

ВЛИЯНИЕ ВНЕШНИХ ВОЗМУЩЕНИЙ НА РАБОТУ УПРУГОГО ЭЛЕМЕНТА МАНОМЕТРА

В. Т. ТИХОНОВ

(Представлена научным семинаром кафедры теоретической механики)

Манометры, выпускаемые промышленностью нашей страны, являются точными измерительными приборами.

Однако в ряде случаев, когда они устанавливаются на машины, вибрирующие во время работы, дают ложные показания, не отражая действительных величин давления. В результате не исключена возможность возникновения аварий на производстве.

Отсюда становится понятной тревога предприятий, потребителей манометров, которые сигнализировали нам об этом и обратились с просьбой выяснить причины, вызывающие ложные показания манометров и наметить пути к устранению этих причин.

Задачей настоящего исследования явилось изучение влияния некоторых внешних механических воздействий на показания работы манометров, в частности, влияния гармонических колебаний.

Как известно, основным рабочим элементом манометра является трубчатая пружина, поэтому прежде исследование было начато с некоторых вопросов колебания трубчатой пружины. Для полного определения деформаций, возникающих в трубчатой пружине при колебаниях, необходимо было установить зависимость перемещений всех точек системы от времени. Трубчатая пружина является системой с бесконечным числом степеней свободы. Изучение колебаний таких систем становится возможным только при значительных упрощениях. Изучив характер колебаний пружины манометра, мы пришли к выводу, что можно в некотором приближении связать колебания трубчатой пружины с изменением центрального узла. В этом случае схема действия сил пружины приводится к системе с одной степенью свободы (рис. 1).

Вывод уравнения собственной частоты колебаний упругого элемента манометра произведен с помощью уравнений Лагранжа второго рода в обобщенных координатах.

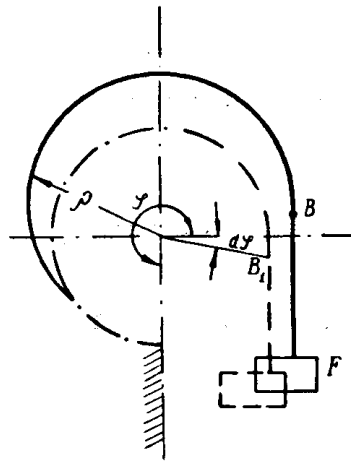


Рис. 1. Расчетная схема работы пружины

Зависимость собственной частоты колебаний трубчатой пружины от ее параметров (обозначения общеприняты).

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{dT}{dq} \right) - \frac{\partial T}{\partial q} = Q. \quad (1)$$

Выражая Q через потенциальную энергию колеблющейся пружины, имеем

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{dT}{dq} \right) - \frac{\partial T}{\partial q} = - \frac{\partial u}{\partial q}. \quad (2)$$

Учитывая независимость наложения связей на систему от времени и малую величину колебаний системы, имеем

$$T = \frac{\alpha g^2}{2}, \text{ где } \alpha = \text{const}. \quad (3)$$

Потенциальная энергия u при стационарных связях является только функцией координаты q . Если за начало отсчета потенциальной энергии принять равновесное положение системы, то $u = 0$, следовательно, $Q = 0$, т.е. $\frac{du}{dq} = 0$.

Произведя разложение $|q|$ по степеням q , начиная с членов не ниже второй степени относительно q , имеем

$$u(q) = \frac{1}{2} c q^2. \quad (4)$$

Подставляя в уравнение (1–2) выражения (3) и (4), получим

$$\alpha \ddot{g} + c q = 0. \quad (5)$$

Принимая $\rho = \frac{r \neq R}{2}$ и считая массу пружины M равномерно распределенной по дуге окружности радиуса ρ , имеем кинетическую и потенциальную энергию

$$T = \frac{1}{2} M \rho^2 \dot{\varphi}^2 \text{ и } u = \frac{1}{2} c \varphi^2 \quad (6)$$

