

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«Воронежский государственный технический университет»

Кафедра теплогазоснабжения и нефтегазового дела

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ, СТРОИТЕЛЬСТВО И ЭКСПЛУАТАЦИЯ
ГАЗОНЕФТЕХРАНИЛИЩ**

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к практическим занятиям и выполнению курсовой работы
для студентов направления подготовки
21.04.01 «Нефтегазовое дело»
(программа магистерской подготовки «Нефтегазовое дело»)
всех форм обучения

Воронеж 2024

УДК 622.692.4(07)
ББК 39.7я7

Составитель А. И. Калинина

Проектирование, строительство и эксплуатация газонефтехранилищ: методические указания к практическим занятиям и выполнению курсовой работы для студентов направления подготовки 21.04.01 «Нефтегазовое дело» (программа магистерской подготовки «Нефтегазовое дело») всех форм обучения / ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»; сост.: А. И. Калинина. — Воронеж: Изд-во ВГТУ, 2024. — 23 с.

В методических указаниях приводятся основные методы расчета горизонтального цилиндрического резервуара, даны общие сведения о газохранилищах и нефтехранилищах, а также методика конструктивного расчета конструкций.

Предназначены для студентов направления подготовки 21.04.01 «Нефтегазовое дело» (программа магистерской подготовки «Нефтегазовое дело») всех форм обучения.

Методические указания подготовлены в электронном виде и содержатся в файле МУ_ПР КР_ПСиЭГНХ.pdf.

Ил. 5. Табл. 1. Библиогр.: 9 назв.

УДК 622.692.4(07)
ББК 39.7я7

***Рецензент** — М. Н. Жерлыкина, канд. тех. наук,
доцент кафедры жилищно-коммунального хозяйства ВГТУ*

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

ВВЕДЕНИЕ

Методические указания предназначены для выполнения практических занятий и курсовой работы по дисциплине «Проектирование, строительство и эксплуатация газонефтехранилищ».

Цель составления методических указаний — дать ответы на вопросы, возникающие у студентов, приступающих к выполнению курсовой работы, которая является большой самостоятельной инженерной работой.

Методические указания включают пример основных последовательность и содержание этих расчетов, правила графического оформления, литературные источники, пользуясь которыми студенты выполняют расчеты. Выполняя работу, студент изучает действующие ГОСТы, справочную литературу, приобретает навыки разработки технологической карты, календарного плана работ и строительного генерального плана.

Основная цель курсовой работы заключается в закреплении и расширении теоретических знаний студентов, в приобретении ими навыков по решению инженерных задач. Выполнение курсовой работы 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 КУРСОВОЙ РАБОТЫ И ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К ЕЕ ОФОРМЛЕНИЮ

Курсовая работа по дисциплине «Проектирование, строительство и эксплуатация газонефтехранилищ» состоит из пояснительной записки и графической части.

1.1. Содержание пояснительной записки

Пояснительная записка к курсовой работе, 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) общие положения технологии и организации строительного процесса;
- 6) заключение (выводы);
- 7) библиографический список.

Задание на выполнение курсовой работы 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 сущность и назначение основных газонефтехранилищ.

Общие положения проектирования газонефтехранилищ. Задачей этого раздела работы является проектирование горизонтального цилиндрического резервуара, расчет его стенки, днища и т.д.

Заключение (выводы). Заканчивая расчетную часть работы, 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 Методических указаниях №269 – 2021 [1] и ГОСТ 2.105-2019 «Общие требования к текстовым документам» [2].

Текст курсовой работы 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 курсовой работы и удовлетворять следующим требованиям:

- соответствовать теме курсовой работы;
- 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 20 - 30 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. Рисунок 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 специальной папкой для выполнения курсовых работ.

1.3. Графическая часть курсовой работы

Графическая часть по дисциплине «Проектирование, строительство и эксплуатация газонефтехранилищ» включает один лист чертежа размером 841×594 мм (формат А1), на нем представлен основной вид конструкций, разрез, узлы и спецификация стали.

1.4. Защита курсовой работы

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

Оформленная работа сдается руководителю для проверки, а затем в назначенный срок студент защищает свою работу.

2. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ К РАБОТЕ

Задание на курсовую работу по дисциплине «Проектирование, строительство и эксплуатация газонефтехранилищ» выдается кафедрой теплогазоснабжения и нефтегазового дела. В задании указывается:

1. Сооружение;
2. Вид конструкций;
3. Полезный объем;
4. Материал;
5. Избыточное давление;
6. Вакуум;
7. Район строительства;
8. Продукт хранения;

3. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО РЕЗЕРВУАРА

3.1. Общие сведения

Горизонтальные цилиндрические резервуары предназначены для хранения нефтепродуктов, сжиженных газов и других жидкостей под разным избыточным давлением. Нефтепродукты хранятся под избыточным давлением до 0,07 МПа, сжиженные газы — под давлением, достигающим до 1,8 МПа и более. Объем габаритных резервуаров для нефтепродуктов достигает до 100 м^3 , для сжиженных газов — до 300 м^3 .

