УДК 534.014.1:622.692.4.053

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЧАСТОТ СОБСТВЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ ПРЕДВАРИТЕЛЬНО НАПРЯЖЕННОГО НАДЗЕМНОГО МАГИСТРАЛЬНОГО ТРУБОПРОВОДА

У.С. Сулейменов
ЮКГУ им. М. АУЕЗОВА, г.Шымкент

Рассмотрим работу при динамических воздействиях предварительно напряженных надземных магистральных трубопроводов. Особенностью таких трубопроводов является то, что с помощью высокопрочной предварительно растянутой обмотки перераспределяются усилия в конструкции. Такие конструкции позволяют получить значительное увеличение их несущей способности по сравнению с аналогичными трубопроводами без обмотки [1,2].

Рассматривая напряженное состояние предварительно-напряженных трубопроводов, следует различать два состояния, первое состояние характеризуется начальными напряжениями, возникающими в обмотке и в трубе вследствие навивки проволоки с определенным усилием натяжения. Для анализа его работы введем следующие обозначения: r - радиус трубы; t_1 - толщина стенки трубы; t_2 - приведенная толщина обмотки, равная отношению площади поперечного сечения проволоки $F_{пр}$ к шагу витков проволоки a ; E_1, E_2 - соответственно модули упругости материалов трубы и обмотки; μ - коэффициент Пуассона; $S_{пн}$ - усилие натяжения проволоки; σ_{cr} -критические напряжения обжатия.

Рассмотрим предварительно напряженный трубопровод. Ось x направим в направлении продольной оси трубопровода и обозначим через u – продольные, w – кольцевые, N_1 и N_2 - соответственно меридиональные и кольцевые усилия.

В первом приближении эффект от предварительного напряжения учтем через эквивалентную толщину стенки

$$t_1^э = t_1 + t_2 + t_{пн}^э, \tag{1}$$

где $t_{пн}^э = \dfrac{P_{пн} r}{\sigma_{cr}} = \dfrac{S_{пн} r}{ar\sigma_{cr}} = \dfrac{S_{пн}}{a\sigma_{cr}}$ - эквивалентная толщина обмотки.

Считая, что толщина стенки предварительно напряженного трубопровода постоянна по всей длине, составим уравнение движения системы с учетом осесимметричных форм колебаний:

$$\left.\begin{aligned} &\frac{r\partial N_1}{\partial x} - (m_1 + m_2)\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = 0 \\ &N_2 - (m_1 + m_2)\frac{\partial w}{\partial t^2} = 0 \end{aligned}\right\} \tag{2}$$

$$\left.\begin{aligned} N_1 &= \frac{Et_1^э}{1-\mu^2}\left(\frac{\partial u}{\partial x} + \mu\frac{w}{r}\right) \\ N_2 &= \frac{Et_1^э}{1-\mu^2}\left(\frac{w}{r} + \mu\frac{\partial u}{\partial x}\right) \end{aligned}\right\} \tag{3}$$

Подставив (3) в (2) и обозначая $B = \dfrac{Et_1^э}{1-\mu^2}$, $m = m_1 + m_2$, получим:

$$\left.\begin{aligned} &Br\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + B\mu\frac{\partial w}{\partial x} - m\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = 0; \\ &B\mu\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{B}{r}w - m\frac{\partial^2 w}{\partial t^2} = 0, \end{aligned}\right\} \tag{4}$$

Выделим гармонический временный множитель в инерционных членах:

$$\left.\begin{aligned} &Br\frac{\partial^2 u^*}{\partial x^2} + B\mu\frac{\partial w^*}{\partial x} - m\varphi_n^2 u^* = 0; \\ &B\mu\frac{\partial u^*}{\partial x} + \frac{B}{r}w^* - m\varphi_n^2 w^* = 0, \end{aligned}\right\} \tag{5}$$

где u^* и w^* - амплитудные значения.

Отсюда можно записать операторное уравнение типа $\left(c - m\varphi_n^2 k\right)\varphi = 0$.

Собственные формы колебаний определяет вектор-функция $\varphi = \left(\frac{u}{w}\right)$.

$$\left.\begin{aligned} &L_{11}u^* + L_{12}w^* - m\varphi_n^2 u^* = 0; \\ &L_{12}u^* + L_{22}w^* - m\varphi_n^2 w^* = 0, \end{aligned}\right\} \tag{6}$$

где дифференциальные операторы имеют вид

$$L_{11} = Br\frac{\partial}{\partial x^2}; \quad L_{12} = L_{21} = B\mu\frac{\partial}{\partial x}; \quad L_{22} = \frac{B}{r}. \tag{7}$$

При граничных условиях $x = 0$; $x = l$ аппроксимирующие функции имеют вид:

$$\left.\begin{aligned} &w^* = w_1 \sin\frac{n\pi x}{l}; \\ &u^* = u_1 \cos\frac{n\pi x}{l}, \end{aligned}\right\} \tag{8}$$

где $u = u^* \cos\varphi_n t$; $w = w^* \sin\varphi_n t$.

