МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
К ВЫПОЛНЕНИЮ КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ

Варианты условий задач определяются по последней цифре номера зачетной книжки. Работы, выполненные не по своему варианту, рассматриваться не будут. При выполнении контрольных работ необходимо:

- выписать основные расчетные величин;
- решение сопровождать краткими пояснениями, в которых показать, какая величина определяется и по какой формуле, какие величины подставляются в формулу и откуда они берутся (например, из условия задачи, из справочника, определены ранее*;
- проставить размерности (в системе СИ);
- результаты расчета свести в таблицу (лист 1, лист 3 Приложение 1);
- сформулировать краткие выводы по результатам расчётов.

Выполненные задания должны быть сданы на проверку до начала сессии.

Контрольная работа принимается, если она не содержит ошибок принципиального характера, и защищается при личной беседе с преподавателем. Если работа выполнена неверно, она возвращается с указаниями для исправления. Не разрешается вносить исправления в первоначальный текст. Новое решение прилагается к выполненному ранее.

Приложения: Приложение 1 – пример расчета.

.

Исходные данные.

№ варианта	Диаметр трубы, мм	Толщина стенки, мм	Высота трубы факельной, мм	Высота факельного оголовка, мм
0	273	12	20000	2500
1	325	14	25000	2500
2	426	16	30000	2500
3	520	18	35000	2500
4	630	18	33000	2500
5	520	16	28000	2500
6	426	14	32000	2500
7	325	10	29000	2500
8	273	8	21000	2500
9	520	14	29000	2500

1 РАСЧЁТНАЯ СХЕМА ФАКЕЛЬНОГО СТВОЛА

1.1 Факельный ствол (рисунок 1) содержит факельную трубу 1, опору 2, оголовок 3. Для обеспечения надёжной устойчивости факельный ствол расчаливают тремя, расположенными в плане под углом 120^0 друг к другу оттяжками 4, расположенными в два яруса.

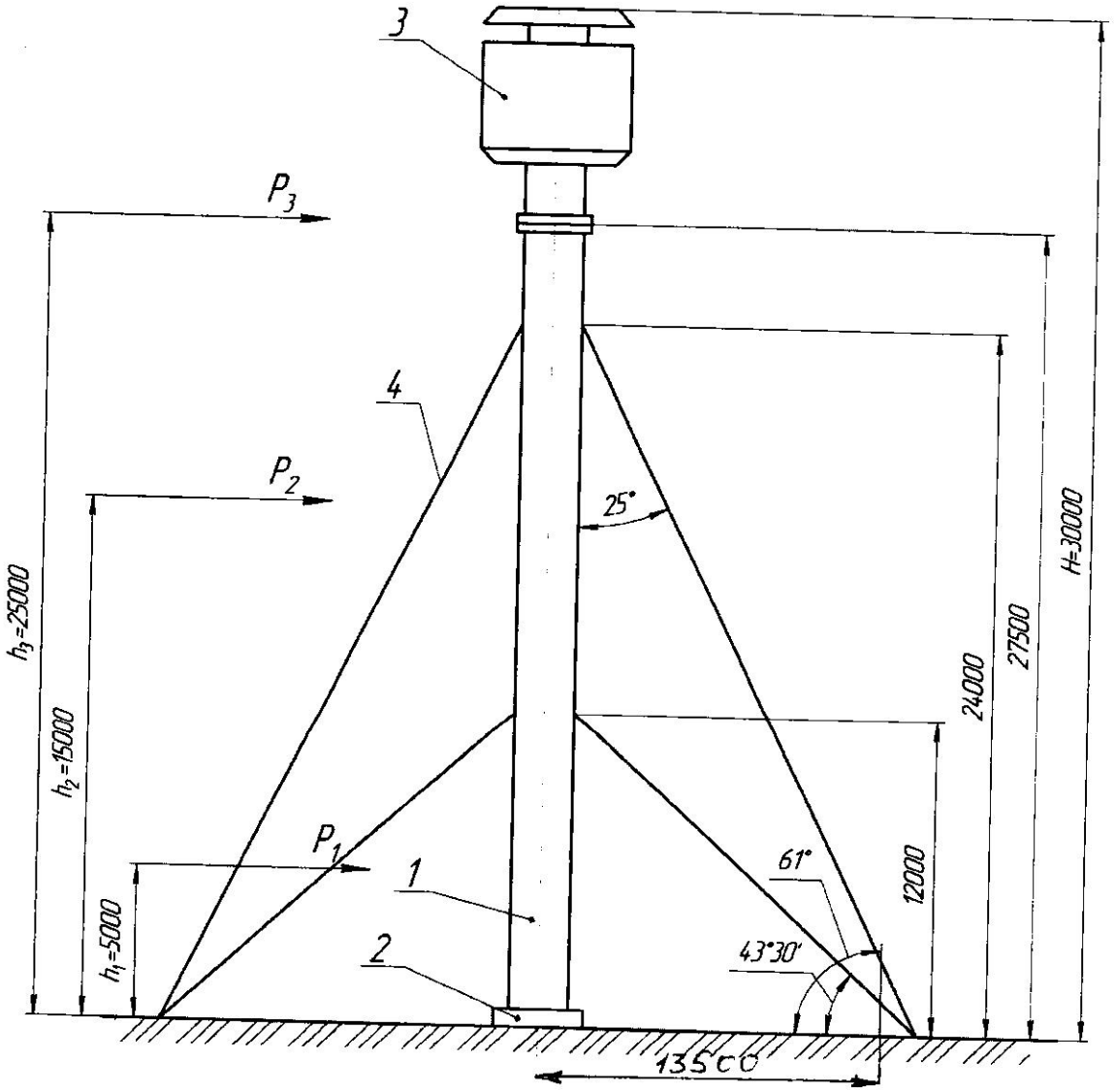

Рисунок 1

2 ЗАДАЧА РАСЧЁТА

2.1 Задачей расчёта является:

- проверка устойчивости факельного ствола от действия весовых и ветровых нагрузок;
- определение наибольшего удельного давления опорной поверхности факельного ствола на фундамент;
- выбор каната и определение диаметра круглой стали для оттяжек;
- определение диаметра резьбы стяжной муфты;
- определение диаметра резьбы фундаментных болтов.

3 ДАННЫЕ ДЛЯ РАСЧЁТА

3.1 Наружный диаметр трубы факельной, мм	-325
3.2 Толщина стенки трубы факельной, мм	-12
3.3 Высота трубы факельной, мм	-27500
3.4 Высота факельной установки, мм	-30000

4 УСЛОВИЯ РАСЧЁТА

4.1 Факельная установка размещается в III географическом районе по скоростным напорам ветра.

4.2 Сейсмичность 8 баллов.

5 РАСЧЁТ ФАКЕЛЬНОГО СТВОЛА НА УСТОЙЧИВОСТЬ ОТ ДЕЙСТВИЯ ВЕСОВЫХ И ВЕТРОВЫХ НАГРУЗОК

5.1 Напряжение сжатия у основания трубы факельной от действия весовых нагрузок, Н/мм^2, [1]

$$\sigma_{сж.} = \frac{G_{ф.ст.}}{F_{тр.}}, \qquad (1)$$

где $G_{ф.ст.}$ – вес факельной трубы, Н;

$F_{тр.}$ – площадь сечения трубы факельной, мм^2.

5.1.1 Площадь сечения трубы факельной

$$F_{тр} = \frac{\pi}{4} \cdot (D_н^2 - D_{вн}^2), \qquad (2)$$

где $D_н$= 325 мм – наружный диаметр трубы;

$D_{вн}$=301 мм – внутренний диаметр трубы.

$F_{тр} = 0{,}785 \cdot (325^2 - 301^2) = 11793{,}8\ мм^2$

5.1.2 Вес факельного ствола

$$G_{ф.ст.} = G_{тр.} + G_о, \qquad (3)$$

где $G_{тр.}$- вес трубы факельной, Н;

$G_о$= 2040 Н – вес оголовка.

5.1.2.1 Вес трубы факельной

$$G_{тр} = F_{тр} \cdot H_{тр} \cdot \gamma, \qquad (4)$$

где $H_{тр}$=27500 мм – высота трубы;

$\gamma = 7{,}85 \cdot 10^{-5}\ Н/мм^3$ – удельный вес материала трубы.

$$G_{тр} = 11793{,}8 \cdot 27500 \cdot 7{,}85 \cdot 10^{-5} = 25450\ Н$$

5.1.2.2 Подставляя все известные значения в уравнение (3), получим

$$G_{ф.ст.} = 25450 + 2040 = 27490\ Н$$

С учетом трубной обвязки и действия тяг принимаем $G_{ф.ст.} = 40000\ Н$.