Оболочка (стенка) резервуаров имеет ограниченный железнодорожными габаритами диаметр до 3,2 м, а в отдельных случаях по специальному согласованию может достигать до 4 м. Из горизонтальных резервуаров наибольшее

распространение получили резервуары для нефтепродуктов объемом 5, 10, 25, 50, 75, и 100 м³. Горизонтальные резервуары при избыточном давлении до 0,04 МПа имеют плоское днище, а при давлении 0,07 МПа — коническое, т.е. в нашем случае применяются коническое днище. Горизонтальные резервуары могут быть надземного и подземного расположения. Надземные резервуары опираются на две опоры; подземные — на сплошную седловую опору. В данном проекте представлен расчёт надземного резервуара.

Стенки резервуаров изготавливают из рулонных заготовок; листы сваривают встык, за исключением монтажного стыка, который сваривают внахлестку или встык. Корпус имеет опорные и промежуточные кольца жесткости. Опорные кольца жесткости имеют дополнительную треугольную или иной формы диафрагму.

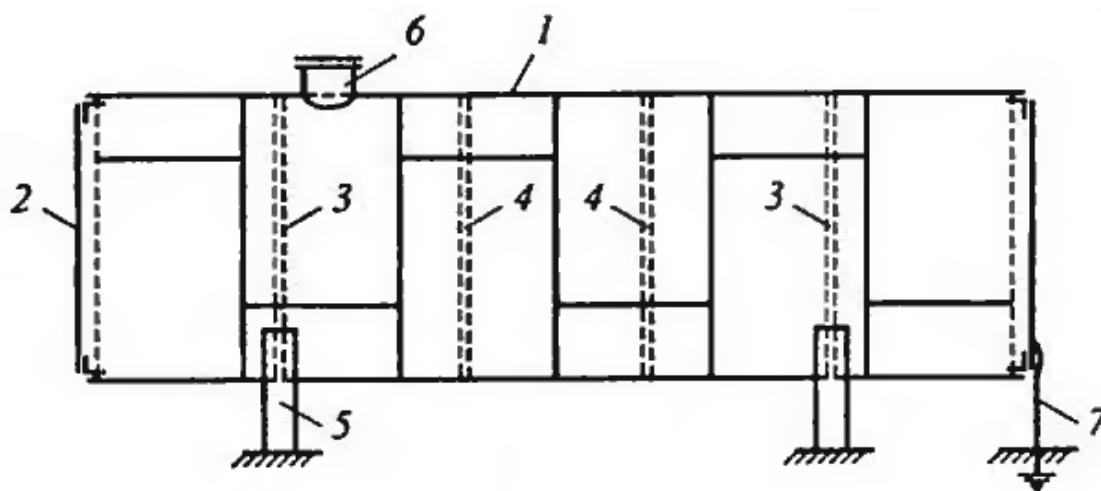


Рис. 1. Горизонтальный резервуар с плоскими днищами:

1 — стенка; 2 — днище; 3 — опорная диафрагма; 4 — промежуточное кольцо жесткости; 5 — опора; 6 — лаз; 7 — заземление

3.2. Основные особенности конструирования горизонтальных резервуаров

Горизонтальный резервуар состоит из корпуса (стенки), двух днищ, опорных диафрагм, промежуточных колец жесткости, опор.

Стенка резервуара выполняется из нескольких листовых обечайек. Каждая обечайка изготавливается из листовой или рулонной стали. Ширину листов принимают в пределах от 1500 до 2000 мм. Листы и обечайки соединяются между собой сварными стыковыми швами, за исключением монтажных стыков, которые могут свариваться внахлестку.

Для повышения жесткости стенки ее укрепляют опорными и промежуточными кольцами жесткости. Опорные кольца жесткости имеют дополнительную, чаще всего треугольную диафрагму. Днище резервуара конструируют плоским при избыточном давлении до 40 кПа и коническим — до 70 кПа. Плоское днище может быть безреберным или ребристым. Для обеспечения же-

сткости при транспортировке и монтаже, восприятия вакуума и ветровой нагрузки стенку резервуара усиливают кольцами жесткости из прокатных уголков, свальцованных на перо и приваренных пером к стенке. Промежуточные кольца жесткости обязательно следует ставить при $r / t \geq 200$ (r — радиус сечения стенки, t — толщина стенки резервуара).

Рекомендуемая толщина стенки рассматриваемого горизонтального цилиндрического резервуара повышенного давления принимается равной 4 или 5 мм в зависимости от объема и избыточного давления в резервуаре. В типовых резервуарах величина радиуса сечения колеблется в пределах от 1,0 м до 1,62 м.

3.3. Определение геометрических параметров резервуара

Горизонтальные резервуары могут быть надземного и подземного расположения. Подземные резервуары опираются на 2 опоры; подземные — на сплошную седловую опору. В проекте применяются надземные резервуары.

Определим оптимальный диаметр резервуара по формуле

$$D_{opt} = 0,8 \cdot \sqrt[3]{V}, [м]. \quad (1)$$

Из условий транспортировки по железной дороге приме D и r .

В случае двухопорного резервуара расчетная длина цилиндрической стенки находится по формуле

$$l_r = \frac{V}{\pi \cdot r^2}, [м]. \quad (2)$$

Найдем количество колец (обечаек) стенки по формуле (полученное значение увеличиваем в большую сторону):

$$n_{об} = \frac{l_r}{l_{лист}}, [шт], \quad (3)$$

где $l_{лист}$ — длина одного листа стали, принимаемого равным 1,49 м.

