластичный материал, то герметичность резервуара обеспечена. Безусловно, данный вид емкости дешевле стального резервуара.

Преимущество подземных емкостей состоит в их пожаро- и взрывобезопасности, в меньших экономических затратах для строительства, меньшей металлоемкости, а также они не требуют больших участков под строительство.

Надземное хранение сжиженных газов осуществляется под давлением в газгольдерах или изотермических резервуарах низкого давления. Для хранения газа в газообразном состоянии применяют газгольдеры.

Газгольдеры выполняют ряд функций:

1. Длительное или кратковременное хранение газа;
2. Смешивание и перемешивание газов различной концентрации и составов;
3. Изменение количества поступающего и выдаваемого продукта;
4. Выравнивание давления газа в замкнутой газораспределительной среде.

Все вышеперечисленные задачи – это и есть особенности газгольдеров, отличающие их от газохранилищ.

Газгольдеры высокого давления имеют стабильный геометрический объем, а давление от 70 кПа до 3МПа. Как правило, давление газа оговаривается в строго определённых пределах и зависит от технологии строительства, прочности и плотности самого сосуда. Объёмы данных видов газгольдеров невелики. Газгольдеры высокого давления по конструкции подразделяются на сферические и цилиндрические со сферическим днищем.

Газгольдеры низкого давления имеют переменный объём. При этом изменение объёма производится практически при одном и том же давлении, которое создается с помощью собственного веса газгольдера и дополнительных пригрузов. Газгольдеры низкого давления по принципу действия подразделяются на сухие и мокрые.

Подробнее рассмотрим мокрый газгольдер.

Мокрый газгольдер представляет собой герметический железный колокол, края которого погружены в водяной бассейн, чем создается гидравличе-

ский затвор. Под колокол подводится две трубы, по одной из которых газ поступает в газгольдер, а по другой отводится. При заполнении газгольдера газом колокол поднимается, а при заборе газа опускается.

Мокрые газгольдеры большой емкости, кроме основного колокола имеют еще несколько промежуточных звеньев (телескоп), число которых может достигать до пяти. Все эти промежуточные звенья соединены между собой и с колоколом, посредством гидравлических затворов, которые расположены по всей окружности колокола звеньев.

Газгольдеры переменного объема предназначены не столько для длительного хранения газа, сколько для поддержания давления газа в безопасных пределах при его потреблении. Стоит отметить, что мокрые газгольдеры менее взрывоопасны, чем сухие газгольдеры.

Газгольдеры мокрого типа устанавливают обычно на открытом воздухе с соблюдением противопожарных разрывов.

В зимнее время для подогрева воды в резервуаре газгольдера на паровые элеваторы подают пар. Элеваторы расположены по периметру резервуара газгольдера, они обеспечивают одновременно и циркуляцию воды в резервуаре. В зависимости от климатических поясов газгольдеры сооружают с утепляющими стенками и без них.

В настоящее время газгольдеры переменного объема используются мало.