5.1.3 Напряжение сжатия от действия весовых нагрузок составит

$$\sigma_{сж.} = \frac{40000}{11793{,}8} = 3{,}39\ Н/мм^2$$

5.2 Допускаемое напряжение на сжатие из условия устойчивости, Н/мм^2, [1]

$$[\sigma_{сж}] = K_c \cdot E \frac{s - c}{D_н}, \qquad (5)$$

где K_c – приведенный коэффициент сжатия;

$E = 1{,}64 \cdot 10^5\ Н/мм^2$ – модуль упругости материала трубы (09Г2С) при рабочей температуре (350^{0}С) [2];

5.2.1 Приведенный коэффициент сжатия

$$K_c = 875 \cdot \frac{\sigma_m}{E} \cdot \overline{K}_c, \qquad (6)$$

где $\sigma_m = 206\ H/мм^2$ - напряжение текучести для материала факельной трубы (09Г2С) при рабочей температуре [3];

$\overline{K}_c = 0{,}024$ - коэффициент сжатия, определяемый по таблице 17 [1] в зависимости от соотношения $\frac{D_н}{2(s-c)}$.

$$K_c = 875 \cdot \frac{206}{1{,}64 \cdot 10^5} \cdot 0{,}024 = 0{,}026$$

5.2.2 Подставляя все известные значения в уравнение (5), получим

$$[\sigma_{сж}] = 0{,}026 \cdot 1{,}64 \cdot 10^5 \frac{12-2}{325} = 131{,}2\ H/мм^2$$

Условие устойчивости факельного ствола от действия весовых нагрузок $\sigma_{сж} \leq [\sigma_{сж}]$ соблюдено, т.е.

$$3{,}39\ Н/мм^2 < 131{,}2\ Н/мм^2$$

5.3 Период собственных колебаний факельного ствола, с, [1]

$$T = 1{,}79 \cdot H \cdot \sqrt{\frac{G_{ф.ст.} \cdot H}{E \cdot J_{тр} \cdot q}}, \qquad (7)$$

где $H = 30000\ мм$ - высота факельного ствола;

$J_{тр}$ - момент инерции сечения трубы факельного ствола, $мм^4$;

$q = 9810\ мм/с^2$ - ускорение свободного падения.

5.3.1 Момент инерции сечения трубы [1]

$$J_{тр} = \frac{\pi}{8} \cdot D_{ср}^3 (s-c) \qquad (8)$$

$$J_{тр} = \frac{3{,}142}{8} \cdot 313^3 (12-2) = 120418412\ мм^4$$

5.3.2 Период собственных колебаний факельного ствола составит

$$T = 1{,}76 \cdot 30000 \cdot \sqrt{\frac{40000 \cdot 30000}{1{,}64 \cdot 10^5 \cdot 120418412 \cdot 9810}} = 4{,}16\ с$$

5.4 Напряжение изгиба у основания трубы факельного ствола от действия ветровых нагрузок, $Н/мм^2$, [1]

$$\sigma_{изг} = \frac{M_в}{W_{тр}}, \qquad (9)$$

где $M_в$ - суммарный ветровой момент у основания факельного ствола, Н·мм;

$W_{тр}$ - момент сопротивления сечения трубы факельного ствола, мм^3.

5.4.1 Для расчёта суммарного ветрового момента факельный ствол разбиваем на три равных по высоте участка. Обозначим через P_1, P_2 и P_3 равнодействующие ветровых нагрузок на эти участки (см. рисунок 1).

5.4.2 Суммарный ветровой момент у основания факельного ствола [2]

$$M_в = P_1 h_1 + P_2 h_2 + P_3 h_3, \qquad (10)$$

где P_1, P_2 и P_3 - равнодействующие ветровых нагрузок на соответствующий участок, Н;

h_1, h_2 и h_3 - высоты приложения равнодействующих ветровых нагрузок на соответствующий участок, мм (см. рисунок 1).

5.4.2.1 Равнодействующая ветровых нагрузок на соответствующий участок

$$P_i = \beta_i \cdot c \cdot q_i \cdot h_i \cdot D_н, \qquad (11)$$

где β_i - коэффициент увеличения скоростного давления;

c = 0,7 - аэродинамический коэффициент обтекания для круглых тел [5];

q_i - ветровое давление на высоте, соответствующей середине расчетного участка, Н/м^2, и определяется по формуле (5) h_i = 10 м - высота расчетного участка;

$$q_i = q_н \theta_i; \qquad (12)$$

где $q_н$ = 380 н/м^2 - нормативное значение ветрового давления для III ветрового района [5];

$\theta_i = 0{,}5,\ 1{,}2$ и $1{,}5$ - коэффициент, учитывающий изменение ветрового давления по высоте факельного ствола соответственно для 1,2 и 3 участков рис.III.27[3].

Тогда q_1= 380 · 0,5 = 190 Н/м^2

q_2= 380 · 1,2 = 456 Н/м^2

q_3 = 380 · 1,5 = 570 Н/м^2

5.4.2.1.1 Коэффициент увеличения скоростного давления для соответствующего участка [2]

$$\beta_i = 1 + \xi \cdot m_i, \qquad (13)$$

где m_i =0,85, 0,77 и 0,65- коэффициент пульсации давления ветра для середины соответственно 1, 2 и 3 участков;

ξ - коэффициент динамичности, определяемый по формуле [5]

$$\xi = 1,1 + \sqrt{15,5 \cdot \varepsilon}, \qquad (14)$$

где ε - параметр, определяемый по формуле [3]

$$\varepsilon = \frac{T\sqrt{q_н}}{790} = \frac{4,65 \cdot \sqrt{380}}{790} = 0,11 \qquad (15)$$

Тогда $\xi = 1,1 + \sqrt{15,5 \cdot 0,11} = 2,43$

$$\beta_1 = 1 + 2,43 \cdot 0,85 = 3,07,$$

$$\beta_2 = 1 + 2,43 \cdot 0,77 = 2,87,$$

$$\beta_3 = 1 + 2,43 \cdot 0,65 = 2,58.$$

5.4.2.1.2 Равнодействующая ветровых нагрузок на каждый участок составит:

P_1 = 3,07·0,7·190·10·0,325 = 1327 Н

P_2 = 2,87·0,7·456·10·0,325 = 2977 Н

P_3 = 2,58·0,7·570·10·0,325 = 3346 Н

5.4.2.2 Суммарный ветровой момент у основания факельного ствола составит

$M_в$=1327·5 + 2977·15 + 3346·25=134940 Н·м =134940·10^3 Н·мм

5.4.3 Момент сопротивления сечения трубы факельной

$$W_{тр} = \frac{\pi}{4} \cdot D_{ср}^2 (s - c), \qquad (16)$$

$$W_{тр} = 0,785 \cdot 313^2 (12 - 2) = 769056\ мм^3.$$

5.4.4 Подставив полученные значения $M_в$ и $W_{тр}$ в уравнение (9), получим

$$\sigma_{изг} = \frac{134940 \cdot 10^3}{769056} = 175,5\ Н/мм^2$$

5.5 Допускаемое напряжение на изгиб из условия устойчивости, Н/мм^2 [2]

$$[\sigma_{изг}] = K_н \cdot E \cdot \frac{s - c}{D_н}, \qquad (17)$$

где $K_и$ - приведённый коэффициент изгиба, определяемый по уравнению

$$K_и = 875 \cdot \frac{\sigma_m}{E} \cdot \overline{K}_и, \qquad (18)$$

где $\overline{K}_и = 0{,}016$ - коэффициент изгиба, определённый по таблице [2] в зависимости от отношения $\frac{D_н}{2(s-c)}$.

Тогда

$$[\sigma_{изг}] = 875 \cdot \frac{206}{1{,}64 \cdot 10^5} \cdot 0{,}016 \cdot 1{,}64 \cdot 10^5 \cdot \frac{12-2}{325} = 88{,}7\ Н/мм^2$$

Условие устойчивости формы трубы факельного ствола от действия ветровых нагрузок $\sigma_{изг} \leq [\sigma_{изг}]$ не соблюдено, так как

175,5 Н/мм^2>88,7 Н/мм^2

5.6 Условие устойчивости формы трубы факельного ствола от действия суммарного напряжения сжатия и изгиба [4]

$$\frac{\sigma_{кр}}{\sigma_c} \geq m \text{ или } \frac{\sigma_m}{\sigma_c} \geq m, \qquad (19)$$

где $\sigma_{кр}$ - критическое напряжение, Н/мм^2;

$m \geq 3{,}5-4{,}0$ - запас устойчивости;

$\sigma_c = 3{,}39 + 175{,}5 = 178{,}99 \approx 179\ Н/мм^2$ - суммарное напряжение сжатия и изгиба.