Тогда, фактическая длина резервуара составит

$$l_{ф} = l_{лист} \cdot n_{об}, [м]. \quad (4)$$

Пролет резервуара (по осям опор) находится по формуле

$$l = 0,586 \cdot l_{ф}, [м]. \quad (5)$$

Фактический объем резервуара определяется по формуле

$$V_{ф} = \pi \cdot n_{об} \cdot r^2 \cdot l_{лист}, [м^3]. \quad (6)$$

Фактический объем резервуара не должен иметь отклонение от полезного, более чем на 3%. Выполним проверку на допустимое отклонение:

$$\left| \frac{V - V_{\phi}}{V} \right| \cdot 100\% < 3\% . \quad (7)$$

Если проверка выполняется, то геометрические параметры резервуара были подобраны верно.

3.4. Напряженное состояние стенки и днищ горизонтальных резервуаров

3.4.1. Действующие нагрузки на резервуар

Элементы горизонтального цилиндрического резервуара подвергаются воздействию следующих нагрузок:

- гидростатическое давление жидкости;
- избыточное давление паров жидкости;
- вакуум;
- собственный вес;
- ветровая нагрузка;
- гололед.

Нагрузка в виде гидростатического давления зависит от плотности хранимой жидкости и глубины отсчета от ее поверхности:

$$g_{\text{зд}} = \gamma_{\text{ж}} \cdot \rho_{\text{ж}} \cdot h \cdot g, \left[\frac{\text{кН}}{\text{м}^2} \right] \quad (8)$$

где: $\gamma_{\text{ж}} = 1,1$;

$\rho_{\text{ж}}$ — плотность жидкости, кг/м^3 ;

h — глубина отсчета от поверхности жидкости, м. Данная глубина есть 10 % от общей, так как ГЦР максимально заполняется на 90 %.

$$h = 0,1 \cdot D, [\text{м}] \quad (9)$$

Величина избыточного давления паров жидкости задается по формуле

$$P_{\text{изб}}^p = \gamma_{f1} \cdot P_{\text{изб}}^n, [\text{кПа}] \quad (10)$$

где $\gamma_{f1} = 1,2$;

$P_{\text{изб}}^n$ — по заданию, кПа.

Расчетная величина вакуума принимается равной:

$$P_{\text{вак}}^p = \gamma_{f1} \cdot P_{\text{вак}}^n [\text{кПа}] \quad (11)$$

где $\gamma_{f1}=1,2$;

$P_{\text{вак}}^n$ — по заданию, кПа.

Ветровая нагрузка не учитывается, так как высота резервуара незначительная. Гололедная нагрузка также вызывает малые значения нормативных напряжений. В дальнейшем исключаем из рассмотрения нагрузки от собственного веса, ветра и гололеда.

3.4.2. Расчет стенки резервуара на прочность и устойчивость

В стенках горизонтальных цилиндрических резервуаров возникают меридиональные и кольцевые напряжения, вызванные внутренним избыточным давлением в газовом пространстве, гидростатическим давлением жидкости, собственным весом, воздействием ветра, обледенением и др.

При этом только напряжения от избыточного давления в газовом пространстве и гидростатическое давление жидкости (с некоторым приближением) являются осесимметричными и определяются по формулам безмоментной теории оболочек.

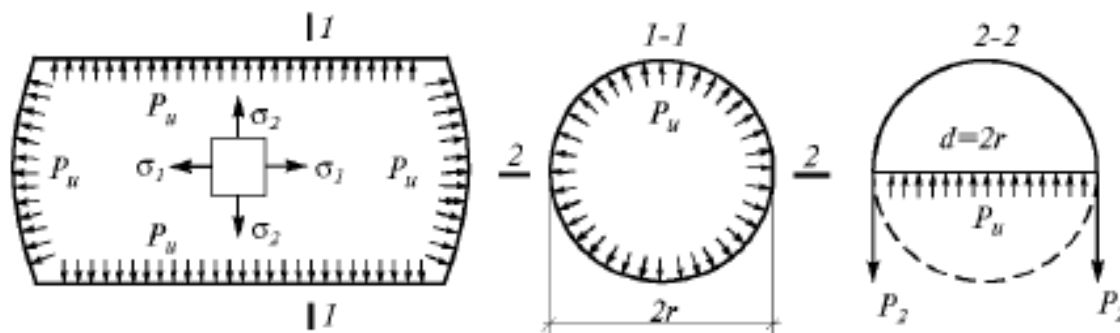


Рис. 2. Расчетная схема горизонтального цилиндрического резервуара при воздействии избыточного давления

Толщина стенки резервуара определяется из условия прочности (не должна быть менее 4 мм) и проверяется на устойчивость.

Стенка резервуара при полном заполнении жидкостью и наличии избыточного давления испытывает наибольшие растягивающие нормальные напряжения вдоль образующей в нижней точке сечения σ_1 и в кольцевом направлении σ_2 .

Нормальное напряжение σ_1 складывается из двух составляющих:

$$\sigma_1 = \sigma_1^I + \sigma_1^{II}, \left[\frac{\kappa H}{\text{см}^2} \right] \quad (11)$$

σ_1^I — напряжение от давления жидкости и избыточного давления газа на днище:

$$\sigma_1^I = \frac{(\gamma_{жс} \cdot \rho_{жс} \cdot g \cdot 2 \cdot r + \gamma_{f2} \cdot P_{изб}^H) \cdot r}{2 \cdot (t_w - c_1)}, \left[\frac{\kappa H}{\text{см}^2} \right] \quad (12)$$

где $\gamma_{жс} = 1,1$;

t_w — номинальная толщина стенки, см;

$c_1 = 0,7$ — учет вытяжки металла при вальцовке листов;

r — радиус резервуара в поперечном сечении, см.