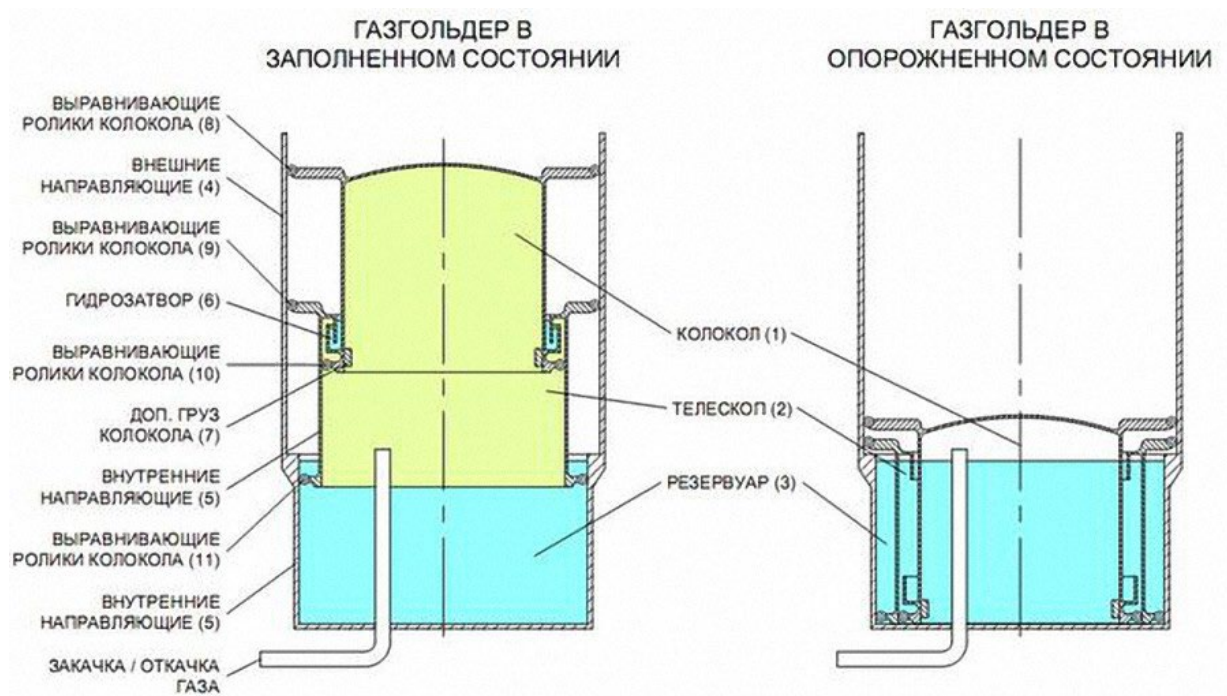


Рис. 1. Мокрый газгольдер

3.2. Определение габаритных размеров частей газгольдера

Основными частями мокрого газгольдера являются:

1. Резервуар, заполненный водой;
2. Телескоп – одно или несколько подвижных звеньев;
3. Колокол – подвижная часть.

При назначении основных размеров газгольдера, прежде всего нужно установить количество подвижных звеньев (колокола с телескопами).

Если объем газгольдера составляет:

- 6000 м³ и менее, то такой газгольдер проектируют однозвенным (резервуар с водой + колокол);
- 6000 – 30000 м³, то такой газгольдер проектируют двухзвенными (резервуар с водой + телескоп + колокол);
- 30000 и более, то такой газгольдер проектируют двухзвенными (резервуар с водой + два телескопа + один колокол).

Резервуар представляет собой вертикальный цилиндр, сваренный из отдельных листов, размеры которых 1,5×6 м. Высота кратна 1,5 м, а длина окружности кратна 3 м. Резервуар снизу опирается на кольцевой железобетонный фундамент и на песчаную подушку, расположенную под центром днища. Резервуар закрыт только снизу днищем, а сверху – нет, следовательно, не хватает достаточной жесткости, поэтому в верхней части оборудуют кольцо жесткости в виде площадок, подкрепленных подкосами.

Телескоп представляет собой открытый сверху и снизу цилиндр. Конструкция телескопа состоит из обшивки толщиной 4-5 мм и двух колес жесткости – сверху и снизу, соединённых по вертикали стойками, которые служат и направляющими. Кольца жесткости, выполняют роль гидравлических затворов.

Колокол – это открытый снизу и закрытый сверху крышкой цилиндр. Крыша представляет собой ребристо – кольцевой купол с центральным кольцом жесткости. Ребра покрытия опираются на рубчатые стойки. Стойки внутри колокола размещаются по периметру на расстоянии 3-4 м. Настил кровли колокола толщиной 5 мм, листы свариваются друг с другом внахлест, настил свободно укладывается по ребрам и приваривается только по краям (дышащая кровля), но настил также может привариваться и к ребрам, и к кольцам.

Главное движение (вверх – вниз) телескопа и колокола обеспечивается за счет системы направляющих стоек (внешних и внутренних), по которым движутся ролики.

Число внутренних направляющих в телескопе и резервуаре принимают равным числу стоек под ребрами купола. Число внешних направляющих принимают в два раза меньше, чем число внутренних.

Внешние направляющие для обеспечения устойчивости связывают системой вертикальных связей.

Определение габаритных размеров однозвенного газгольдера

Диаметр резервуара однозвенного газгольдера:

$$D_p = 1,45 \cdot \sqrt[3]{V}, м \quad (1)$$

где V – полезный объем газгольдера, $м^3$.

Для стенки резервуара обычно используют листы 1,5х 6,0 м. Поэтому найденное значение D_p надо откорректировать так, чтобы длина развертки корпуса была бы кратной 3м.