5.6.1 Критическое напряжение определяется по уравнению

$$\sigma_{кр} = 0{,}18 \cdot E\left(\frac{s'}{r}\right), \qquad (20)$$

где $s' = 10\ мм$ - толщина трубы без учёта прибавки на коррозию;

$r = 162{,}5\ мм$ - наружный радиус трубы.

$$\sigma_{кр} = 0{,}18 \cdot 1{,}64 \cdot 10^5 \frac{10}{162{,}5} = 1817\ Н/мм^2$$

5.6.2 Так как напряжение текучести $\sigma_т$ при рабочей температуре (350^{0}С) меньше $\sigma_{кр}$, то запас устойчивости рассчитывается по правой части неравенства (19)

$$m = \frac{206}{179} = 1{,}15$$

Условие устойчивости формы не выполняется, т.е. 1,5<3,0.

5.7 С целью обеспечения устойчивости формы трубы от воздействия суммарного напряжения сжатия и изгиба факельный ствол расчаливается тремя оттяжками, расположенными в плане под углом 120^0 друг к другу в два яруса (рисунок 2).

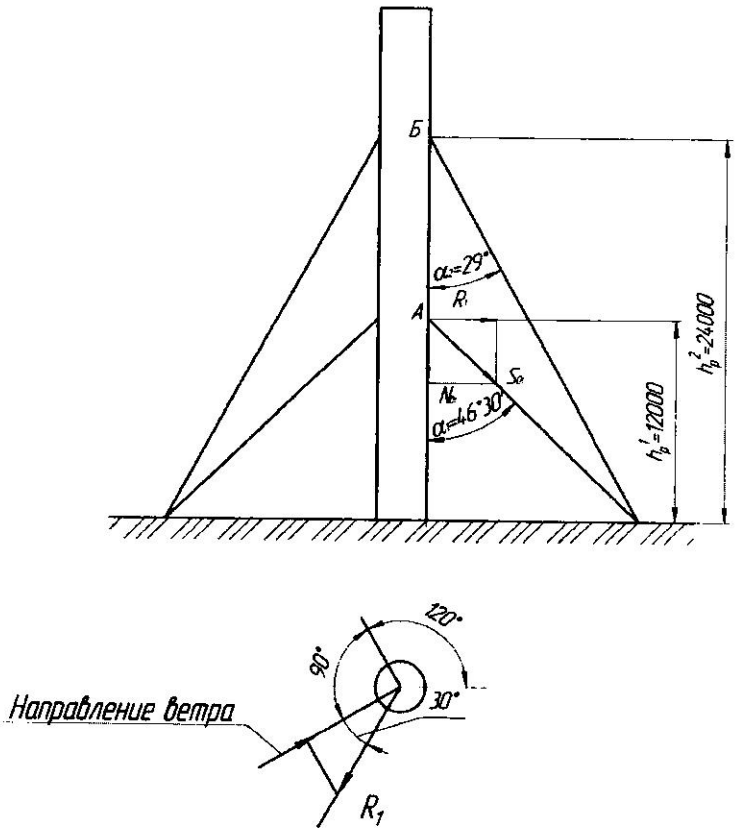

Рисунок 2

5.8 Наибольший изгибающий момент в точке крепления нижнего яруса оттяжек к факельному стволу (точка А), Н·мм, [3]

$$M_A = 0{,}125 \cdot q_0 (h_p^2 - h^2), \qquad (21)$$

где $h_p = 12000\,мм$ – высота трубы факельного ствола до места крепления нижнего яруса оттяжек;

$h = 6000\,мм$ – высота крепления оттяжек верхнего яруса от верхнего среза факельного ствола;

q_0– усреднённая ветровая нагрузка, Н/мм, определяемая из уравнения

$$q_0 = \frac{2M_в}{H^2} \qquad (22)$$

$$q_0 = \frac{2 \cdot 134940 \cdot 10^3}{30000^2} \cdot = 0{,}3\,Н/мм$$

Тогда $M_A = 0{,}125 \cdot 0{,}3(12000^2 - 6000^2) = 4050000\,Н/мм,$

5.9 Усилие в оттяжке нижнего яруса к земле

$$S_c = 1{,}15\frac{R_A}{\sin\alpha} \qquad (23)$$

где $\alpha_1 = 46^0 30'$ – угол наклона оттяжек нижнего яруса к земле;

R_A – реакция опоры в точке А, Н, определяемая из уравнения

$$R_A = 1{,}25 \cdot q_0 \cdot h_p \qquad (24)$$

$$R_A = 1{,}25 \cdot 0{,}3 \cdot 12000 = 4687{,}5 \quad H$$

Тогда $S_c = 1{,}15\frac{4687{,}5}{0{,}724} = 6462 \quad H$

5.10 Вертикальная составляющая от натяжения оттяжки в точке А

$$N_A = S_A \cdot \cos\alpha_1 \qquad (25)$$

$$N_A = 6462 \cdot 0{,}689 = 4448\ H$$

5.11 Усилие в оттяжке верхнего яруса

$$S_Б = 1{,}15\frac{R_Б}{\sin\alpha_2},$$

где α_2=29° – угол наклона оттяжек верхнего яруса к земле

$R_Б$ – реакция опоры в точке Б, Н, определяемая из уравнения

$$R_Б = 0{,}375 \cdot q_0(h_p^1 - h_p) + q_0\frac{h}{(h_p^1 - h_p)}\left[(h_p^1 - h_p) + \frac{1{,}25}{2}h\right], \qquad (26)$$

где h_p^1=*24000* – высота трубы факельного ствола до места крепления оттяжек.

$$R_Б = 0{,}375 \cdot 0{,}3(24000 - 12000) + 0{,}3\frac{6000}{(24000 - 12000)}\left[(24000 - 12000) + \frac{1{,}25 \cdot 6000}{2}\right] = 3712{,}5\ H$$

Тогда $S_Б = 1{,}15\frac{3712{,}5}{0{,}4848} = 8806 \quad H$

5.12 Вертикальная составляющая от натяжения оттяжки в точке Б

$$N_Б = S_Б \cdot \cos\alpha_2 \qquad (27)$$

$$N_Б = 8806 \cdot 0{,}8746 = 7702 \quad H$$

5.13 Напряжение сжатия в сечении трубы факельного ствола у нижнего яруса оттяжек (точка А), Н/мм^2

$$\sigma_{сж.A} = \frac{M_A}{W_{тр}} + \frac{\sigma_{ф.ст.} + N_Б + N_A}{F_{тр}} + \frac{(N_A + N_Б) \cdot D_п}{2 \cdot W_{тр}}, \qquad (28)$$

где $\sigma_{ф.ст}$ – вес факельного ствола над расчетной точкой А, Н, определяется из уравнения

$$\sigma_{ф.ст.} = G'_{тр} + \sigma_0 , \qquad (29)$$

где $G'_{тр}$ - вес трубы факельного ствола над точкой С, Н, без учета веса оголовка.

5.13.1 Вес трубы факельного ствола над точкой А,Н

$$G'_{тр} = F_{тр} \cdot (H_{тр} - h_p) \cdot \gamma \qquad (30)$$

$$G'_{тр} = 11793{,}8 \cdot (24000 - 12000) \cdot 7{,}85 \cdot 10^{-5} = 11109 \quad H$$

5.13.2 Вес факельного ствола

$$G'_{тр} = 11109 + 2040 = 13150 \quad H$$

5.13.3 Подставляя все известные значения в уравнение (28), получим

$$\sigma_{сж} = \frac{405000}{769056} + \frac{13150 + 4448 + 7702}{11799{,}8} + \frac{(4448 + 7702) \cdot 325}{2 \cdot 769056} = 4{,}18 \; H/мм^2$$

5.14 Так как $\sigma_{кр} > \sigma_т$, то проверка факельной трубы факельного ствола производится по уравнению

$$\frac{\sigma_т}{\sigma_{сж}} \geq m$$

$$\frac{223}{4{,}18} = 53{,}3 \rangle 4$$

Таким образом, при наличии оттяжек, условие устойчивости выполняется и факельная труба работает в облегченных условиях.

Акционерное общество
«Татарский научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт нефтяного машиностроения»
(АО «ТатНИИнефтемаш»)

УТВЕРЖДАЮ
Генеральный директор
АО «ТатНИИнефтемаш»

А.Ф.Садыков

ФАКЕЛЬНАЯ УСТАНОВКА
ФУ - 300 УХЛ.03

Расчёты
300.03 ФУ 00.00.000 РР

Начальник конструкторского отдела - заведующий лабораторией №1

А.В.Егошин

Наименование	S, мм²	Расчетное усилие, Н
Канат 16,5-Г-1-Н-1370 ГОСТ 3066-80	113,14	168 500
Канат 16,5-Г-В-Н-Р-Т 1770 ГОСТ 2688	104,6	147 500

Подп. и дата | Инв. № дубл. | Взам. инв. № | Подп. и дата | Инв. № подл.