σ_1^{II} — напряжение от изгиба корпуса, как двухконсольной балки кольцевого сечения:

$$\sigma_1^{II} = \frac{M_q}{W}, \left[\frac{\kappa H}{\text{см}^2} \right] \quad (13)$$

где

$$M_q = \frac{(q_p + q_{жс}) \cdot l^2}{47}, \left[\kappa H \cdot \text{см}^2 \right] \quad (14)$$

q_p — погонная нагрузка от собственного веса резервуара,

$$q_p = \frac{\gamma_g \cdot K \cdot \rho_{ст} \cdot s_0}{l}, \left[\kappa H \right] \quad (15)$$

$\gamma_g = 1,05$;

$K = 1,1$ — коэффициент, учитывающий наличие рёбер жесткости и оборудования на резервуаре;

$\rho_{ст} = 78,5 \text{ кН/м}^3$ — удельный вес стали;

s_0 — объем стенки и днищ:

$$s_0 = (2 \cdot \pi \cdot r \cdot l + K_2 \cdot r^2) \cdot t_w, \left[\text{см}^3 \right] \quad (16)$$

l — длина резервуара;

$K_2 = 6,69$ — при конических днищах;

$K_2 = 6,28$ — при плоских днищах;

W — момент сопротивления кольцевого сечения стенки резервуара:

$$W = \pi \cdot r^2 \cdot (t_w - c_1), \left[\text{см}^3 \right] \quad (17)$$

Нормальное напряжение в кольцевом направлении:

$$\sigma_2 = \frac{(\gamma_{жс} \cdot \rho_{жс} \cdot g \cdot 2 \cdot r + \gamma_{f2} \cdot P_{изб}^H) \cdot r}{t_w - c_1} \leq \gamma_c \cdot R_{wy}, \left[\frac{\kappa H}{\text{см}^2} \right] \quad (18)$$

где $\gamma_c = 0,8$;

R_{wy} — расчетное сопротивление стыкового шва растяжению при соответствующем контроле качества швов.

Напряжение вдоль образующей определяется по формуле

$$\sigma_1 = \sigma_1^{III} + \sigma_1^{IV}, \left[\frac{\kappa H}{\text{см}^2} \right] \quad (19)$$

где σ_1^{III} — напряжение от вакуума:

$$\sigma_1^{III} = \frac{\gamma_{f2} \cdot P_{вак}^H \cdot r}{2 \cdot t_w}, \left[\frac{\kappa H}{\text{см}^2} \right] \quad (20)$$

где $\gamma_{f2} = 1,2$;

$P_{вак}^H$ — по заданию, кПа.

σ_1^{IV} — напряжение изгиба от собственного веса резервуара:

$$\sigma_1^{IV} = \frac{q_p \cdot l^2}{47 \cdot W}, \left[\frac{\kappa H}{\text{см}^2} \right]. \quad (21)$$

Кольцевое напряжение также состоит из двух слагаемых:

$$\sigma_2 = \sigma_2^I + \sigma_2^{II}, \left[\frac{\kappa H}{\text{см}^2} \right] \quad (22)$$

где σ_2^I — напряжение от вакуума:

$$\sigma_2^I = \frac{\gamma_{f2} \cdot P_{вак}^H \cdot r}{t_w}, \left[\frac{\kappa H}{\text{см}^2} \right] \quad (23)$$

σ_2^{II} — напряжение от ветровой нагрузки в виде условного вакуума.

$$\sigma_2^{II} = \frac{0,5 \cdot \gamma_s \cdot w_0 \cdot k_0 \cdot r}{t_w}, \left[\frac{\kappa H}{\text{см}^2} \right] \quad (24)$$

где $\gamma_s = 1,4$;

$k_0 = 0,5$;

w_0 — нормативное значение ветрового давления.

Толщина стенки определяется по формуле

$$t_w = \frac{(\gamma_{жс} \cdot \rho_{жс} \cdot g \cdot 2 \cdot r + \gamma_{f2} \cdot P_{изб}^H) \cdot r}{\gamma_c \cdot R_{wy}} + c_1, [см] \quad (25)$$

при $R_{wy} = R_y \left[\frac{\kappa H}{см^2} \right]$.

Если учесть минусовой допуск отклонения толщины листов $\delta = 0,4$ мм и припуск на коррозию $\Delta = 0,1$ мм, то требуемая толщина стенки составит:

$$t_{mp} = t_w + 0,4 + 0,1, [мм] \quad (26)$$

Следует принять толщину стенки от $t_w = 4$ мм.

В расчетные формулы следует подставлять расчетную толщину стенки:

$$t_{p,w} = t_w - c_1 - \delta - \Delta, [мм] \quad (27)$$

Вычислим значение нормальных напряжений в стенке резервуара по формуле (11).

