УДК 622.691.4

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ ЗАТУХАНИЯ МАНОМЕТРИЧЕСКИХ ТРУБЧАТЫХ ПРУЖИН

RESULTS OF CALCULATION OF MANOMETRIC TUBULAR SPRINGS OSCILLATION DUMPING PARAMETERS

Д. А. Черенцов, С. П. Пирогов, Ю. Д. Земенков, А. Ю. Чуба
D. A. Cherentsov, S. P. Pirogov, Yu. D. Zemenkov, A. Yu. Chuba

Тюменский государственный нефтегазовый университет, г. Тюмень
Государственный аграрный университет Северного Зауралья, г. Тюмень

Ключевые слова: ***параметры затухания колебаний; манометрическая трубчатая пружина***
Key words: ***oscillation damping parameters; manometric tubular spring***

При измерении избыточного давления в условиях пульсации измеряемой среды, больших амплитуд и внешних вибраций в манометрах происходит изнашивание различных механизмов, повышение погрешности измерения, что может привести к его поломке [1, 2]. Эффективным методом снижения вибрации является усиление процессов трения в конструкции с помощью демпфирующей жидкости. Ниже представлены динамические модели и результаты расчетов параметров затухания манометрических трубчатых пружин (МТП).

В первой модели МТП представлена как система с двумя степенями свободы: φ — относительный угол раскрытия пружины и w — увеличения малой полуоси поперечного сечения. Для получения дифференциальных уравнений было использовано уравнение Лагранжа второго рода [3, 4]:

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial T}{\partial \dot{q}_i}\right) - \frac{\partial T}{\partial q_i} = Q_{P_i} + Q_{R_i},$$

где T — кинетическая энергия, Q_{P_i} — обобщенная сила, соответствующая потенциальным силам; Q_{R_i} — обобщенная сила сопротивления (рис.1).

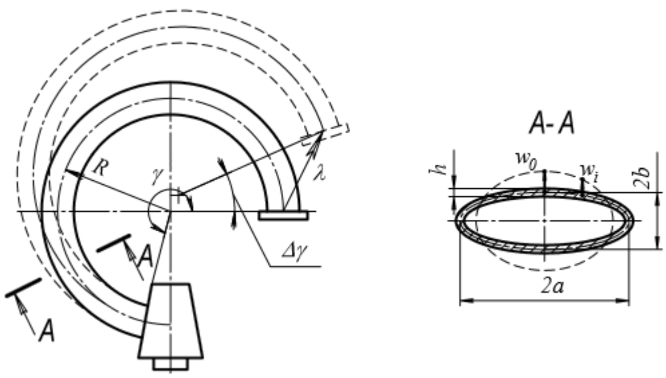

Рис. 1. ***Обобщенные координаты***

Выражения для определения кинетической энергии, обобщенных сил, соответствующих потенциальным силам и силам сопротивления, получены в [5, 6]. После дифференцирования получается система двух однородных дифференциальных уравнений второго порядка с постоянными коэффициентами:

$$\begin{cases} a_1\ddot{\varphi} + b_1\dot{\varphi} + c_1\varphi + c_3 w = 0 \\ a_2\ddot{w} + b_2\dot{w} + c_3\varphi + c_2 w = 0 \end{cases}$$

где a_{ij} — коэффициенты инерции, b_{ij} — коэффициенты диссипации, а c_{ij} — коэффициенты жесткости.

Решая характеристическое уравнение

$$a_1 a_2 x^4 + (a_1 b_2 + a_2 b_1)x^3 + (a_1 c_2 + b_1 b_2 + a_2 c_1)x^2 + (b_1 c_2 + c_1 b_2)x + (c_1 c_2 - c_3 c_3) = 0$$

Получим значения параметров затухания в комплексном виде

$$\left.\begin{aligned} x_1 &= -n_1 + ik_1 \\ \overline{x_1} &= -n_1 - ik_1 \\ x_2 &= -n_2 + ik_2 \\ \overline{x_2} &= -n_2 - ik_1 \end{aligned}\right\}$$

где n_1 и n_2 — коэффициенты затухания (положительные); k_1 и k_2 — частоты затухающих колебаний; $\overline{x_1}$ и $\overline{x_2}$ — числа, сопряженные с соответствующими комплексными числами.