Подставляя (8) в (6) и учитывая (7), получим систему однородных линейных уравнений продольных u и кольцевых w перемещений:

$$\left.\begin{aligned} &c_{11}u_1 - c_{12}w_1 - m\varphi_n^2 u_1 = 0 \\ &c_{21}u_1 - c_{22}w_1 - m\varphi_n^2 w_1 = 0, \end{aligned}\right\} \tag{9}$$

где $c_{11} = Brk^2$; $c_{21} = c_{12} = B\mu k$; $c_{22} = \frac{B}{r}$, $k = \frac{\pi n}{l}$ - волновое число.

Из условия существования нулевого решения системы (8) следует:

$$\det\left(c - m\varphi_n^2 k\right) = 0. \tag{10}$$

Тогда

$$\left(c_{11} - m\varphi_n^2\right)\left(-c_{22} - m\varphi_n^2\right) + c_{12}c_{21} = 0 \quad \Rightarrow$$

$$-c_{11}c_{22} + c_{22}m\varphi_n^2 - c_{11}m\varphi_n^2 + m^2\varphi_n^4 + c_{12}c_{21} = 0 \quad \Rightarrow$$

$$\varphi_n^4 - \frac{1}{m}\left(c_{11}c_{22}\right)\varphi_n^4 - \left(c_{11}c_{22} - c_{12}c_{21}\right)\frac{1}{m} = 0 \tag{11}$$

Подставив значения коэффициентов $c_{11}, c_{12}, c_{21}, c_{22}$ и решая квадратное уравнение, пренебрегая величиной $\left(\frac{1}{r^2}\right)$, получим выражение для определения частот собственных колебаний предварительно напряженного трубопровода:

$$\varphi_n = \sqrt{\frac{Bk}{2m}\left[rk + \sqrt{r^2k^2 + 2\left(1 - 2\mu^2\right)}\right]} \tag{12}$$

Подставив в (12) значения B, k и μ, получим окончательное выражение для определения собственных частот колебаний предварительно напряженного трубопровода:

$$\varphi_n = \frac{\left(E_1 t_1 + E_2 t_2 + E_2 \dfrac{S_{пн}}{a\sigma_{ст}}\right) n\pi}{2(1-\mu^2)(m_1 + m_2)l} \left[\frac{n\pi r}{l} + \frac{n^2\pi^2 r^2}{l^2} + 2(1-\mu^2)\right] \qquad (13)$$

Полученное выражение показывает, что на собственные частоты колебаний предварительно напряженного трубопровода влияют жесткость и радиус трубопровода, параметры предварительного напряжения (сила натяжения, шаг и жесткость обмотки), а также пролет трубопровода.

Причем параметры предварительного напряжения повышают собственные частоты трубопровода.

Литература

1 Беленя Е.И. Предварительно-напряженные несущие металлические конструкции.-М.: Стройиздат, 1975. - 416 с.
2 Беленя Е.И., Астряб С.М., Рамазанов Э.Б. Предварительно-напряженные металлические листовые конструкции.- М.: Стройиздат, 1979. - 192 с.

Қорытынды

Жұмыста алдын-ала кернеуленген құбырлардың меншікті тербелісі қаралған. Қозғалыс теңдеулері құралып оның шешімі келтірілген.

Меншікті тербеліс жиілігін анықтау өрнегі алдын ала кернеулеу параметрлерін ескереді.

Summary

In work the own fluctuation previously of intense pipeline is considered. The equation of movement and its(her) decision is made.

The final expression for definition of own frequencies is received which takes into account parameters of a preliminary pressure(voltage).

УДК 621.577.

ИССЛЕДОВАНИЕ СУШКИ КАЗЕИНА С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕПЛОВОГО НАСОСА С ЗАМКНУТЫМ КОНТУРОМ

Ш.У.Тауасаров
ЮКГУ им. М. Ауезова, г.Шымкент

Сушка может быть естественной и искусственной в специальных установках – сушилках. В последнем случае необходимо решить задачи организационного и регулируемого подвода тепла, обеспечения заданного режима: температур, давления и скорости сушильного агента. Эти и другие проблемы были исследованы при разработке сушки капиллярно-пористых материалов с применением теплового насоса с замкнутым контуром.

Схема установки приведена на рисунке 1, в ее состав входят: тепловой насос I, вентилятор II, сушилка III, влагоотделитель IV, теплообменник V. В качестве рабочего вещества теплового насоса использован хладагент R – 12.