Минимальные напряжение:

$$\sigma_1^{\min} = \sigma_1^{III} - \sigma_1^{IV}, \left[\frac{\kappa H}{см^2} \right] \quad (28)$$

Максимальные напряжение:

$$\sigma_1^{\max} = \sigma_1^{III} + \sigma_1^{IV}, \left[\frac{\kappa H}{см^2} \right] \quad (29)$$

Принимаем максимальное значение.

Дополнительный коэффициент, учитывающий неравномерность сжатия по сечению вследствие его изгиба от собственного веса:

$$\xi = 1,1 - 0,1 \frac{\sigma_1^{\min}}{\sigma_1^{\max}} \quad (30)$$

Критические напряжения возникают при $r / t_{p,w} > 200$:

$$\sigma_{cr1} = \frac{\xi \cdot c \cdot E \cdot t_{p,w}}{r}, \left[\frac{\kappa H}{\text{см}^2} \right] \quad (31)$$

где: $E = 2,06 \cdot 10^{-4}, \left[\frac{\kappa H}{\text{см}^2} \right]$;

Значение коэффициента с

Таблица 1

$\frac{r}{t_w}$	100	200	300	400	600	800	1000	1500	2500
c	0,22	0,18	0,16	0,14	0,11	0,09	0,08	0,07	0,06

$$\sigma_{cr2} = 0,55 \cdot E \cdot \left(\frac{r}{l_0} \right) \cdot \left(\frac{t_{p,w}}{r} \right)^{3/2}, \left[\frac{\kappa H}{\text{см}^2} \right] \quad (31)$$

где $l_0 = 0,586 \cdot l, [\text{см}]$. Кольца жесткости учитывались только на опорах.

Выполним проверку устойчивости стенки резервуара:

$$\frac{\sigma_1}{\sigma_{cr1}} + \frac{\sigma_2}{\sigma_{cr2}} < \gamma_c = 1,0. \quad (32)$$

Таким образом, устойчивость стенки резервуара обеспечена даже без учета промежуточных ребер жесткостей. Однако установка промежуточных ребер обязательна, поскольку $r / t_w > 200$.

3.4.3. Расчет плоского днища горизонтального резервуара

Предварительно следует назначить сечение кольца жесткости в плоскости днища из неравнополочного прокатного уголка. Рекомендуется принять L110x70x8 для резервуаров объемом от 75 до 100 м³ и L100x63x6 при объеме от 25 до 50 м³. Также следует задаться толщиной днища 4 или 5 мм и проверить прочность по формуле (33).

Найдем нормальное радиальное напряжение в центре днища и проверим его:

$$\sigma_{\text{дн}}^u = \frac{P_u \cdot D^2}{16 \cdot t_{\text{дн},p} \cdot f_u} \leq \gamma_c \cdot R_y, \quad (33)$$

где $P_u = \gamma_{жс} \cdot \rho_{жс} \cdot g \cdot r + \gamma_{f2} \cdot P_{изб}$, $\left[\frac{\kappa H}{\text{см}^2} \right]$ — давление в центре днища;
 $\gamma_c = 0,8$; R_y — расчетное сопротивление стали по СП 16.13330.2017;
 f_u — прогиб плоского днища в центре, $[\text{см}]$.

$$f_u = \frac{D}{4} \cdot \sqrt[3]{\frac{3 \cdot P_u}{E} \cdot \left[\frac{(1-\nu) \cdot D}{2 \cdot t_{он.р}} + \frac{D^2}{4 \cdot A_k} \cdot \left(1 + \frac{A_k \cdot y^2}{J_x} \right) \right]}, [\text{см}] \quad (34)$$

где $\nu = 0,3$ — коэффициент Пуассона;

A_x — сечение кольца жесткости;

I_x — момент инерции сечения кольца жесткости относительно центра днища;

y — ордината внешней поверхности угла кольца жесткости относительно центра днища;

В рассматриваемом случае плоское безреберное днище имеет расчетную схему в виде круглой мембраны, упруго закрепленной по контуру, т.е. с учетом деформации кольца жесткости.

3.4.4. Расчет плоско-ребристого днища горизонтального резервуара

Плоское днище опирается на n_p радиально расположенных ребер. Для расчета выделяется полоска единичной ширины, которая опирается на радиальные ребра как неразрезная балка, работающая по схеме изгибно-жесткой нити. Число радиальных ребер n_p принимается кратным 4. Расстояние между ребрами по краю днища:

$$b_0 = \frac{2 \cdot \pi \cdot r}{n_p}, [\text{м}] \quad (35)$$

Чтобы рассчитать полоску днища по балочной схеме, необходимо отступить от края днища примерно на $0,9 \cdot b_p$. Тогда:

$$a = b_0 \cdot \left(1,0 - 0,9 \cdot \frac{b_0}{r} \right), [\text{м}] \quad (36)$$

Полоска днища воспринимает растягивающее усилие H и изгибающий момент, который будет максимальным над ребром (опорой) и проверяется на прочность по формуле

$$\sigma = \frac{H}{A_n} + \frac{M_{он}}{W_n} \leq \gamma_c \cdot R_y, \left[\frac{\kappa H}{\text{см}^2} \right] \quad (37)$$

где $\gamma_c = 1$; R_y — расчетное сопротивление стали принимаем по СП 16.13330.2017;

Растягивающее усилие находится по формуле

$$H = \frac{P_u \cdot a^2}{8 \cdot f} - \frac{48 \cdot E \cdot J}{a^2}, \quad (38)$$