Во второй модели МТП представлена в виде тонкостенного изогнутого стержня [7], совершающего колебания в плоскости кривизны центральной оси, на рис. 2 показан бесконечно малый элемент, вырезанный из этого стержня.

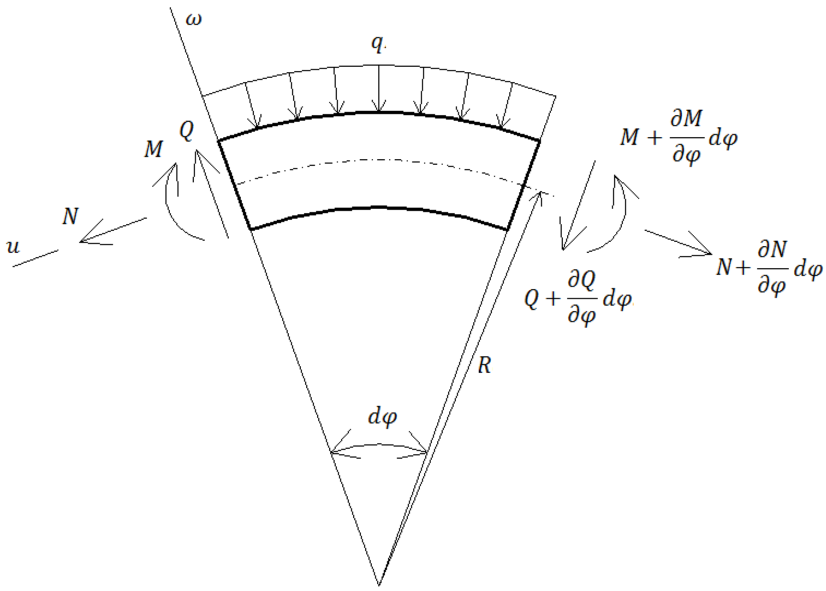

Рис. 2. ***Элемент стержня***

Были получены дифференциальные уравнения в радиальном (w) и продольном (u) перемещениях [8]:

$$m(\varphi)\frac{\partial^2 w}{\partial t^2} + \beta\frac{\partial w}{\partial t} - \frac{\partial^2}{\partial \varphi^2}\left\{H_R\left(\frac{\partial u}{\partial \varphi} - \frac{\partial^2 w}{\partial \varphi^2}\right)\right\} + \left\{D_R\left(\frac{\partial u}{\partial \varphi} + w\right)\right\} = 0,$$

$$m(\varphi)\frac{\partial^2 u}{\partial t^2}-\frac{\partial}{\partial\varphi}\left\{H_R\left(\frac{\partial u}{\partial\varphi}-\frac{\partial^2 w}{\partial\varphi^2}\right)\right\}-\frac{\partial}{\partial\varphi}\left\{D_R\left(\frac{\partial u}{\partial\varphi}+w\right)\right\}=0.$$

где $H_R = \frac{EJ(\varphi)K_k(\varphi)}{(1-\mu^2)R^4}$; $D_R = \frac{ES(\varphi)}{(1-\mu^2)R^2}$; $m_0 = \rho S(\varphi)$; E — модуль упругости материала трубки; $J(\varphi)$ — момент инерции сечения, зависящий от угловой координаты сечения φ; $K_k(\varphi)$ — коэффициент Кармана, зависящий от угловой координаты сечения φ; $S(\varphi)$ — площадь поперечного сечения трубки, зависящая от угловой координаты φ этого сечения; μ — коэффициент Пуассона.