Используя уравнения (1), (2), (6), (7), получим

$$M \rho^2 \ddot{\varphi} + c \varphi = 0. \quad (7)$$

Решение этого уравнения будет

$$\varphi = A \sin(\omega t + \alpha), \quad (9)$$

$$\omega = \sqrt{\frac{c}{M \rho^2}}.$$

Подставляя в уравнение (9) круговой частоты значение c и выражая массу через вес, а также приводя круговую частоту ω к обычной частоте ν , равной числу полных колебаний в единицу времени, будем иметь

$$\nu = \frac{\sqrt{\frac{Fq}{\rho \Theta P}}}{2\pi}. \quad (10)$$

Определив экспериментально зависимость угла закручивания пружины от величины возмущающей силы по схеме нагрузки, приведенной на рис. 1, строим кривые собственной частоты манометра от верхнего предела измерения (рис. 2). Точки нанесены крестами.

Экспериментальные исследования собственной частоты манометров были проведены на вибростенде *DK*.

Считаем, что собственная частота одновитковой трубчатой пружины одновременно является и собственной частотой манометра, поскольку пружина является основным рабочим элементом последнего.

Принцип работы стенда: поле магнита, питаемого постоянным током, вибрирует катушку, через которую проходит переменный ток, амплитуда и частота которой могут быть регулируемы. Вибрирующий стол жестко связан с катушкой и воспроизводит механические вибрации по закону $x = a \sin \omega t$.

Изменением величины ускорения стенда изменяется величина возмущающей силы.

Зависимость собственной частоты манометров от верхнего предела измерения

Определение собственной частоты манометров производилось для нагруженного и ненагруженного манометра. Нагружение производилось на 1/4, 2/4 и 3/4 от верхнего предела измерения.

Составляя опытные и расчетные результаты для манометров диаметром 150 мм, мы видим, что эти результаты относительно хорошо согласуются. Ход опытной частоты кривой аналогичен расчетной и друг друга подтверждает (рис. 2). Точки опытной кривой нанесены треугольниками.

Зависимость размаха стрелки манометра при резонансе от верхнего предела измерения

Практически важно знать величину размаха стрелки в случае резонанса манометрической пружины. Этот размах зависит не только от частоты и амплитуды внешней силы, но и от параметров системы. Как при собственных колебаниях, так и при вынужденных весь процесс характеризуют два параметра системы: собственная частота и декремент затухания.

В манометровой промышленности часто вместо декремента затухания вводят термин — добротность системы, которая равна $D = \frac{\sqrt{mc}}{n}$,

где m — колеблющаяся масса, c — жесткость и n — коэффициент силы

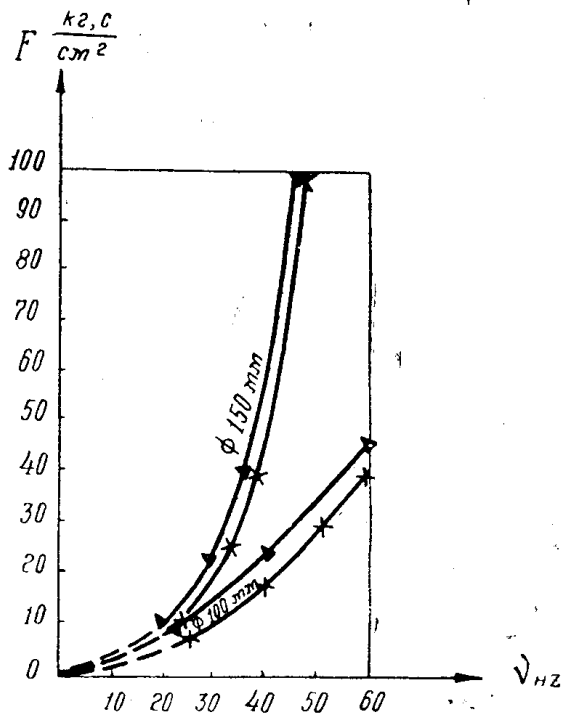


Рис. 2. Кривая собственной частоты манометра от верхнего предела измерения

торможения, который будет состоять из силы трения механизмов манометра и сил внутреннего трения упругого элемента.