где:

$$f = \frac{1}{5} \sqrt[3]{\frac{3}{36} \cdot \frac{P_u \cdot a^4}{E \cdot A_n}}, \quad (39)$$

Изгибающий момент находится по формуле

$$M_{on} = \frac{P_u}{K} \cdot \left(\frac{1}{K} - \frac{a}{2} \right) \cdot \left[\frac{\kappa H}{cM^2} \right] \quad (40)$$

где:

$$\bar{K} = \sqrt{\frac{H}{E \cdot J}}, \quad (41)$$

Площадь сечения полоски днища найдем по формуле

$$A_n = l \cdot t_{\text{дн}}, [cM^2] \quad (42)$$

Момент сопротивления сечения полоски найдем по формуле:

$$W = \frac{l \cdot t_{\text{дн}}^2}{6}, [cM^3] \quad (43)$$

Момент инерции сечения полоски найдем по формуле

$$J = \frac{l \cdot t_{\text{дн}}^3}{12}, [cM^4] \quad (44)$$

В случае если прочность днища недостаточная, то надо увеличить количество радиальных ребер. Радиальное ребро проверяют на прочность как балку на двух опорах (рис. 3).

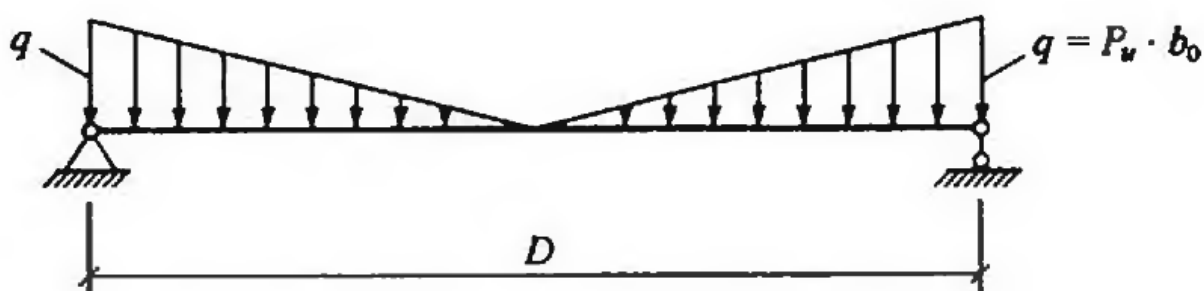


Рис. 3. Расчетная схема радиального ребра плоского днища

3.4.5. Расчет конического днища горизонтального резервуара

Конические днища применяют при избыточном давлении от 40 до 70 кПа и рассчитывают на прочность от гидростатического и избыточного давлений и на устойчивость от воздействия вакуума. Расчетные схемы конического днища показаны на рис. 4.

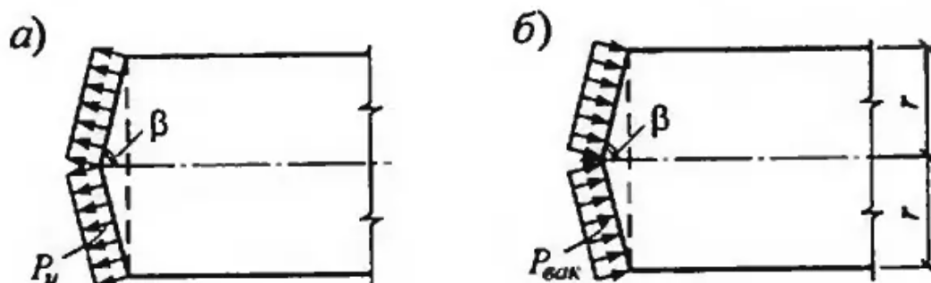


Рис. 4. Воздействия на коническое днище: а) избыточного давления; б) вакуума

На прочность коническое днище проверяется по формуле

$$\sigma_2 = \frac{P_u \cdot r}{t_{\text{дн},p} \cdot \cos \beta} \leq \gamma_c \cdot R_{wy}, \quad (35)$$

где $P_u = \gamma_{жс} \cdot \rho_{жс} \cdot g \cdot r + \gamma_{f2} \cdot P_{изб}^H, \left[\frac{\text{кН}}{\text{см}^2} \right]$ — давление в центре днища;

$$\gamma_c = 0,8; R_{wy} = 0,85 \cdot R_y;$$

$\beta = 60^\circ$ — угол между образующей конуса и его осью.

На устойчивость коническое днище проверяется по формуле

$$\sigma_2 \leq \gamma_c \cdot \sigma_{cr2} \quad (36)$$

$$\sigma_2 = \frac{\gamma_{f2} \cdot P_{вак}^H \cdot r}{t_{\text{дн},p} \cdot \cos \beta}; \quad (37)$$

$$\sigma_{cr2} = 0,495 \cdot E \cdot \frac{\sin \beta}{\cos^2 \beta} \cdot \left(\frac{t_{\text{дн},p} \cdot \cos \beta}{0,9 \cdot r} \right)^{3/2}. \quad (38)$$

3.5. Расчет опорного кольца жесткости резервуара

В опорных сечениях стенка резервуара укрепляется кольцом жесткости, в плоскости которого размещают диафрагму в виде одного или двух горизонтальных стержней, квадрата или треугольника. Треугольные диафрагмы применяются для резервуаров объемом 50 м³ и более. При меньших объемах достаточно укреплять кольцо жесткости одним горизонтальным стержнем, располагаемым обычно на уровне верха седловой опоры.

