

*Халыпа В.М., канд. техн. наук, доц., УГЗУ,
Вамболь С.А., канд. техн. наук, доц., УГЗУ*

БЕЗОПАСНАЯ ЭКСПЛУАТАЦИЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ТРУБ КОТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК ПО УСЛОВИЯМ ПРОЧНОСТИ

(представлено д-ром техн. наук Бодянским Е.В.)

Предложена методика расчета напряженно-деформированного состояния цилиндрических труб отопительных систем в условиях совместного воздействия температурного поля, ветровой нагрузки и собственного веса

Постановка проблемы. В последнее время все чаще применяются автономные котельные установки с металлическими трубами. При эксплуатации труба подвергается температурным напряжениям, поскольку температура на внутренней и внешней поверхности различна, в ветреную погоду на трубу действует распределенная вдоль оси трубы ветровая нагрузка, вызывающая напряжения изгиба в поперечных сечениях трубы. Для достаточно длинных труб необходимо учитывать сжимающие напряжения, обусловленные действием собственного веса. Сами котельные установки часто расположены в непосредственной близости от жилищных или производственных объектов и их авария из-за недостаточной прочности может привести к чрезвычайным ситуациям. Актуальным представляется оценка прочности по эквивалентным напряжениям уже действующих отопительных систем, находящиеся длительное время в эксплуатации.

В данной работе предложена методика расчета на прочность цилиндрических труб отопительных систем, с учетом всех перечисленных нагрузочных факторов при их совместном воздействии для определения эквивалентного напряжения в наиболее опасном сечении трубы.

Анализ последних исследований и публикаций. Рассматриваемая конструкция имеет форму весьма длинного кругового полого цилиндра и температура в любой его точке зависит лишь от расстояния этой точки до оси цилиндра. Формулы для расчета температурных напряжений, как для тонкостенных, так и для толстостенных цилиндров в этом случае приведены в работах

[1, 2]. Также не вызывает затруднений определение напряжений под действием собственного веса трубы [2].

При действии ветровой нагрузки на достаточно высокие трубы даже заземленный нижний край не может обеспечить прочность конструкции. В этом случае, как правило, применяют растяжки – тросы, каждый из которых одним концом прикрепляют к трубе в определенном ее сечении, а другим к неподвижной опоре на земле.

Постановка задачи и ее решение. При расчете температурных напряжений будем предполагать распределение температуры вдоль оси трубы установившимся равным соответственно t_0 на внутренней и t_1 на внешней поверхности трубы; по толщине стенки трубы температура меняется по линейному закону. Величины наибольших напряжений σ_z в осевом и σ_θ в окружном направлениях определяются по формулам [2] на внутренней поверхности трубы

$$\sigma_z = \sigma_\theta = \frac{E\alpha T^*}{3(1-\mu)(r_1-r_0)} \left[3r_0 - \frac{2(r_1^3-r_0^3)}{(r_1^2-r_0^2)} \right]; \quad (1)$$

на внешней поверхности трубы,

$$\sigma_z = \sigma_\theta = \frac{E\alpha T^*}{3(1-\mu)(r_1-r_0)} \left[3r_1 - \frac{2(r_1^3-r_0^3)}{(r_1^2-r_0^2)} \right], \quad (2)$$

где E – модуль упругости материала трубы, μ – коэффициент Пуассона, r_1, r_0 – соответственно наружный и внутренний радиусы трубы, α – коэффициент линейного расширения, $T^* = t_0 - t_1$.

Наибольшие сжимающие $\sigma_{z\max}$ напряжения в осевом направлении обусловлены собственным весом вертикально расположенной трубы высотой l закрепленной на нижнем крае равны

$$\sigma_{z\max} = -\gamma l, \quad (3)$$

где γ – вес единицы объема материала трубы.

На рис. 1а представлена схема подкрепленной растяжками трубы отопительной системы и ее расчетная модель рис. 1б в виде

консольной балки с промежуточной упругой опорой жесткости k . Балка подвергается действию поперечной распределенной нагрузки интенсивностью q эквивалентной действию ветра. Эта величина определяется формулой, предложенной Ньютоном

$$q = C_x \frac{\rho V^2}{2l} S; \quad (4)$$

здесь C_x - числовой коэффициент, различный для тел разных форм, называемый коэффициентом лобового сопротивления, ρ - плотность воздуха, V - скорость ветра в направлении перпендикулярном оси трубы, S - площадь проекции трубы на плоскость, перпендикулярную скорости ветра (миделево сечение), l - высота трубы. Ниже в таблице 1 приведены значения C_x в зависимости от l/d_1 , где d_1 - наружный диаметр трубы [3].