Диаметр колокола:

$$D_k = D_p - 0,8 м, м \quad (2)$$

По диаметру колокола и заданному объему V определяется высота колокола h_k :

$$h_k = \frac{4 \cdot V}{\pi \cdot D_k^2} + h_1, м \quad (3)$$

где $h_1 = 0,15...0,20 м$.

Высота резервуара:

$$h_p = h_k + h_{нб} + (0,10...0,15), м \quad (4)$$

где $h_{нб}$ высота подкладных балок из прокатных двутавров, укладываемых радиально на днище резервуара (20Б1.....24Б1, длиной 0,6....0,7м), через 3...4 м по окружности стенки.

Определение габаритных размеров двухзвенного газгольдера

Диаметр резервуара двухзвенного газгольдера:

$$D_p = 1,3 \cdot \sqrt[3]{V}, м \quad (5)$$

где V – полезный объем газгольдера, $м^3$.

Для стенки резервуара обычно используют листы 1,5х 6,0 м. Поэтому найденное значение D_p надо откорректировать так, чтобы длина развертки корпуса была бы кратной 3м.

Диаметр телескопа двухзвенного мокрого газгольдера:

$$D_m = D_p - 1 м, м \quad (6)$$

Диаметр колокола двухзвенного мокрого газгольдера:

$$D_k = D_m - 1,1 м, м \quad (7)$$

Для поясов стенки колокола, кроме крайних, используется тонколистовая сталь толщиной 4 мм и шириной 1000...1400 мм.

Высота колокола и телескопа принимается одинаковой и определяется по формуле:

$$h_k = h_m = \frac{4 \cdot V + \pi \cdot D_m^2 \cdot (h_2 + h_1)}{\pi \cdot (D_m^2 + D_k^2)}, м \quad (8)$$

$$\text{где} \quad h_2 + h_1 = 0,4 + \frac{P_{изб}}{\gamma_s}, м \quad (9)$$

$P_{изб}$ – избыточное давление, кПа.

$$\gamma_{\text{в}} - \text{удельный вес воды, } \frac{\kappa\text{Н}}{\text{м}^3};$$

$$\gamma_{\text{в}} = \rho_{\text{в}} \cdot g \cdot 10^{-3}, \frac{\kappa\text{Н}}{\text{м}^3} \quad (10)$$

где $\rho_{\text{в}}$ – плотность воды, $\rho_{\text{в}} = 1000 \frac{\kappa\text{г}}{\text{м}^3}$;

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

$$\gamma_{\text{в}} = 1000 \cdot 9,81 \cdot 10^{-3} = 9,81 \frac{\kappa\text{Н}}{\text{м}^3}$$

Принимаемая высота колокола и телескопа должна соответствовать стандартной ширине толстолистовой стали (1,5м) для крайних поясов и тонколистовой стали (1,0...1,4 м), для остальных поясов и ширине нахлестки для кольцевых швов, равной 40...60 мм.

Высота резервуара назначается по формуле (4).

Длина развертки резервуара однозвенного и двухзвенного:

$$L = 2 \cdot \pi \cdot r = 2 \cdot \pi \cdot \frac{D_p}{2} = \pi \cdot D_p, \text{ м} \quad (11)$$

Принимаем листы размером 5995х1495 мм, уточним длину развертки.

Количество листов на один пояс стенки:

$$n_{\text{л}} = \frac{L}{l_{\text{л}}}, \text{ шт} \quad (12)$$

Фактическая длина развертки стенки:

$$L_{\text{ф}} = n_{\text{л}} \cdot l_{\text{л}}, \text{ м} \quad (13)$$

Фактический диаметр резервуара:

$$D_{\text{ф}} = \frac{L_{\text{ф}}}{\pi}, \text{ м} \quad (14)$$

После назначения основных размеров определяется фактическая (полезная) вместимость газгольдера по формуле:

- для однозвенного

$$V_{\text{ф}} = \frac{\pi D_{\text{к}}^2}{4} \cdot (h_{\text{к}} - h_{\text{к}}), \text{ м}^3 \quad (15)$$

- для двухзвенного

$$V_{\text{ф}} = \frac{\pi D_{\text{к}}^2}{4} \cdot h_{\text{к}} + \frac{\pi D_{\text{м}}^2}{4} \cdot (h_{\text{м}} - h_1 - h_2), \text{ м}^3 \quad (16)$$

Необходимо выполнить проверку:

$$\left| \frac{V - V_{\text{ф}}}{V} \right| \cdot 100\% \leq 5\% \quad (17)$$

Условие выполняется, значит, габаритные размеры частей газгольдера определены верно. Для удобства найденные значения сведем в табл. 1.