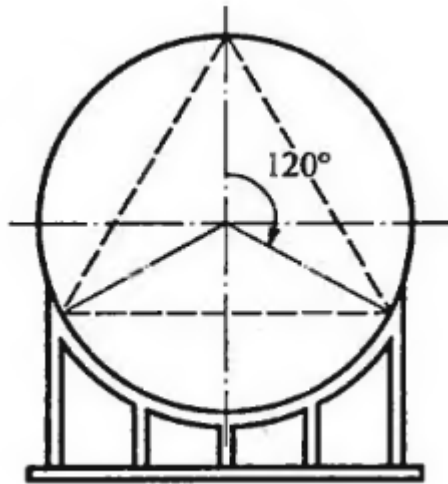


Рис. 5. Схема седловой опоры с углом охвата 120° и диафрагмой в виде треугольника

Седловые опоры бывают с углами охвата резервуара 60, 90 и 120 градусов. Наиболее рациональная седловая опора с углом охвата 120 градусов представлена на рис. 5.

Ширина седловой опоры:

при $V=20\dots50 \text{ м}^3$ – $b_c=300 \text{ мм}$;

при $V=60\dots100 \text{ м}^3$ – $b_c=400 \text{ мм}$.

Рассчитывают опорное кольцо жесткости совместно с диафрагмой, как статически неопределимую систему. В сечениях кольца от собственного веса резервуара и гидростатического давления жидкости при полном заполнении резервуара возникают изгибающие моменты M_κ , продольные N_κ и поперечные силы Q_κ . Изгибающий момент определяется по формуле

$$M_\kappa = \alpha_M \cdot \left(\gamma_{жс} \cdot \rho_{жс} \cdot g \cdot l \cdot r^3 + q_p \cdot \frac{l \cdot r}{\pi} \right) \cdot \left[\frac{\kappa H}{\text{см}} \right]. \quad (39)$$

Продольное усилие определяется по формуле

$$N_\kappa = \alpha_N \cdot \left(\gamma_{жс} \cdot \rho_{жс} \cdot g \cdot l \cdot r^2 + q_p \cdot \frac{l}{\pi} \right) \cdot [\kappa H] \quad (40)$$

где коэффициенты α_M и α_N определяются по рис. 2 для диафрагмы в виде треугольника,

$$q_p = \frac{G}{l} \cdot \left[\frac{\kappa H}{\text{см}} \right] \quad (41)$$

G – собственный вес резервуара с оборудованием.

Также на прочность проверяется обушок уголка, так как конец пера уголка, приваренной к стенке, будет работать совместно со стенкой.

$$\sigma_{\kappa} = \frac{N_{\kappa}}{2 \cdot A_{\kappa}} + \frac{M_{\kappa}}{2 \cdot W_{x, \max}} \leq \gamma_c \cdot R_y \quad (42)$$

где $\gamma_c = 1,0$.

Сечениями уголков задаются, проверяют их и в случае надобности корректируют. Стержни диафрагм проверяют на осевые усилия (центральное сжатие или центральное растяжение), которые определяются по формуле

$$N_{cm}^- = \alpha_{cm} \cdot \left(\gamma_{жс} \cdot \rho_{жс} \cdot g \cdot r^2 \cdot l + \frac{q_p \cdot l}{\pi} \right), [кН] \quad (43)$$

где $\alpha_{cm} = 0,1182$ — коэффициент, определяемый по рис. 6.

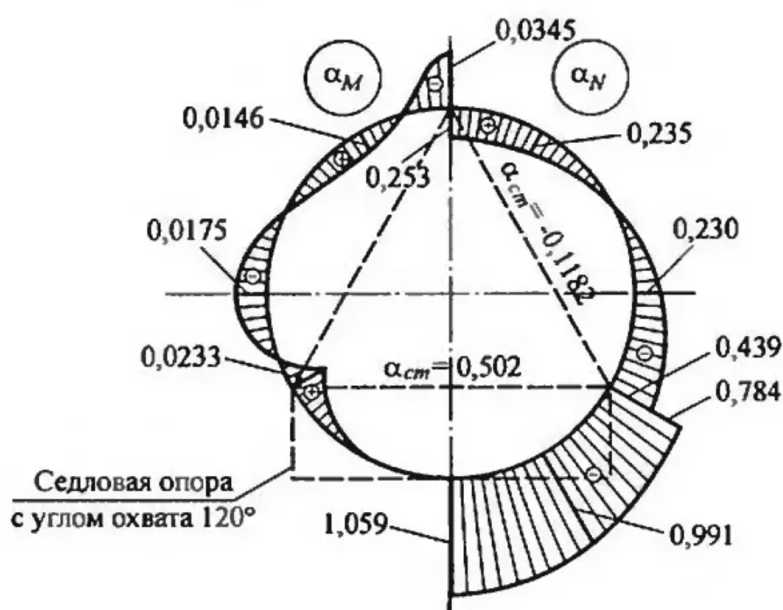


Рис. 6. Эпюры коэффициентов для M и N кольца, укрепленного треугольником

Растягивающее усилие в горизонтальном стержне диафрагмы:

$$N_{cm}^+ = \frac{0,502}{0,1182} \cdot N_{cm}^-, [кН] \quad (44)$$

Проверка горизонтального стержня на прочность:

$$\sigma_{cm}^+ = \frac{N_{cm}^+}{2 \cdot A_{y2}} < R_y \cdot \gamma_c, \left[\frac{кН}{см^2} \right] \quad (45)$$

Если запас прочности стержня слишком большой, уменьшим его сечение и примем другой уголок.