Содержание

1 Расчётная схема факельного ствола 3
2 Задача расчёта 4
3 Данные для расчёта 4
4 Условия расчёта 4
5 Расчёт факельного ствола на устойчивость от действия весовых и ветровых нагрузок 4
6 Расчёт сейсмической нагрузки 13
7 Расчет основных конструктивных элементов факельного ствола 17
8 Заключение 20
Список использованных источников 21
Лист регистрации изменений 22

Подп. и дата	Инв. № дубл.	Взам. инв. №	Подп. и дата	Инв. № подл.

Изм.	Лист.	№ докум.	Подп.	Дата	300.03 ФУ 00.00.000 РР			
Разраб.		Ермаков			Факельная установка ФУ-300 УХЛ.03 Расчеты	Лит.	Лист	Листов
Провер.		Остроумов					2	22
Т. контр.						АО «ТатНИИнефтемаш»		
Н. контр.		Казакова						
Утв.								

1 РАСЧЁТНАЯ СХЕМА ФАКЕЛЬНОГО СТВОЛА

1.1 Факельный ствол (рисунок 1) содержит факельную трубу 1, опору 2, оголовок 3. Для обеспечения надёжной устойчивости факельный ствол расчаливают тремя, расположенными в плане под углом 120^0 друг к другу оттяжками 4, расположенными в два яруса.

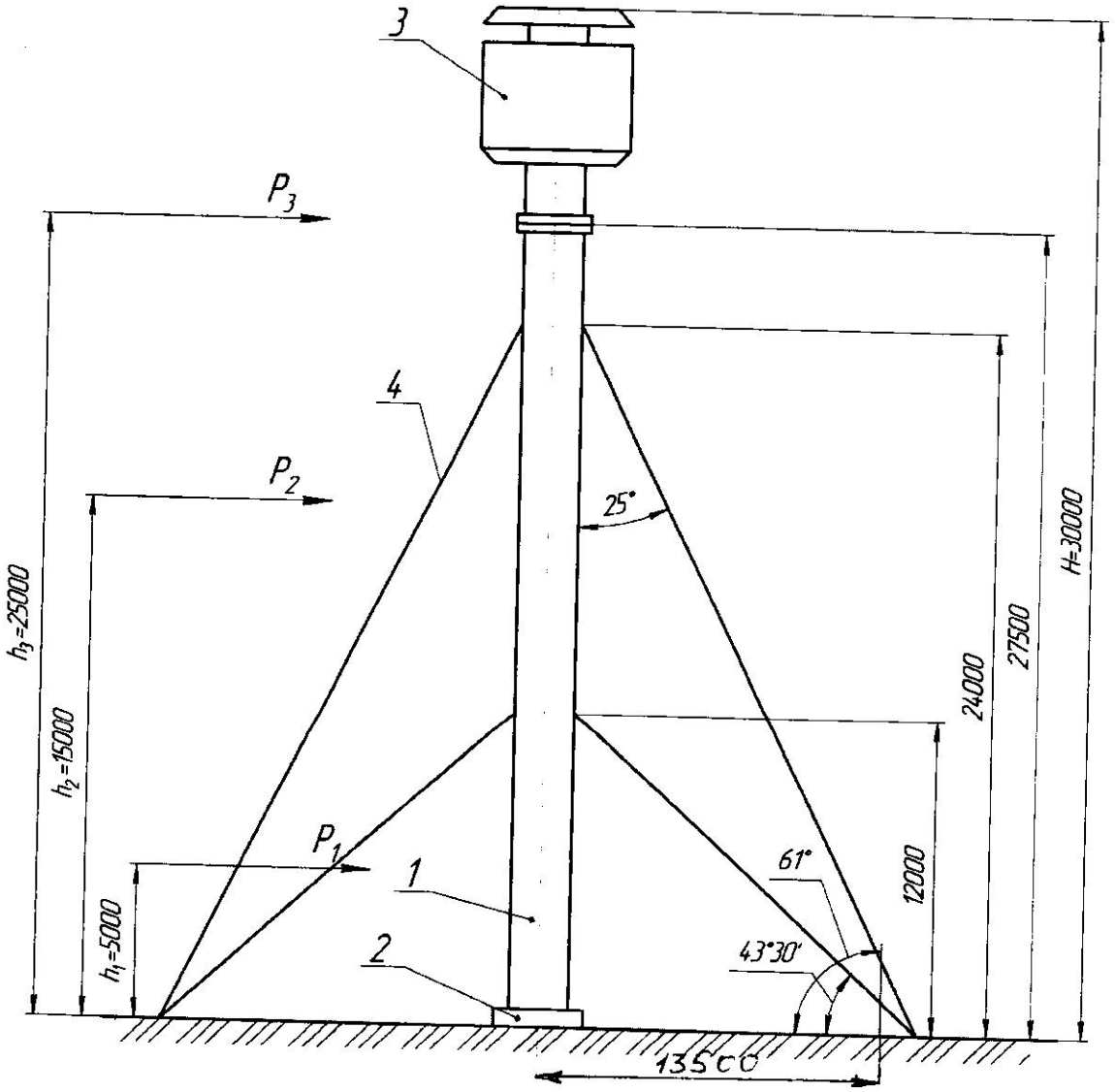

Рисунок 1

2 ЗАДАЧА РАСЧЁТА

2.1 Задачей расчёта является:

- проверка устойчивости факельного ствола от действия весовых и ветровых нагрузок;
- определение наибольшего удельного давления опорной поверхности факельного ствола на фундамент;
- выбор каната и определение диаметра круглой стали для оттяжек;
- определение диаметра резьбы стяжной муфты;
- определение диаметра резьбы фундаментных болтов.

3 ДАННЫЕ ДЛЯ РАСЧЁТА

3.1 Наружный диаметр трубы факельной, мм	-325
3.2 Толщина стенки трубы факельной, мм	-12
3.3 Высота трубы факельной, мм	-27500
3.4 Высота факельной установки, мм	-30000

4 УСЛОВИЯ РАСЧЁТА

4.1 Факельная установка размещается в III географическом районе по скоростным напорам ветра.

4.2 Сейсмичность 8 баллов.

5 РАСЧЁТ ФАКЕЛЬНОГО СТВОЛА НА УСТОЙЧИВОСТЬ ОТ ДЕЙСТВИЯ ВЕСОВЫХ И ВЕТРОВЫХ НАГРУЗОК

5.1 Напряжение сжатия у основания трубы факельной от действия весовых нагрузок, Н/мм^2, [1]

$$\sigma_{сж.} = \frac{G_{ф.ст.}}{F_{тр.}}, \qquad (1)$$

где $G_{ф.ст.}$ – вес факельной трубы, Н;

$F_{тр.}$ – площадь сечения трубы факельной, мм^2.

5.1.1 Площадь сечения трубы факельной

$$F_{тр} = \frac{\pi}{4} \cdot (D_н^2 - D_{вн}^2), \qquad (2)$$

где $D_н$= 325 мм – наружный диаметр трубы;

$D_{вн}$=301 мм – внутренний диаметр трубы.

$F_{тр} = 0{,}785 \cdot (325^2 - 301^2) = 11793{,}8\ мм^2$

5.1.2 Вес факельного ствола

$$G_{ф.ст.} = G_{тр.} + G_о, \qquad (3)$$

где $G_{тр.}$- вес трубы факельной, Н;

$G_о$= 2040 Н – вес оголовка.

5.1.2.1 Вес трубы факельной

$$G_{тр} = F_{тр} \cdot H_{тр} \cdot \gamma, \qquad (4)$$

где $H_{тр}$=27500 мм – высота трубы;

$\gamma = 7{,}85 \cdot 10^{-5}\ Н/мм^3$ – удельный вес материала трубы.

$$G_{тр} = 11793{,}8 \cdot 27500 \cdot 7{,}85 \cdot 10^{-5} = 25450\ Н$$

5.1.2.2 Подставляя все известные значения в уравнение (3), получим

$$G_{ф.ст.} = 25450 + 2040 = 27490\ Н$$

С учетом трубной обвязки и действия тяг принимаем $G_{ф.ст.} = 40000\ Н$.