Габаритные размеры частей газгольдера

Таблица 1

L, м	D _p , м	D _T , м	D _K , м	r _p , м	r _T , м	r _K , м	h _p , м	h _K =h _T , м

3.3. Определение веса пригруза

Для создания необходимого давления внутри газгольдера недостаточно массы подвижных звеньев, поэтому используют бетонные грузы и располагают их по периметру крыши колокола, для того чтобы уравновесить внутреннее давление.

Пригруз в виде бетонных блоков располагают по периметру крыши колокола для того чтобы уравновесить внутреннее давление.

Вес пригруза:

$$Q_{\text{приг}} = P_{\text{изб}}^{\text{н}} \cdot \frac{\pi D_m^2}{4} - Q + \frac{Q' \cdot \rho_{\text{с}}}{\rho_{\text{ст}}} + V \cdot g \cdot (\rho_{\text{воздуха}} - \rho_{\text{газа}}), \text{кН} \quad (18)$$

Принимая $\rho_{\text{возд.}} \approx \rho_{\text{газа}}$ и не учитывая вес погруженных в воду частей колокола и телескопа Q' из-за малости их значений, получим:

$$Q_{\text{приг}} = P_{\text{изб}}^{\text{н}} \cdot \frac{\pi D_m^2}{4} - Q, \text{кН} \quad (19)$$

где $P_{\text{изб}}^{\text{н}}$ - нормативное избыточное давление $1 \text{кПа} = 1 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2}$;

Q - общий нормативный вес частей газгольдера, кН.

Для двухзвенного мокрого газгольдера общий нормативный вес частей газгольдера:

$$Q = Q_{\text{к}} + Q_{\text{т}}, \text{кН} \quad (20)$$

где $Q_{\text{к}}$ - вес колокола, кН;

$Q_{\text{т}}$ - вес телескопа, кН.

$$Q_{\text{к}} = G_{\text{стенки}}^{\text{K}} + G_{\text{покрытия}}^{\text{K}} + G_{\text{труб.стоек}}^{\text{K}}, \text{кН} \quad (21)$$

где $G_{\text{стенки}}^{\text{K}}$ - вес стенки колокола, кН;

$G_{\text{покрытия}}^{\text{K}}$ - вес покрытия колокола, кН;

$G_{\text{труб.стоек}}^{\text{K}}$ - вес трубчатых стоек, кН.

1) Вес стенки колокола:

$$G_{\text{стенки}}^{\text{K}} = 1,1 \cdot \pi \cdot D_{\text{к}} \cdot [2 \cdot 0,01 \cdot h_n + 0,004 \cdot (h_{\text{к}} - 2 \cdot h_n)] \cdot g_{\text{ст}}, \text{кН} \quad (22)$$

где h_n - высота крайних поясов колокола, м. $h_n = 1,5 \text{м}$.

$g_{\text{ст}}$ - удельный вес стали, кН/м^3 ;

$$g_{\text{ст}} = \rho_{\text{ст}} \cdot g \cdot 10^{-3}, \frac{\text{кН}}{\text{м}^3} \quad (23)$$

где $\rho_{ст}$ - плотность стали, $\rho_{ст} = 7850 \frac{кг}{м^3}$

$$g_{ст} = 7850 \cdot 9,81 \cdot 10^{-3} = 77,01 \frac{кН}{м^3}$$

2) Вес покрытия колокола:

$$G_{покрытия}^K = g_{покрытия} \cdot V_{\phi}, кН \quad (24)$$

где $g_{покрытия}$ - удельный вес покрытия, $кН/м^3$;

$$g_{покрытия} = \rho_{покрытия} \cdot g \cdot 10^{-3}, \frac{кН}{м^3} \quad (25)$$

где $\rho_{покрытия}$ - плотность покрытия, $\rho_{покрытия} = 4,5 \frac{кг}{м^3}$.

$$g_{покрытия} = 4,5 \cdot 9,81 \cdot 10^{-3} = 0,0441 \frac{кН}{м^3}$$

3) Трубчатые стойки внутри колокола размещаются по периметру на расстоянии 3-4 м. Количество трубчатых стоек:

$$n_{труб.стоек} = \frac{\pi \cdot D_p}{3 \div 4}, шт \quad (26)$$

Сечение стоек по требуемому радиусу инерции:

$$i_{треб} = \frac{l_{ef}}{[\lambda]}, см \quad (27)$$

где $[\lambda]$ - допустимая гибкость. Принимаем $[\lambda] = 150$;

l_{ef} - расчетная длина стойки, м;

$$l_{ef} = h_k - h_n, м \quad (28)$$

По сортаменту стальных электросварных прямошовных труб ГОСТ 10704-91 подбираем трубу с близким большим радиусом инерции к требуемому, т.е: $i_x = i_y > i_{треб}$.