Таблица 1

l/d_1	1	2	5	10	40	∞
C_x	0,63	0,68	0,74	0,82	0,98	1,2

Для цилиндрической трубы в рассматриваемом случае эта формула приобретает вид

$$q = C_x \frac{\rho V^2}{2} d_1. \quad (5)$$

Задача расчета на прочность балки согласно схемы рис. 1б является один раз статически неопределимой. Введем неизвестные силовые факторы R , M - реакцию и изгибающий момент в заделке, а также поперечную силу P в упруго опертом сечении. Разобьем балку на два участка $0 \leq z \leq l_1$ и $l_1 \leq z \leq l$ и для каждого из них запишем уравнение прогибов

$$y_1(z) = \frac{1}{EJ} \left(\frac{Rz^3}{6} + \frac{Mz^2}{2} - \frac{qz^4}{24} \right)$$

$$y_2(z) = \frac{1}{EJ} \left(\frac{Rz^3}{6} + \frac{Mz^2}{2} - \frac{qz^4}{24} + \frac{P(z-l_1)^3}{6} \right)$$

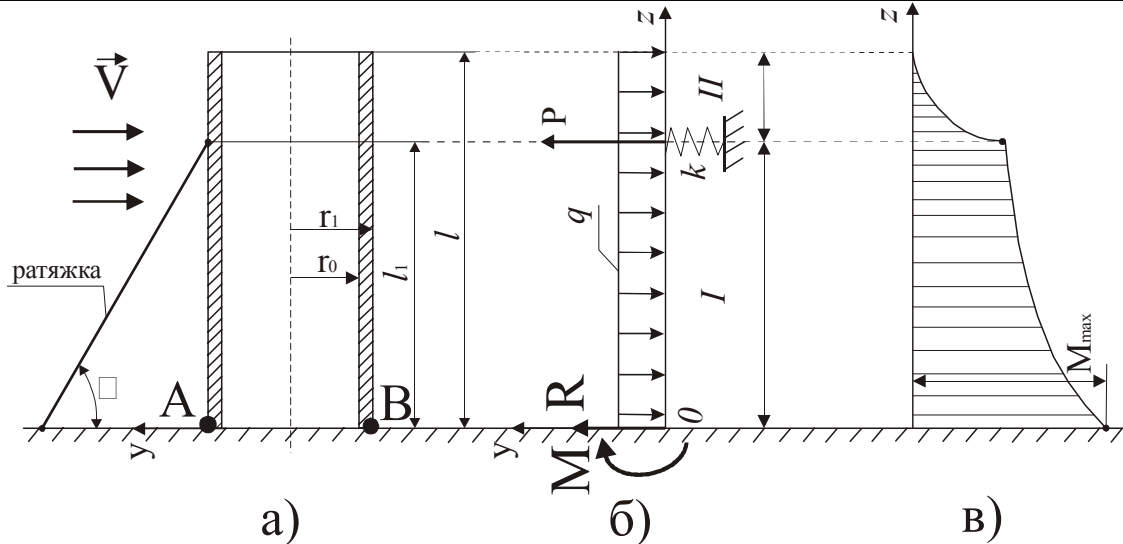


Рис. 1 – Схема трубы отопительной системы и ее расчетная модель при воздействии ветровой нагрузки

Для определения трех неизвестных величин R , M , P у нас имеются два уравнения равновесия и выражение связывающее прогиб надпорного сечения с поперечной силой P $ky_1(l_1) = -P$. Удовлетворив этим условиям находим $R = ql - P$,

$$P = \frac{ql \left(\frac{l^3}{12} + \frac{l \cdot l_1^2}{2} - \frac{l_1^3}{3} \right)}{\frac{EJ_y}{k} + \frac{l_1^3}{3}}, \quad (6)$$

Здесь EJ_y - изгибая жесткость поперечного сечения трубы, для кольцевого сечения $J_y = \frac{\pi d_1^4}{64} \left[1 - \left(\frac{d_0}{d_1} \right)^4 \right]$

На рис. 1в изображена эпюра изгибающих моментов, из которой следует, что при рассматриваемом нагружении балки наибольший изгибающий момент действует в заделке и его величина определяется выражением

$$M = Pl_1 - \frac{ql^2}{2}, \quad (7)$$

Момент сопроотивлення W для кільцевого поперечного сечення

$$W = \frac{\pi d_1^3}{32} \left[1 - \left(\frac{d_0}{d_1} \right)^4 \right], \quad (8)$$

Найбільші напруження изгиба определяються по формуле

$$\sigma = \pm \frac{M}{W}, \quad (9)$$

Опасними точками от действия ветровой нагрузки в трубе будут точки A и B рис. 1а.

Из выше изложенного следует, что самым нагруженным сечением трубы от действия всех силовых факторов является сечение в заделке.