5.1.3 Напряжение сжатия от действия весовых нагрузок составит

$$\sigma_{сж.} = \frac{40000}{11793{,}8} = 3{,}39\ Н/мм^2$$

5.2 Допускаемое напряжение на сжатие из условия устойчивости, Н/мм^2, [1]

$$[\sigma_{сж}] = K_c \cdot E \frac{s - c}{D_н}, \qquad (5)$$

где K_c – приведенный коэффициент сжатия;

$E = 1{,}64 \cdot 10^5\ Н/мм^2$ – модуль упругости материала трубы (09Г2С) при рабочей температуре (350^{0}С) [2];

5.2.1 Приведенный коэффициент сжатия

$$K_c = 875 \cdot \frac{\sigma_m}{E} \cdot \overline{K}_c, \qquad (6)$$

где $\sigma_m = 206\ H/мм^2$ - напряжение текучести для материала факельной трубы (09Г2С) при рабочей температуре [3];

$\overline{K}_c = 0{,}024$ - коэффициент сжатия, определяемый по таблице 17 [1] в зависимости от соотношения $\frac{D_н}{2(s-c)}$.

$$K_c = 875 \cdot \frac{206}{1{,}64 \cdot 10^5} \cdot 0{,}024 = 0{,}026$$

5.2.2 Подставляя все известные значения в уравнение (5), получим

$$[\sigma_{сж}] = 0{,}026 \cdot 1{,}64 \cdot 10^5 \frac{12-2}{325} = 131{,}2\ H/мм^2$$

Условие устойчивости факельного ствола от действия весовых нагрузок $\sigma_{сж} \leq [\sigma_{сж}]$ соблюдено, т.е.

$$3{,}39\ Н/мм^2 < 131{,}2\ Н/мм^2$$

5.3 Период собственных колебаний факельного ствола, с, [1]

$$T = 1{,}79 \cdot H \cdot \sqrt{\frac{G_{ф.ст.} \cdot H}{E \cdot J_{тр} \cdot q}}, \qquad (7)$$

где $H = 30000\ мм$ - высота факельного ствола;

$J_{тр}$ - момент инерции сечения трубы факельного ствола, $мм^4$;

$q = 9810\ мм/с^2$ - ускорение свободного падения.

5.3.1 Момент инерции сечения трубы [1]

$$J_{тр} = \frac{\pi}{8} \cdot D_{ср}^3 (s-c) \qquad (8)$$

$$J_{тр} = \frac{3{,}142}{8} \cdot 313^3 (12-2) = 120418412\ мм^4$$

5.3.2 Период собственных колебаний факельного ствола составит

$$T = 1{,}76 \cdot 30000 \cdot \sqrt{\frac{40000 \cdot 30000}{1{,}64 \cdot 10^5 \cdot 120418412 \cdot 9810}} = 4{,}16\ с$$

5.4 Напряжение изгиба у основания трубы факельного ствола от действия ветровых нагрузок, $Н/мм^2$, [1]

$$\sigma_{изг} = \frac{M_в}{W_{тр}}, \qquad (9)$$

где $M_в$ - суммарный ветровой момент у основания факельного ствола, Н·мм;

$W_{тр}$ - момент сопротивления сечения трубы факельного ствола, мм^3.

5.4.1 Для расчёта суммарного ветрового момента факельный ствол разбиваем на три равных по высоте участка. Обозначим через P_1, P_2 и P_3 равнодействующие ветровых нагрузок на эти участки (см. рисунок 1).

5.4.2 Суммарный ветровой момент у основания факельного ствола [2]

$$M_в = P_1 h_1 + P_2 h_2 + P_3 h_3, \qquad (10)$$

где P_1, P_2 и P_3 - равнодействующие ветровых нагрузок на соответствующий участок, Н;

h_1, h_2 и h_3 - высоты приложения равнодействующих ветровых нагрузок на соответствующий участок, мм (см. рисунок 1).

5.4.2.1 Равнодействующая ветровых нагрузок на соответствующий участок

$$P_i = \beta_i \cdot c \cdot q_i \cdot h_i \cdot D_н, \qquad (11)$$

где β_i - коэффициент увеличения скоростного давления;

c = 0,7 - аэродинамический коэффициент обтекания для круглых тел [5];

q_i - ветровое давление на высоте, соответствующей середине расчетного участка, Н/м^2, и определяется по формуле (5) h_i = 10 м - высота расчетного участка;

$$q_i = q_н \theta_i; \qquad (12)$$

где $q_н$ = 380 н/м^2 - нормативное значение ветрового давления для III ветрового района [5];

$\theta_i = 0{,}5,\ 1{,}2$ и $1{,}5$ - коэффициент, учитывающий изменение ветрового давления по высоте факельного ствола соответственно для 1,2 и 3 участков рис.III.27[3].

Тогда q_1= 380 · 0,5 = 190 Н/м^2

q_2= 380 · 1,2 = 456 Н/м^2

q_3 = 380 · 1,5 = 570 Н/м^2

5.4.2.1.1 Коэффициент увеличения скоростного давления для соответствующего участка [2]

$$\beta_i = 1 + \xi \cdot m_i, \qquad (13)$$

где m_i =0,85, 0,77 и 0,65- коэффициент пульсации давления ветра для середины соответственно 1, 2 и 3 участков;

ξ - коэффициент динамичности, определяемый по формуле [5]

$$\xi = 1,1 + \sqrt{15,5 \cdot \varepsilon}, \qquad (14)$$

где ε - параметр, определяемый по формуле [3]

$$\varepsilon = \frac{T\sqrt{q_н}}{790} = \frac{4,65 \cdot \sqrt{380}}{790} = 0,11 \qquad (15)$$

Тогда $\xi = 1,1 + \sqrt{15,5 \cdot 0,11} = 2,43$

$$\beta_1 = 1 + 2,43 \cdot 0,85 = 3,07,$$

$$\beta_2 = 1 + 2,43 \cdot 0,77 = 2,87,$$

$$\beta_3 = 1 + 2,43 \cdot 0,65 = 2,58.$$

5.4.2.1.2 Равнодействующая ветровых нагрузок на каждый участок составит:

P_1 = 3,07·0,7·190·10·0,325 = 1327 Н

P_2 = 2,87·0,7·456·10·0,325 = 2977 Н

P_3 = 2,58·0,7·570·10·0,325 = 3346 Н

5.4.2.2 Суммарный ветровой момент у основания факельного ствола составит

$M_в$=1327·5 + 2977·15 + 3346·25=134940 Н·м =134940·10^3 Н·мм

5.4.3 Момент сопротивления сечения трубы факельной

$$W_{тр} = \frac{\pi}{4} \cdot D_{ср}^2 (s - c), \qquad (16)$$

$$W_{тр} = 0,785 \cdot 313^2 (12 - 2) = 769056\ мм^3.$$

5.4.4 Подставив полученные значения $M_в$ и $W_{тр}$ в уравнение (9), получим

$$\sigma_{изг} = \frac{134940 \cdot 10^3}{769056} = 175,5\ Н/мм^2$$

5.5 Допускаемое напряжение на изгиб из условия устойчивости, Н/мм^2 [2]

$$[\sigma_{изг}] = K_н \cdot E \cdot \frac{s - c}{D_н}, \qquad (17)$$

где $K_и$ - приведённый коэффициент изгиба, определяемый по уравнению

$$K_и = 875 \cdot \frac{\sigma_m}{E} \cdot \overline{K}_и, \qquad (18)$$

где $\overline{K}_и = 0{,}016$ - коэффициент изгиба, определённый по таблице [2] в зависимости от отношения $\frac{D_н}{2(s-c)}$.

Тогда

$$[\sigma_{изг}] = 875 \cdot \frac{206}{1{,}64 \cdot 10^5} \cdot 0{,}016 \cdot 1{,}64 \cdot 10^5 \cdot \frac{12-2}{325} = 88{,}7\ Н/мм^2$$

Условие устойчивости формы трубы факельного ствола от действия ветровых нагрузок $\sigma_{изг} \leq [\sigma_{изг}]$ не соблюдено, так как

175,5 Н/мм^2>88,7 Н/мм^2

5.6 Условие устойчивости формы трубы факельного ствола от действия суммарного напряжения сжатия и изгиба [4]

$$\frac{\sigma_{кр}}{\sigma_c} \geq m \text{ или } \frac{\sigma_m}{\sigma_c} \geq m, \qquad (19)$$

где $\sigma_{кр}$ - критическое напряжение, Н/мм^2;

$m \geq 3{,}5-4{,}0$ - запас устойчивости;

$\sigma_c = 3{,}39 + 175{,}5 = 178{,}99 \approx 179\ Н/мм^2$ - суммарное напряжение сжатия и изгиба.

5.6.1 Критическое напряжение определяется по уравнению

$$\sigma_{кр} = 0{,}18 \cdot E\left(\frac{s'}{r}\right), \qquad (20)$$

где $s' = 10\ мм$ - толщина трубы без учёта прибавки на коррозию;

$r = 162{,}5\ мм$ - наружный радиус трубы.

$$\sigma_{кр} = 0{,}18 \cdot 1{,}64 \cdot 10^5 \frac{10}{162{,}5} = 1817\ Н/мм^2$$

5.6.2 Так как напряжение текучести $\sigma_т$ при рабочей температуре (350^{0}С) меньше $\sigma_{кр}$, то запас устойчивости рассчитывается по правой части неравенства (19)

$$m = \frac{206}{179} = 1{,}15$$

Условие устойчивости формы не выполняется, т.е. 1,5<3,0.