Геометрические характеристики стоек

Таблица 2

Диаметр внешний d, мм	Толщина стенки t, мм	Площадь попе- речного сечения A, см ²	Радиус инерции i _x =i _y , см	Линейная плотность ρ _{труб.стоек} , кг/м

Проверим сечение трубы на устойчивость:

$$\sigma = \frac{N_{mp}}{\varphi \cdot A_{mp}} \leq R_y \cdot \gamma_c \quad (29)$$

где γ_c - коэффициент условий работы, $\gamma_c = 0,9$;

R_y - расчетное сопротивление труб, $100 \text{ МПа} = 10 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2}$;

φ - коэффициент продольного изгиба, определяется по СП 16.13330.2017 Стальные конструкции.

$N_{тр}$ - усилие, возникающее в стойке при опущенном колоколе. В данном положении на трубу действуют нагрузка от покрытия и снеговая нагрузка.

$$N_{тр} = \frac{\pi \cdot D_{\kappa}^2}{4 \cdot n_{\text{труб.стоек}}} \cdot S + \frac{G_{\text{покрытия}}^{\kappa}}{n_{\text{труб.стоек}}}, \text{кН} \quad (30)$$

где S - равномерно распределенная снеговая нагрузка, действующая на крышу колокола. Определяется по СП 20.13330.2016 Нагрузки и воздействия.

4) Вес трубчатых стоек:

$$G_{\text{труб.стоек}}^{\kappa} = 1,1 \cdot n_{\text{труб.стоек}} \cdot g_{\text{труб.стоек}} \cdot l_{ef}, \text{кН} \quad (31)$$

где $g_{\text{труб.стоек}}$ - удельный вес трубчатых стоек, кН/м^3 ;

$$g_{\text{труб.стоек}} = \rho_{\text{труб.стоек}} \cdot g \cdot 10^{-3}, \frac{\text{кН}}{\text{м}^3} \quad (32)$$

где $\rho_{\text{труб.стоек}}$ - линейная плотность трубчатых стоек, $\rho_{\text{труб.стоек}} = 19,87 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$.

$$g_{\text{труб.стоек}} = 19,87 \cdot 9,81 \cdot 10^{-3} = 0,195 \frac{\text{кН}}{\text{м}^3}$$

5) Общий вес колокола определим по формуле 21:

6) Вес телескопа:

$$Q_m = G_{\text{стенки}}^m + G_{\text{труб.стоек}}^m, \text{кН} \quad (33)$$

$G_{\text{стенки}}^m$ - вес стенки телескопа, кН;

$G_{\text{труб.стоек}}^m$ - вес трубчатых стоек телескопа, кН.

7) Вес стенки телескопа:

$$G_{\text{стенки}}^T = 1,1 \cdot \pi \cdot D_T \cdot [2 \cdot 0,01 \cdot h_n + 0,004 \cdot (h_T - 2 \cdot h_n)] \cdot g_{\text{ст}}, \text{кН} \quad (34)$$

где $g_{\text{ст}}$ - удельный вес стали, кН/м^3 . По формуле 2.6 принимаем

$$g_{\text{ст}} = 77,01 \frac{\text{кН}}{\text{м}^3}.$$

8) Вес трубчатых стоек телескопа:

$$G_{\text{труб.стоек}}^m = 1,1 \cdot n_{\text{труб.стоек}} \cdot g_{\text{труб.стоек}} \cdot l_{ef}, \text{кН} \quad (35)$$

где $g_{\text{труб.стоек}}$ - удельный вес трубчатых стоек, кН/м^3 .

В качестве стоек телескопа примем по ГОСТ СТО АСЧМ 20-93 двутавр 25 Б1, линейная плотность которого $\rho = 25,7 \frac{\text{кг}}{\text{м}}$.