Главные граничные условия при φ = 0: $u(0)=0$; $\omega(0)=0$; $\frac{\partial w}{\partial\varphi}(0)=0$

Естественные граничные условия при (φ = γ): $M(\gamma)=0$; $N(\gamma)=0$; $Q(\gamma)=0$; или в перемещениях:

$$\left(\frac{\partial u}{\partial\varphi}(\gamma)-\frac{\partial^2 w}{\partial\varphi^2}(\gamma)\right)=0,\ \left(\frac{\partial u}{\partial\varphi}(\gamma)+w(\gamma)\right)=0,$$

$$\left(\frac{\partial^2 u}{\partial\varphi^2}(\gamma)-\frac{\partial^3 w}{\partial\varphi^3}(\gamma)\right)=0\,.$$

Решение производилось методом Бубнова — Галеркина [9, 10] и реализовано с помощью программного комплекса «Манометр» на языке MATLAB [10].

Сравнение результатов расчетов произведено на примере трех рядов пружин постоянного сечения с соотношениями полуосей поперечного сечения 2, 5 и 8. В каждом ряду пружины отличаются толщиной стенки, которая варьируется от 0,1 мм до 1,6 мм. Пружины характеризуются следующими параметрами: радиус трубки-заготовки r = 8 мм, радиус кривизны центральной оси R = 50 мм, центральный угол пружины γ = 220^0, динамическая вязкость демпфирующей жидкости μ = 1 Па с. Графики зависимостей частот колебаний от параметра кривизны и тонкостенности $\mu_0=\sqrt{12(1-\nu^2)}\frac{r^2}{Rh}$ показаны на рис. 3 и 4.

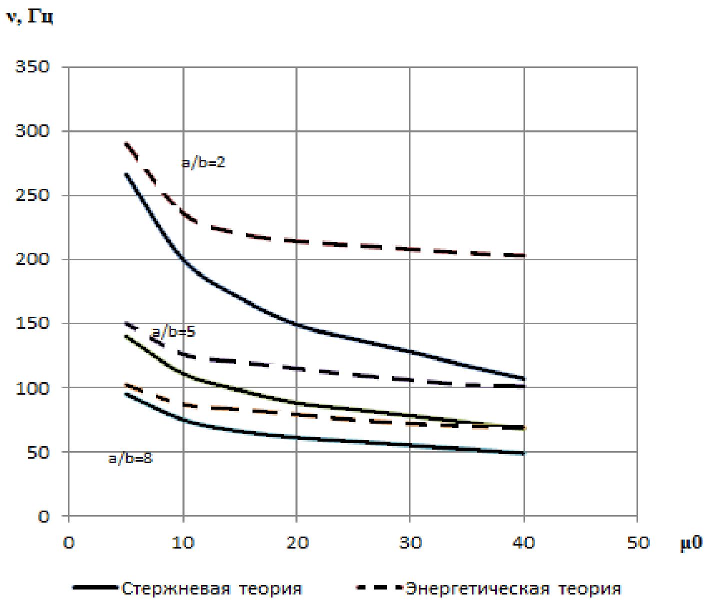

*Рис. 3. **Сравнение частот затухающих колебаний***

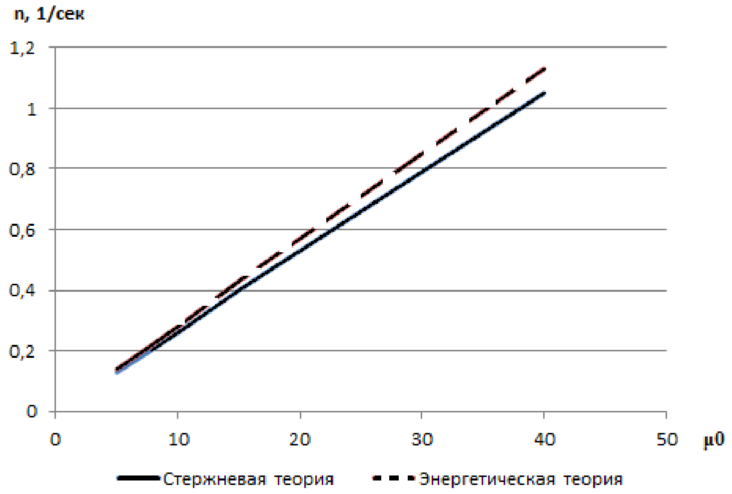

Рис. 4. ***Сравнение коэффициентов затухания***

Из графиков видно, что во всем рассмотренном диапазоне трубчатых пружин значения частот колебаний, полученные по энергетической теории (первая динамическая модель) несколько выше значений, полученных по стержневой модели. Как показали расчеты, коэффициент затухания в большей степени зависит от вязкости демпфирующей жидкости, для разных отношений полуосей разность полученных значений не превышает 1 %.