5.7 С целью обеспечения устойчивости формы трубы от воздействия суммарного напряжения сжатия и изгиба факельный ствол расчаливается тремя оттяжками, расположенными в плане под углом 120^0 друг к другу в два яруса (рисунок 2).

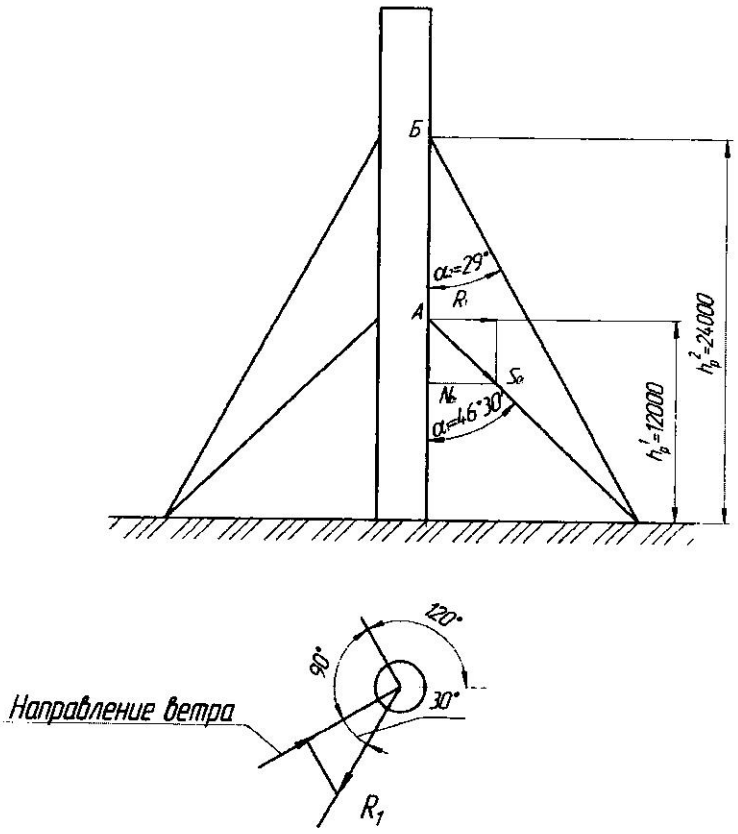

Рисунок 2

5.8 Наибольший изгибающий момент в точке крепления нижнего яруса оттяжек к факельному стволу (точка А), Н·мм, [3]

$$M_A = 0{,}125 \cdot q_0 (h_p^2 - h^2), \qquad (21)$$

где $h_p = 12000\,мм$ – высота трубы факельного ствола до места крепления нижнего яруса оттяжек;

$h = 6000\,мм$ – высота крепления оттяжек верхнего яруса от верхнего среза факельного ствола;

q_0– усреднённая ветровая нагрузка, Н/мм, определяемая из уравнения

$$q_0 = \frac{2M_в}{H^2} \qquad (22)$$

$$q_0 = \frac{2 \cdot 134940 \cdot 10^3}{30000^2} \cdot = 0{,}3\,Н/мм$$

Тогда $M_A = 0{,}125 \cdot 0{,}3(12000^2 - 6000^2) = 4050000\,Н/мм,$

5.9 Усилие в оттяжке нижнего яруса к земле

$$S_c = 1{,}15\frac{R_A}{\sin\alpha} \qquad (23)$$

где $\alpha_1 = 46^0 30'$ – угол наклона оттяжек нижнего яруса к земле;

R_A – реакция опоры в точке А, Н, определяемая из уравнения

$$R_A = 1{,}25 \cdot q_0 \cdot h_p \qquad (24)$$

$$R_A = 1{,}25 \cdot 0{,}3 \cdot 12000 = 4687{,}5 \quad H$$

Тогда $S_c = 1{,}15\frac{4687{,}5}{0{,}724} = 6462 \quad H$

5.10 Вертикальная составляющая от натяжения оттяжки в точке А

$$N_A = S_A \cdot \cos\alpha_1 \qquad (25)$$

$$N_A = 6462 \cdot 0{,}689 = 4448\ H$$

5.11 Усилие в оттяжке верхнего яруса

$$S_Б = 1{,}15\frac{R_Б}{\sin\alpha_2},$$

где α_2=29° – угол наклона оттяжек верхнего яруса к земле

$R_Б$ – реакция опоры в точке Б, Н, определяемая из уравнения

$$R_Б = 0{,}375 \cdot q_0(h_p^1 - h_p) + q_0\frac{h}{(h_p^1 - h_p)}\left[(h_p^1 - h_p) + \frac{1{,}25}{2}h\right], \qquad (26)$$

где h_p^1=*24000* – высота трубы факельного ствола до места крепления оттяжек.

$$R_Б = 0{,}375 \cdot 0{,}3(24000 - 12000) + 0{,}3\frac{6000}{(24000 - 12000)}\left[(24000 - 12000) + \frac{1{,}25 \cdot 6000}{2}\right] = 3712{,}5\ H$$

Тогда $S_Б = 1{,}15\frac{3712{,}5}{0{,}4848} = 8806 \quad H$

5.12 Вертикальная составляющая от натяжения оттяжки в точке Б

$$N_Б = S_Б \cdot \cos\alpha_2 \qquad (27)$$

$$N_Б = 8806 \cdot 0{,}8746 = 7702 \quad H$$

5.13 Напряжение сжатия в сечении трубы факельного ствола у нижнего яруса оттяжек (точка А), Н/мм^2

$$\sigma_{сж.A} = \frac{M_A}{W_{тр}} + \frac{\sigma_{ф.ст.} + N_Б + N_A}{F_{тр}} + \frac{(N_A + N_Б) \cdot D_п}{2 \cdot W_{тр}}, \qquad (28)$$

где $\sigma_{ф.ст}$ – вес факельного ствола над расчетной точкой А, Н, определяется из уравнения

$$\sigma_{ф.ст.} = G'_{тр} + \sigma_0 , \qquad (29)$$

где $G'_{тр}$ - вес трубы факельного ствола над точкой С, Н, без учета веса оголовка.

5.13.1 Вес трубы факельного ствола над точкой А,Н

$$G'_{тр} = F_{тр} \cdot (H_{тр} - h_p) \cdot \gamma \qquad (30)$$

$$G'_{тр} = 11793{,}8 \cdot (24000 - 12000) \cdot 7{,}85 \cdot 10^{-5} = 11109 \quad H$$

5.13.2 Вес факельного ствола

$$G'_{тр} = 11109 + 2040 = 13150 \quad H$$

5.13.3 Подставляя все известные значения в уравнение (28), получим

$$\sigma_{сж} = \frac{405000}{769056} + \frac{13150 + 4448 + 7702}{11799{,}8} + \frac{(4448 + 7702) \cdot 325}{2 \cdot 769056} = 4{,}18 \; H/мм^2$$

5.14 Так как $\sigma_{кр} > \sigma_т$, то проверка факельной трубы факельного ствола производится по уравнению

$$\frac{\sigma_т}{\sigma_{сж}} \geq m$$

$$\frac{223}{4{,}18} = 53{,}3 \rangle 4$$

Таким образом, при наличии оттяжек, условие устойчивости выполняется и факельная труба работает в облегченных условиях.

6 РАСЧЕТ СЕЙСМИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ

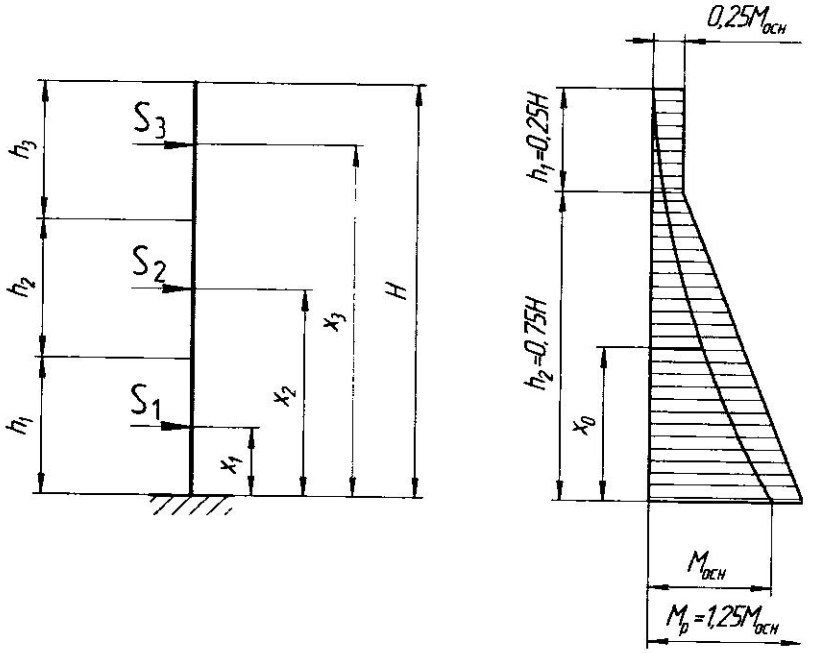

Рисунок 3

6.1 Вес участков факельного ствола

$$Q_{общ} = Q_1 + Q_2 + Q_3 \qquad (28)$$

6.1.1 Вес нижнего участка факельного ствола

$$Q_1 = G_{ф.тр.}, \qquad (29)$$

где $G_{ф.тр.}$ – вес нижней части факельной трубы.