Тогда

$$g_{\text{труб.стоек}} = \rho \cdot g \cdot 10^{-3}, \frac{\text{кН}}{\text{м}^3} \quad (36)$$

- 9) Общий вес телескопа определим по формуле 33;
 10) Общий нормативный вес частей газгольдера определим по формуле 20;
 11) Вес пригруза определим по формуле 19.

3.4. Расчет стенки газгольдера

3.4.1. Определение толщины листов стенки резервуара по условию прочности

Самыми ослабленными участками стенки резервуара считаются сварные стыковые швы, поэтому толщину стенки определяют исходя из условия прочности сварных стыковых швов – R_{wy} . При проверке целостности сварных стыковых швов применяем физический метод контроля, поэтому $R_{wy} = R_y$.

Нагрузки, которые учитываются при расчете стенки резервуара:

1. Гидростатическое давление воды;
2. Избыточное давление хранимого газа;
3. Снеговые нагрузки, действующие на покрытия.

Толщина стенки резервуара:

$$t \geq \frac{(\gamma_{f1} \cdot \gamma_e \cdot x + \gamma_{f2} \cdot P_{изб} + S) \cdot r_p}{R_{wy} \cdot \gamma_c}, м \quad (37)$$

где γ_{f1} – коэффициент надежности для постоянной нагрузки, принимаемый равным 1,1;

γ_{f2} – коэффициент надежности для временной нагрузки, принимаемый равным 1,2;

γ_e – удельный вес воды, $кН/м^3$. $\gamma_e = 9,81 \frac{кН}{м^3}$;

$P_{изб}$ – избыточное давление газа, $кПа$.

S – равномерно распределенная снеговая нагрузка, действующая на крышу колокола.

R_{wy} – расчетное сопротивление сварных стыковых швов, $кН/см^2$.

$100 МПа = 10 \frac{кН}{см^2} = 100000 \frac{кН}{м^2}$;

γ_c – коэффициент условий работы. Для нижнего пояса $\gamma_c = 0,7$, для всех остальных поясов $\gamma_c = 0,8$;

x – расстояние от верхней части резервуара до нижней границы рассматриваемого пояса, $м$.

При расчете необходимо учитывать возможность коррозии металла, поэтому следует к найденной толщине добавлять 1 мм. Толщину металла для стенки резервуара, требуется выбирать из стандартной: 5, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22 и 25 мм. Минимальная рекомендуемая толщина стенки резервуара – 6 мм.

3.4.2. Определение толщины стенки колокола и телескопа

Основная нагрузка, которая учитывается при расчете толщины листов стенок колокола и телескопа, это избыточное давление газа.

Основная нагрузка, которая учитывается при расчете толщины листов стенок колокола и телескопа, это избыточное давление газа.

Толщина листов стенок колокола и телескопа:

$$t \geq \frac{\gamma_{f2} \cdot P_{изб} \cdot r_{T(K)}}{R_{wy} \cdot \gamma_c}, м \quad (38)$$

γ_{f2} - коэффициент надежности для временной нагрузки, принимаемый равным 1,2;

$P_{изб}$ - избыточное давление газа, кПа.

R_{wy} - расчетное сопротивление сварных стыковых швов, кН/см².

γ_c - коэффициент условий работы, $\gamma_c = 1$;

$r_{T(K)}$ - радиус телескопа или колокола, м.

Как правило, толщина листов крайних поясов колокола и телескопа 10 мм. А толщина срединных подбирается расчетом или принимается минимальной – 4 мм.

Телескоп

Так как высота телескопа 9 м, то обшивка состоит из 8 поясов. Высота крайнего верхнего и крайнего нижнего пояса – 1,5 м, а срединных поясов (6 шт.) – 1 м.

Т.к минимальная рекомендуемая толщина листов срединных поясов 4 мм, по $t_T = 4 \text{ мм} = 0,004 \text{ м}$. А толщина листов крайних поясов 10 мм.

Колокол

Так как высота колокола 9 м, то обшивка состоит из 8 поясов. Высота крайнего верхнего и крайнего нижнего пояса – 1,5 м, а срединных поясов (6 шт.) – 1 м.

Т.к минимальная рекомендуемая толщина листов срединных поясов 4 мм, по $t_K = 4 \text{ мм} = 0,004 \text{ м}$. А толщина листов крайних поясов 10 мм.

3.4.3. Конструирование стенок резервуара, телескопа и колокола

Стенки резервуара, колокола и телескопа выполняются из отдельных листов – поясов. Толщина поясов резервуара уменьшается к верху в связи с уменьшающимся гидростатическим давлением воды. А толщина крайних поясов телескопа и колокола больше, чем срединных, это вызвано расположением колец жесткости и гидрозатворов.