Проверка наклонных стержней на устойчивость.

Длина стержня определяется по формуле

$$l_{cm} = 2 \cdot r \cdot \cos 30^\circ, [\text{см}] \quad (46)$$

$$\lambda = \frac{l_{cm}}{i_{y0}} \quad (47)$$

При заданном сопротивлении стали коэффициент продольного изгиба φ найдем по СП 16.13330.2017.

$$\sigma = \frac{N_{cm}^-}{2 \cdot \varphi \cdot A_{ye}} < \gamma_c \cdot R_y \quad (48)$$

Проверим сечение наклонного стержня по предельной гибкости:

$$[\lambda] = 210 - 60 \cdot \alpha > \lambda \quad (49)$$

$$\alpha = \frac{N_{cm}^-}{2 \cdot \varphi \cdot A_{ye} \cdot R_y \cdot \gamma_c} \leq 0,5 \quad (50)$$

Если α превысило значение 0,5, то увеличим сечение уголка и повторяем расчет.

Если условие (49) выполняется, то сечение наклонного стержня удовлетворяет предельной гибкости.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. 269-2021 Методические указания к выполнению и оформлению выпускной квалификационной работы для студентов направлений подготовки 08.03.01 «Строительство», 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника», 21.03.01 «Нефтегазовое дело» всех форм обучения [Текст] / ФГБОУ ВО «Воронеж. гос. техн. ун-т»; сост.: С. Г. Тульская, Д. Н. Китаев, Д. М. Чудинов, С. Н. Кузнецов, М. А. Долбилова. — Воронеж : Воронежский государственный технический университет, 2021. — 33 с.
2. СП 16.13330.2017 Стальные конструкции / АО «НИЦ «Строительство» — ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко, МГСУ, СПбГАСУ ГУП ЦПП, 2017. — 90 с.
3. 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.
4. Нелепов М. В. Моделирование природных резервуаров нефти и газа: 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>
5. Алексеев С. В. Обустройство резервуарных парков: монография / С. И. Поникаров, В. А. Алексеев, С. В. Алексеев. — Казань : Казанский национальный исследовательский технологический университет, 2010. — 97 с. — URL: <http://www.iprbookshop.ru/62509.html>
6. Леденев В. В. Расчет и конструирование специальных инженерных сооружений: учебное пособие / ГОУ ВПО «Тамб. гос. техн. ун-т». — 2-е изд., стер. — Тамбов: ТГТУ, 2011. — 127, [1] с.
7. Сафарян М. К. Металлические резервуары и газгольдеры. — Москва: Недра, 1987 (Тула : Тульская типография, 1987). — 200 с.
8. Кашкинбаев И. З. Основы проектирования: учебно-методическое пособие / Т. И. Кашкинбаев; И. З. Кашкинбаев. — Алматы : Нур-Принт, 2016. — 42 с. — URL: <http://www.iprbookshop.ru/67116.html>
9. Нехаев Г. А. Проектирование и расчет стальных цилиндрических резервуаров и газгольдеров низкого давления / Г. А. Нехаев. — Издательство АСВ, 2005. — 216 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
1. СОДЕРЖАНИЕ КУРСОВОЙ РАБОТЫ И ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К ЕЕ ОФОРМЛЕНИЮ.....	4
1.1. Содержание пояснительной записки.....	4
1.2. Оформление расчетно-пояснительной записки.....	4
1.3. Графическая часть курсовой работы.....	6
1.4. Защита курсовой работы.....	6
2. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ К РАБОТЕ.....	6
3. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО РЕЗЕРВУАРА.....	6
3.1. Общие сведения.....	6
3.2. Основные особенности конструирования горизонтальных резервуаров	7
3.3. Определение геометрических параметров резервуара.....	8
3.4. Напряженное состояние стенки и днищ горизонтальных резервуаров	9
3.4.1. Действующие нагрузки на резервуар.....	9
3.4.2. Расчет стенки резервуара на прочность и устойчивость.....	10
3.4.3. Расчет плоского днища горизонтального резервуара.....	14
3.4.4. Расчет плоско-ребристого днища горизонтального резервуара.....	15
3.4.5. Расчет конического днища горизонтального резервуара.....	17
3.5. Расчет опорного кольца жесткости резервуара.....	17
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	21

ПРОЕКТИРОВАНИЕ, СТРОИТЕЛЬСТВО И ЭКСПЛУАТАЦИЯ ГАЗОНЕФТЕХРАНИЛИЩ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
к практическим занятиям и выполнению курсовой работы
для студентов направления подготовки
21.04.01 «Нефтегазовое дело»
(программа магистерской подготовки «Нефтегазовое дело»)
всех форм обучения

Составитель
Калинина Алина Игоревна

Издается в авторской редакции

Подписано к изданию 28.10.2024.
Уч.-изд. л. 1,1.

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