6.1.1.1 Вес нижней части факельной трубы

$$G_{ф.тр.} = F_{тр} \cdot h_1 \cdot \gamma, \qquad (30)$$

где h_1 = 10000мм – высота нижней части трубы.

$$Q_1 = G_{ф.тр1} = 11793{,}8 \cdot 10000 \cdot 7{,}85 \cdot 10^{-5} = 9258H$$

6.1.2 Вес среднего участка факельного ствола

$$Q_2 = G_{ф.тр.2} \qquad (31)$$

где $G_{ф.тр.2}$ – вес средней части факельной трубы;

$$G_{ф.тр.2} = \delta_{ф.тр2} = 9258\ H$$

6.1.2.1 Вес средней части факельной трубы

$$Q_2 = 9258\ H$$

6.1.3 Вес верхнего участка факельного ствола

$$Q_3 = \delta_{ф.тр3} + \delta_0, \qquad (32)$$

где $\delta_{ф.тр3}$ – вес верхней части факельной трубы

$\delta_0 = 2040\,H$ – вес оголовка.

6.1.3.1 Вес верхней части факельной трубы

$$G_{ф.тр.3} = F_{тр3} \cdot h_3' \cdot \gamma, \qquad (33)$$

где h_3'=7500 – высота верхней части трубы

$$G_{ф.тр.3} = 11793{,}8 \cdot 7500 \cdot 7{,}85 \cdot 10^{-5} = 6943{,}6\,H$$

6.1.3.2 Подставляя значения получим

$$Q_3 = 6943{,}6 + 2040 = 8983{,}6\,H$$

6.2 Вычисление коэффициентов А и В

6.2.1 Коэффициенты А:

$$A = Q_i \cdot x_i^2, \qquad (34)$$

где x_1= 5,000м, x_2=15,000м, x_3=25,000м

$$A_1 = Q_1 \cdot x_1^2 = 9258 \cdot 5^2 = 23{,}15 \cdot 10^4,$$

$$A_2 = Q_2 \cdot x_2^2 = 9258 \cdot 15^2 = 208 \cdot 10^4,$$

$$A_3 = Q_3 \cdot x_3^2 = 8983{,}6 \cdot 25^2 = 561{,}5 \cdot 10^4,$$

$$A = A_1 + A_2 + A_3 = 23{,}15 \cdot 10^4 + 208 \cdot 10^4 + 561{,}5 \cdot 10^4 = 792{,}6 \cdot 10^4$$

6.2.2 Коэффициент В:

$$B = Q_i \cdot x_i^4 \qquad (35)$$

$$B_1 = Q_1 \cdot x_1^4 = 9258 \cdot 5^4 = 5{,}78 \cdot 10^6,$$

$$B_2 = Q_2 \cdot x_2^4 = 9258 \cdot 15^4 = 469 \cdot 10^6,$$

$$B_3 = Q_3 \cdot x_3^4 = 8993{,}6 \cdot 25^4 = 3513 \cdot 10^6,$$

$$B = B_1 + B_2 + B_3 = 5{,}78 \cdot 10^6 + 469 \cdot 10^6 + 3513 \cdot 10^6 = 3988 \cdot 10^6$$

6.3 Сейсмический коэффициент $К_с$=0,05 по таблице III.6 [3]

6.4 Коэффициент динамичности $\beta = 0{,}96$ по рис.III 9 [3].

6.5 Коэффициент формы $\eta_к$ по формуле (III.238) [3]

$$\eta_к = \frac{x_к^2 \cdot A}{B}; \qquad (36)$$

$$\eta_{к1} = \frac{x_1^2 \cdot A}{B} = \frac{5^2 \cdot 792{,}6 \cdot 10^4}{3988 \cdot 10^6} = 0{,}05,$$

$$\eta_{к2} = \frac{x_2^2 \cdot A}{B} = \frac{15^2 \cdot 792{,}6 \cdot 10^4}{3988 \cdot 10^6} = 0{,}45,$$

$$\eta_{к3} = \frac{x_3^2 \cdot A}{B} = \frac{25^2 \cdot 792{,}6 \cdot 10^4}{3988 \cdot 10^6} = 1{,}24$$

6.6 Сейсмическая сила $S_к$ в Н в точке К факельного ствола по формуле (III.233) [3]

$$S_к = Q_к \cdot K_c \cdot \beta \cdot \eta_к; \qquad (37)$$

$$S_{к1} = Q_1 \cdot K_c \cdot \beta \cdot \eta_{к1} = 9258 \cdot 0{,}05 \cdot 0{,}96 \cdot 0{,}05 = 29\ H,$$

$$S_{к2} = Q_2 \cdot K_c \cdot \beta \cdot \eta_{к2} = 9258 \cdot 0{,}05 \cdot 0{,}96 \cdot 0{,}45 = 200\ H,$$

$$S_{к3} = Q_3 \cdot K_c \cdot \beta \cdot \eta_{к3} = 8983{,}6 \cdot 0{,}05 \cdot 0{,}96 \cdot 1{,}24 = 534{,}7\ H$$

6.7 Сейсмический момент в основании с учетом высших форм колебаний по формуле (III.242) [3]

$$M_{р.осн.} \sum_{i=1}^{i=h} S_i x_i = (S_{к1} \cdot x_1 + S_{к2} \cdot x_2 + S_{x3} \cdot x_3) \cdot 1{,}25;$$

$$M_{р.осн.} = (27 \cdot 5 + 200 \cdot 15 + 534{,}7 \cdot 25) \cdot 1{,}25 = 20640{,}6\ H \cdot м \qquad (38)$$

6.8 Суммарный момент у основания факельного ствола

$$M_{осн.} = M_в + M_{р.осн} = 134940 + 20640{,}6 = 155580{,}6\ H \cdot м \qquad (39)$$

6.9 Напряжение изгиба у основания трубы от действия ветровой и сейсмической нагрузок

$$\sigma_{изг} = \frac{M_{осн.}}{W_{тр.}} = \frac{155580{,}6 \cdot 10^3}{769056} = 202\ H/мм^2$$

Условие устойчивости факельного ствола от суммарного действия ветровой и сейсмической нагрузок без учета оттяжки не выполнено.

6.10 Проверка устойчивости факельного ствола от суммарного действия ветровой и сейсмической нагрузок при наличии оттяжек

6.10.1 Изгибающий момент в точке крепления оттяжек к Факельному стволу (точки А) Н·мм [3]

$$M_A = 0{,}125 \cdot q_0 \left(h_p^2 - h^2\right)$$

6.10.1.1 Усредненная ветровая нагрузка и сейсмическая нагрузка

$$q_0 = \frac{2\left(M_B + M_{p.осн.}\right)}{H^2}$$

$$q_0 = \frac{2(134940 + 27322{,}5)}{30000^2} = 0{,}36 \quad H \cdot мм$$

Тогда

$$M_A = 0{,}125 \cdot 0{,}36\left(12000^2 - 6000^2\right) = 4860000 \quad H \cdot мм$$