Как правило, листы любой толщины в вертикальном и горизонтальном направлении сваривают встык. Но в отдельных случаях для листов – поясов толщиной 4 мм и менее возможна сварка внахлестку, со сплошными швами с обеих сторон.

Вертикальная стенка резервуара должна иметь гладкую поверхность с внутренней стороны для удобства крепления внутренних направляющих и обеспечения высокого качества антикоррозионной защиты. Следовательно, ступенчатая поверхность стенки с постепенно утончающимися вверх листами должна находиться снаружи.

Сварку монтажных швов стенок резервуара, телескопа и колокола выполняют вручную или полуавтоматами с применением проволоки с порошковым сердечником.

Испытание на прочность сварных швов днища и кольцевого таврового шва производят вакуум-аппаратом. Просвечиванию проникающими излучениями подлежат все пересечения внутренних и горизонтальных швов резервуаров в листах толщиной 6 мм и более, включая все стыковые соединения окراек днища в местах примыкания к ним стенки резервуара. При толщине стали 10 мм и более разрешается производить контроль ультразвуковой дефектоскопией с последующим просвечиванием проникающими излучениями участков швов с признаками дефектов.

После проверки отдельных узлов и элементов приступают к гидравлическому испытанию резервуара — заполнению его водой на высоту, определенную проектом. Налив воды осуществляют ступенями по поясам с паузами, необходимыми для осмотра конструкций.

Нагнетанием воздуха от компрессора вначале производят медленный подъем колокола и телескопа на всю высоту до момента выхода воздуха через автоматическую свечу сброса газа в атмосферу. С началом подъема колокола выполняют проверку герметичности швов листового настила кровли, нанеся предварительно на них мыльный раствор.

После устранения обнаруженных дефектов колокол и телескоп поднимают несколько раз с большой скоростью и при наполнении газгольдера на 90% номинального объема проводят семисуточное испытание.

В ходе расчета было выявлено количество поясов стенки резервуара, колокола и телескопа.

Обшивка резервуара состоит из 7 поясов, два верхних и три нижних высотой по 1,5 м, а два остальных — 1 м.

Стенки телескопа и колокола состоят из 8 поясов, крайние высотой 1,5 м, а срединные — 1 м.

3.5. Конструирование днища

Основным назначением днища является обеспечение герметичности резервуара. При правильном устройстве основания, качественном изготовлении, транспортировании и монтаже каких-либо существенных напряжений от внешней нагрузки в днище не возникает. Поэтому толщина листов днища принимается только исходя из условия сохранения его целостности на планируемый период эксплуатации. Исключение составляет периферийная часть днища. Здесь в зоне соединения днища с цилиндрической стенкой при заполнении резервуара нефтепродуктом имеет место моментное напряжённое состояние с соответствующими изгибными напряжениями.

Днище собирается из листов размерами 6000×1500 мм (5990×1490 мм после острожки кромок). Листы соединяют внахлёстку или встык.

Днища резервуаров объёмом $V \geq 2000 \text{ м}^3$ имеют центральную часть и утолщённую кольцевую окрайку. Толщина листов центральной части $t_{\text{дн.ц}} \geq 4 \text{ мм}$. Толщина листов окрайки зависит от толщины нижнего пояса стенки резервуара и $t_{\text{дн.окр}} \geq 6 \text{ мм}$.

На окрайку непосредственно опирается цилиндрическая стенка резервуара, образуя узел соединения стенки с днищем.

Соединение цилиндрической стенки резервуара с окрайками днища выполняется двухсторонними угловыми швами с обязательным контролем качества швов физическими методами. При этом высота катета указанных швов должна быть не менее номинального значения толщины более тонкого из соединяемых элементов.

В месте опирания корпуса резервуара поверхность окрайков должна быть гладкой. Это достигается сваркой окрайков встык или вырезкой окрайков, которые у края днища свариваются встык на специальной подкладке.

Наружный контур окрасок должен иметь вид окружности и выступать за внешнюю поверхность стенки резервуара не менее чем на 50 мм и не более 100 мм.

Расстояние от наружной кромки окрасок до стыков их с листами центральной части днища должно быть не менее 1000 мм. Стыки нижнего пояса корпуса и стыки окрайков днища следует смещать, по крайней мере, на 200 мм.