Сравнение расчетных значений для одних и тех же образцов, полученных данными методами, показало, что оба метода хорошо согласуются между собой при значениях параметра кривизны и тонкостенности $\mu 0 < 10$. При увеличении значений этого параметра отклонение между параметрами затухания, полученными обоими методами, увеличивается.

Список литературы

1. Андреева Л. Е. Упругие элементы приборов. – М.: Машгиз, 1962. – 456 с.
2. Пирогов С. П. Манометрические трубчатые пружины. – СПб: ООО «Недра», 2009. – 276 с.
3. Яблонский А. А., Никифорова В. М. Курс теоретической механики. – М.: Высшая школа, 1966. – 439 с.
4. Бидерман В. Л. Теория механических колебаний. – М.: Высшая школа, 1980. – 480 с.
5. Чуба А. Ю. Расчет собственных частот колебаний манометрических трубчатых пружин: дис. … канд. техн. наук / А. Ю. Чуба. – Тюмень, 2007. – 137 с.
6. Черенцов Д. А. Определение обобщенных сил сопротивления при колебаниях манометрических трубчатых пружин, при наличии сил вязкого сопротивления // Естественные и технические науки. – 2014. – № 4 (72). – С. 12-16.
7. Беляев Н. М. Сопротивление материалов. – М.: Наука, 1965.
8. Черенцов Д. А., Пирогов С. П., Дорофеев С. М. Математическая модель манометрической пружины в вязкой среде // Вестник тюменского государственного университета. – 2014. – № 7. – С. 234.
9. Флетчер К. Численные методы на основе метода Галеркина. – М.: Мир, 1988. – 352 с.
10. Иглин С. П. Математические расчеты на базе Matlab.– СПб: BXV – Санкт-Петербург, 2005. – 640 с.

Сведения об авторах

Черенцов Дмитрий Андреевич, *ассистент кафедры «Транспорт углеводородных ресурсов», Тюменский государственный нефтегазовый университет, г. Тюмень, тел. 89222652095, e-mail: cherentsovda@bk. ru*

Пирогов Сергей Петрович, *д. т. н., профессор кафедры «Прикладная механика», Тюменский государственный нефтегазовый университет, г. Тюмень, тел. 8(3452)905785, e-mail: piro-goweov@yandex.ru*

Земенков Юрий Дмитриевич*, д. т. н., профессор, заведующий кафедрой «Транспорт углеводородных ресурсов», Тюменский государственный нефтегазовый университет, г. Тюмень, тел. 8(3452)201931, e-mail: zemenkov@tsogu.ru*

Чуба Александр Юрьевич*, к. т. н., доцент, государственный аграрный университет Северного Зауралья, г. Тюмень, e-mail: aleksandr-chuba@mail.ru*

Information about the authors

Cherentsov D. A., *assistant of the chair «Transport of hydrocarbon Resources», Tyumen State Oil and Gas University, phone: 89222652095, e-mail: cherentsovda@bk.ru*

Pirogov S. P*., Doctor of Engineering, professor of the chair «Applied mechanics», Tyumen State Oil and Gas University, phone: 8(3452)905785, e-mail: pirogoweov@yandex.ru*

Zemenkov Yu. D.*, Doctor of Engineering, professor, head of the chair «Transport of hydrocarbon Resources», Tyumen State Oil and Gas University, phone: 8(3452) 201931, e-mail: zemenkov@tsogu.ru*

Chuba A. Yu.*, Candidate of Science in Engineering, associate professor, State Agrarian University of Northern Zauralye, e-mail: aleksandr-chuba@mail.ru*