6.10.1.2 Усилие в оттяжке нижнего яруса к земле

$$S_A = 1{,}15 \frac{R_A}{\sin\alpha_1},$$

где R_A – реакция опоры в точке А, Н, определяемая по формуле

$$R_A = 1{,}25 \cdot q_0 \cdot h_p$$

$$R_A = 1{,}25 \cdot 0{,}36 \cdot 12000 = 5625\ H,$$

тогда $$S_A = 1{,}15 \frac{5625}{0{,}725} = 8918 \quad H$$

6.10.2 Вертикальная составляющая от натяжения в точке А

$$N_A = S_A \cdot \cos\alpha_1.$$

$$N_A = 8918 \cdot 0{,}69 = 6139 \quad H$$

6.10.3 Усилие в оттяжке верхнего яруса

$$S_Б = 1{,}15 \frac{R_Б}{\sin\alpha_2}$$

где $R_Б$ – реакция опоры в точке Б, Н, определяемая из уравнения

$$R_Б = 0{,}375 \cdot q_0 (h_p^1 - h_p) + q_0 \frac{h}{(h_p^1 - h_p)}\left[\left(h_p^1 - h_p\right) + \frac{1{,}25}{2} h\right],$$

$$R_Б = 0{,}375 \cdot 0{,}36 \cdot (24000 - 12000) + 0{,}36 \frac{6000}{(24000 - 12000)}\left[(24000 - 12000) + \frac{1{,}25}{2} 6000\right] = 4455\ H,$$

тогда $$S_Б = 1{,}15 \frac{4455}{0{,}4848} = 10567 \quad H$$

6.10.4 Вертикальная составляющая от натяжения стяжки в точке Б

$$N_Б = S_Б \cdot \cos\alpha_2$$

$$N_Б = 10567 \cdot 0{,}8746 = 9242 \quad H$$

6.10.5 Напряжение сжатия в сечении трубы факельного ствола у нижнего яруса оттяжек (точка А), Н/мм^2

$$\sigma_{сж.А} = -\frac{M_A}{W_{тр}} + \frac{\sigma'_{ф.ст.} + N_Б + N_A}{F_{тр}} + \frac{(N_A + N_Б)\cdot D_п}{2\cdot W_{тр}},$$

$$\sigma_{сж.А} = -\frac{486000}{769056} + \frac{13150+6139+9242}{11733,8} + \frac{(6139+9242)\cdot 325}{2\cdot 769056} = -0,7+2,43+3,25 = 4,98$$

6.10.6 Так как $\sigma_{кр} > \sigma_т$, то проверка факельной трубы факельного ствола производится по уравнению

$$\frac{\sigma_т}{\sigma_{сж}} \geq m$$

$$\frac{223}{4,98} = 45,05 \rangle 4$$

Таким образом, при наличии оттяжек, условие устойчивости выполняется.

7 РАСЧЁТ ОСНОВНЫХ КОНСТРУКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ФАКЕЛЬНОГО СТВОЛА

7.1 Диаметр каната для оттяжек выбирается по разрывному усилию с четырёхкратной степенью надёжности [3]

$$4\cdot S_0 = 4\cdot 17065 = 68260\ H$$

По ГОСТ 3066-80 выбираем канат 16,5-Г-1-Н-1370 с разрывным усилием 147000 Н [5].

7.2 При использовании в качестве оттяжек стали круглого сечения, её диаметр определяется из уравнения [3]

$$d_0 = \sqrt{\frac{4\cdot S_0\cdot 4}{\pi\cdot\sigma_B}},$$

где $\sigma_в = 206\ H/мм^2$ – предел прочности материала оттяжек 09Г2С при рабочей температуре 350^{0}С [3]

$$d_0 = \sqrt{\frac{4\cdot 17065\cdot 4}{3,142\cdot 206}} = 20,53\ \ мм.$$

Принимаем для оттяжек круг диаметром 25 мм.

7.3 Внутренний диаметр резьбы стяжной муфты (талрепа), мм, [3]

$$d_м = \sqrt{\frac{4 \cdot S_0 \cdot 6}{\pi \cdot \sigma_B}},$$

$$d_м = \sqrt{\frac{4 \cdot 17065 \cdot 6}{3{,}142 \cdot 206}} = 25{,}15\ мм$$

Принимаем резьбу для стяжной муфты М27.

7.4 Диаметр фундаментного болта определяется из уравнения

$$d_б = \sqrt{\frac{4 \cdot P_б}{\pi \cdot [\sigma]}} + c,$$

где $P_б$ – усилие, действующее на наиболее нагруженный болт, Н;

$[\sigma]$ = 160 Н/мм^2 – допускаемое напряжение для стали 10Г2 при рабочей температуре 100^{0}С [2];

с = 3 мм – прибавка на коррозию.

7.4.1 Усилие, действующее на наиболее нагруженный болт

$$P_б = q_1 \cdot \frac{F_к}{n},$$

где q_1 – наибольшая удельная сила, отрывающая опорное кольцо от фундамента, Н/мм^2;

$F_к$ – площадь опорного кольца, мм^2;

n = 8 – количество фундаментных болтов.

7.4.1.1 Площадь опорного кольца

$$F_к = \frac{\pi}{4} \cdot \left(D_1^2 - D_2^2\right), \qquad (40)$$

где D_1 = 770 мм – наружный диаметр опорного кольца;

D_2 = 280 мм – внутренний диаметр опорного кольца.

$$F_к = \frac{3{,}142}{4} \cdot \left(720^2 - 280^2\right) = 345575\ мм^2$$

7.4.1.2 Наибольшая удельная сила, отрывающая опорное кольцо

$$q_1 = \frac{M_в}{W_к} - \frac{G_{ф.ст.}}{F_к}, \qquad (41)$$

$W_к$ – момент сопротивления опорной площади, мм^3, определяемый по уравнению

$$W_к = \frac{\pi}{32} \cdot \left(\frac{D_1^4 - D_2^4}{D_1} \right),$$

$$W_к = \frac{3,142}{32} \cdot \left(\frac{720^4 - 280^4}{720} \right) = 35810072\ мм^3$$

Тогда $q_1 = \frac{134940000}{35810072} - \frac{538500}{345575} = 2,2\ Н/мм^2$

7.4.1.3 Подставляя все известные значения в уравнение получим

$$P_б = 2,2 \cdot \frac{345575}{8} = 95033\ Н$$

7.4.2 Диаметр фундаментного болта по уравнению (38) составит

$$d_б = \sqrt{\frac{4 \cdot 95033}{3,142 \cdot 160}} + 3 = 30,5\ мм.$$

Принимаем болты с резьбой М36.

7.5 Растягивающее напряжение в фундаментном болте, Н/мм^2, [1]

$$\sigma_в = \frac{P_б}{f_б},$$

где $f_б$ – расчётная площадь сечения фундаментного болта, мм^2, определяемая из уравнения

$$f_б = \frac{\pi}{4} \cdot (d_{вн} - c)^2$$

$$f_б = \frac{3,142}{4} \cdot (31,67 - 3)^2 = 645,65\ мм^2$$

Тогда $\sigma_в = \frac{95033}{645,65} = 147,2\ Н/мм^2$

Условие $\sigma_в \le [\sigma]$ соблюдено, так как 147,2 Н/мм^2 < 160 Н/мм^2.

7.6 Наибольшее удельное давление опорной поверхности факельного ствола на фундамент, Н/мм^2, [1]

$$q_к = \frac{G_{ф.ст.}}{F_к} + \frac{M_в}{W_к}$$

$$q_к = \frac{538500}{345575} + \frac{134940000}{35810072} = 5,3\ Н/мм^2$$

Допускаемое напряжение сжатия $[q_к]$ для бетонов марки 150=6,5Н/мм^2 [3].

Условие $q_к \le [q_к]$ соблюдено.

8 ЗАКЛЮЧЕНИЕ

8.1 В результате проведённых расчётов определены:

- факельный ствол устойчив от действия весовых, ветровых и сейсмических нагрузок. Суммарный момент $M_{осн.}$ у основания факельного ствола составляет 155580,6 Н·м;
- наибольшее удельное давление опорной поверхности факельного ствола на фундамент – 2,2 Н/мм^2;
- оттяжки – канат 16,5-Г-I-Н-1570 ГОСТ 3066-80 или круг 25-В ГОСТ 2590-2006 из стали 09Г2С ГОСТ 4543-71;
- диаметр резьбы стяжной муфты – М27;
- диаметр резьбы фундаментных болтов – М36;
- количество фундаментных болтов – 8.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Генкин А.Э. Оборудование химических заводов. - М.: Высшая школа, 1970.

2 ГОСТ 14249-89. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчёта на прочность.

3 Бабицкий И.Ф., Вихман Г.Л., Вольфсон С.И. Расчёт и конструирование аппаратуры нефтеперерабатывающих заводов. - М.: Недра, 1965.

4 ГОСТ 3066-80. Канат двойной свивки типа ЛК-0 конструкции 6x7(1+6)+1x7(1+6). Сортамент.

5 Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя. Справочник. Т.1. - М.: Машиностроение, 2001.

Лист регистрации изменений

Изм	Номера листов (страниц)				Всего листов (страниц) в докум,	Номер докум.	Входящий номер сопроводительного докум. и дата	Подпись	Дата
	Измененных	Замененных	Новых	Аннулированных					

Подп. и дата

Инв. № дубл.

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подп.