Днища резервуаров должны быть коническими с уклоном к центру или от центра. Для резервуаров объёмом до 1000 м³ включительно допускается применение плоских днищ.

Монтаж днища может осуществляться двумя способами: полистовым или рулонным.

В основном, днище на рабочую площадку поставляется в виде рулонных заготовок заводского изготовления. Монтаж выполняется путём разворачивания рулонов с последующим соединением их между собой односторонним швом внахлёст. Монтажный стык, соединяющий отдельные полотнища, должен проходить через центр развёртки конструкции, чтобы на монтаже можно было получить требуемую коническую форму конструкции (с небольшим углом наклона в сторону центра или наоборот). Швы одного полотнища в месте монтажного стыка должны быть сдвинуты относительно аналогичных швов другого полотнища не менее чем на 100-150 мм. Минимальная величина нахлёстки в монтажном стыке – 30 мм, но обычно составляет 50-60 мм.

При рулонировании ширина отправочной марки днища должна быть менее 12 м и менее ширины рулонизируемого полотнища стенки.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. СП 16.13330.2017 Стальные конструкции / АО "НИЦ "Строительство" - ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко, МГСУ, СПбГАСУ ГУП ЦПП, 2017. – 90 с.
2. СП 20.13330.2016 Нагрузки и воздействия / ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко АО "НИЦ "Строительство" при участии ФГБУ "Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова", 2017 – 44 с.
3. Нелепов, М.В. Моделирование природных резервуаров нефти и газа
[Электронный ресурс] : практикум / Т.В. Логвинова; Н.В. Еремина; М.В. Нелепов. - Ставрополь : Северо-Кавказский федеральный университет, 2015. - 111 с.
URL: <http://www.iprbookshop.ru/63103.html>
4. Алексеев, С.В. Обустройство резервуарных парков [Электронный ресурс] : монография / С.И. Поникаров; В.А. Алексеев; С.В. Алексеев. - Казань : Казанский национальный исследовательский технологический университет, 2010. - 97 с. - ISBN 978-5-7882-1008-7.
URL: <http://www.iprbookshop.ru/62509.html>
5. Леденев, Виктор Васильевич. Расчет и конструирование специальных инженерных сооружений [Текст] : учебное пособие : рек. УМО РФ / ГОУ ВПО "Тамб. гос. техн. ун-т". - 2-е изд., стер. - Тамбов : ТГТУ, 2011. - 127, [1] с. : ил. - ISBN 978-5-8265-1044-5 : 40-00.
6. Сафарян, Мисак Карапетович. Металлические резервуары и газгольдеры [Текст] . - Москва : Недра, 1987 (Тула : Тульская типография, 1987). - 200 с. : ил. - Библиогр. в конце кн. - 0-85.
7. Кашкинбаев, И.З. Основы проектирования [Электронный ресурс] : учебно-методическое пособие / Т.И. Кашкинбаев; И.З. Кашкинбаев. - Алматы : Нур-Принт, 2016. - 42 с. - ISBN 978-601-78-69-04-9.
URL: <http://www.iprbookshop.ru/67116.html>__

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	3
1. Содержание курсового проекта и основные требования к его оформлению.....	3
1.1. Содержание пояснительной записки.....	3
1.2. Оформление расчетно-пояснительной записки.....	4
1.3. Графическая часть курсового проекта.....	5
1.4. Защита курсового проекта.....	5
2. Исходные данные к проекту.....	6
3. Проектирование и строительство мокрого газгольдера.....	7
3.1. Общие сведения.....	7
3.2. Определение габаритных размеров частей газгольдера.....	9
3.3. Определение веса пригруза.....	12
3.4. Расчет стенок газгольдера.....	15
3.4.1 Определение толщины листов стенки резервуара по условию прочности.....	15
3.4.2 Определение толщины стенки колокола и телескопа.....	17
3.4.3 Конструирование стенок резервуара, телескопа и колокола.....	16
3.5. Конструирование днища.....	17
Список рекомендуемой литературы.....	19

ПРОЕКТИРОВАНИЕ МОКРОГО ГАЗГОЛЬДЕРА

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к выполнению практических занятий и курсового проекта
для студентов направления подготовки
21.03.01 «Нефтегазовое дело»
всех форм обучения

Составитель

Калинина Алина Игоревна

Издается в авторской редакции

Подписано к изданию 23.05.2022.

Уч.-изд. л. 0,9.

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»
394006 Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84