Анализируя характер распределения по этому сечению тепловых напряжений, напряжение от действия собственного веса и ветровой нагрузки приходим к выводу: наиболее опасной точкой, где действует максимальное растягивающее напряжение, является точка A . Рассмотрим конкретный пример расчета с исходными данными: $l = 30$ м; $l_1 = 20$ м; $d_1 = 0,3$ м; $d_0 = 0,28$ м; $C_x = 1,2$; $\rho = 1,29$ кг/м³; $V = 25$ м/с; $E = 2,1 \cdot 10^5$ МПа; $\mu = 0,3$; $\gamma = 7,65 \cdot 10^4$ Н/м³; $T^* = 50^\circ\text{C}$; $\alpha = 125 \cdot 10^{-7}$ 1/°C; $k = 4 \cdot 10^3$ Н/м.

По формулам (1) и (2) определяем наибольшие температурные напряжения:
на внешней поверхности трубы

$$\sigma_z = \sigma_\theta = \frac{E\alpha T^*}{3(1-\mu)(r_1-r_0)} \left[3r_0 - \frac{2(r_1^3-r_0^3)}{(r_1^2-r_0^2)} \right] = -9,48 \text{ МПа}$$

на внутренней поверхности трубы

$$\sigma_z = \sigma_\theta = \frac{E\alpha T^*}{3(1-\mu)(r_1-r_0)} \left[3r_1 - \frac{2(r_1^3-r_0^3)}{(r_1^2-r_0^2)} \right] = 9,27 \text{ МПа}$$

Сжимающие наибольшие напряжения в осевом направлении трубы от действия собственного веса составляют

$$\sigma_{z \max} = -\mathcal{A} = -2,3 \text{ МПа}$$

Для определения напряжений изгиба от действия ветровой нагрузки предварительно находим по формуле (5) $q=145 \text{ Н/м}$.

Момент инерции поперечного сечения составляет

$$J_y = 9,54 \cdot 10^{-5} \text{ м}^4$$

Вычисляем поперечную силу P по формуле (6) $P=1584 \text{ Н}$.

Используя (7), находим максимальный изгибающий момент

$$M = Pl_1 - \frac{ql^2}{2} = -33563 \text{ Нм},$$

$$\sigma_{\max} = \pm \frac{M}{W} = \pm 52,8 \text{ МПа}.$$

Определяем наибольшее растягивающее напряжение в осевом направлении, которые действуют в точке A опасного сечения от всех силовых факторов

$$\sigma_{z \max}^+ = 9,27 - 2,3 + 52,8 = 59,77 \text{ МПа}.$$

В заключение отметим, что сечение вблизи заземления трубы находится в условиях неоднородного плоского напряженного состояния. В опасной точке A кроме напряжений $\sigma_{z \max}$ действуют так же растягивающие температурные напряжения σ_θ . Поэтому в зависимости от свойств материала трубы следует применять соответствующую теорию прочности для определения эквивалентного напряжения.

Выводы. Предложена методика расчета на прочность цилиндрических труб отопительных систем при совместном действии ветровой нагрузки, собственного веса трубы и температурных напряжений, обусловленных различными температурами окружающей среды и внутренней поверхности трубы. Методика расчета на прочность позволяет при необходимости учитывать

подкрепление тросами не только в одном сечении вдоль оси трубы, а и в нескольких.

ЛИТЕРАТУРА

1. Тимошенко С.П. Курс теории упругости. – Киев, Наукова думка, 1972 г. -501 с.
2. Феодосьев В.И. Сопротивление материалов. – Москва, Наука, 1974 г. – 580 с.
3. Машиностроение. Энциклопедический справочник. Т1, М., ГНТИ, 1947 г. -548 с.

УДК 355.77

*Чижов В.Ф., канд. техн. наук, доц., УЦЗУ,
Семків О.М., канд. техн. наук, проректор, УЦЗУ,
Метельов О.В., канд. техн. наук, декан, УЦЗУ,
Силенко Р.М., ад'юнкт, УЦЗУ*

ЦИФРОВИЙ ВИМІРЮВАЧ ТЕМПЕРАТУРИ ТА ШВИДКОСТІ РУХУ ПОВІТРЯ В ЗАХИСНИХ СПОРУДАХ ЦИВІЛЬНОЇ ОБОРОНИ НА ОСНОВІ КРЕМНІЄВИХ ТЕРМОЧУТЛИВИХ ЕЛЕМЕНТІВ

(представлено д-ром хім. наук Калугіним В.Д.)

Розглянуто питання забезпечення і контролю необхідних значень показників мікроклімату в захисних спорудах цивільної оборони зі штучним середовищем мешкання (ЗС ЦО) шляхом використання цифрового вимірювача температури та швидкості руху повітря на основі кремнієвих термочутливих елементів

Постановка проблеми. Умовами надійного захисту людей від радіаційного, хімічного та біологічного забруднення у захисних спорудах цивільної оборони є забезпечення в них екологічних показників повітряного середовища, основними з яких є показники мікроклімату: температура, вологість та швидкість повітря. Ці показники встановлюються відповідними нормативними вимогами до середовища мешкання людини в умовах ЗС ЦО.