Если графически изобразить зависимость амплитуды смещения от отношения собственной частоты к частоте вынужденных колебаний, то получим известный график кривых (рис. 3).

Анализ графика показывает, что с ростом добротности растет и амплитуда смещения, при мелких значениях добротности амплитуда достигает максимума в дорезонансной зоне.

Как видно из выражения добротности, последняя в основном зависит от жесткости системы s и момента инерции массы. На основании чего можно было ожидать, что манометры, у которых пружины имеют большую добротность, должны иметь больший размах стрелки при резонансе.

Эксперименты, проведенные нами, наглядно подтверждают это положение, особенно для манометров 150 мм (рис. 2).

Величина возмущающей силы ускорения, необходимая для введения манометра в резонанс

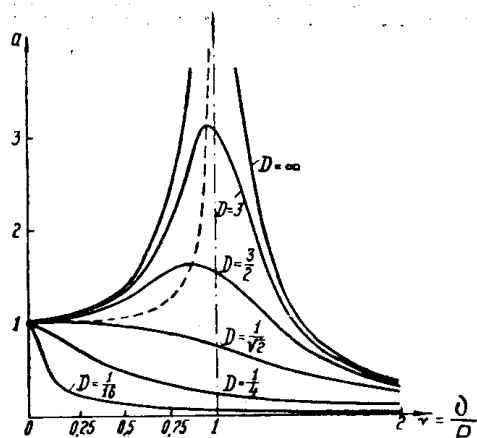


Рис. 3. Графическое изображение зависимости амплитуды колебания от отношения собственных частот при различной добротности манометра

начала резонировать, недостаточно одного совпадения частоты системы с частотой вынужденных колебаний. Очевидно, что чем выше добротность системы, тем большая потребуется возмущающая сила, чтобы данная система начала резонировать.

Нашими опытами установлена зависимость вступления манометра в резонанс от изменения ускорения на стенде.

Оказалось, что чем выше предел измерения, тем большее требуется ускорение, чтобы манометр начал резонировать. Это легко объясняется также тем, что добротность манометра возрастает с ростом предела измерения, т. е. с увеличением жесткости и массы пружины.

Влияние частоты вынужденных колебаний при заданных ускорениях на величину размаха стрелки манометра

Нами было произведено исследование влияния частоты вынужденных колебаний при постоянной величине ускорения на показания манометров. Для чего были взяты манометры с верхним пределом измерения 10, 25, 40, 100 кг/см^2 и подвергнуты вибрации при ускорениях в 1, 2, 3 раза больших, чем ускорения свободного падения тела.

Частота изменялась в пределах от 20 до 350 гц .

Экспериментальные исследования показали, что при вибрации манометры имеют несколько отдельных резонансных точек при частоте вынужденных колебаний, меньшей 150 гц . Причем первые резонансные точки совпадают с ранее полученными.

На основании проведенных экспериментальных исследований считаем возможным сделать следующие выводы:

1. Собственная частота манометров возрастает с ростом верхнего предела измерения.

2. С ростом верхнего предела измерения требуется увеличение ускорения для ввода манометра в резонанс.

3. Найденная экспериментально величина размаха стрелки манометров при частоте вынужденных колебаний в диапазоне от 18 до 350 гц в большинстве случаев превышала допустимые погрешности манометров до шестнадцати раз.

4. Обыкновенные манометры ГОСТ 8625-95 в условиях вибрации работать не могут, так как происходит значительный размах стрелки от непосредственного действия вибрации, достигающей до 20% верхнего предела измерения.

5. Необходимо усовершенствовать конструкцию манометров для работы их на вибрирующих основаниях.

ЛИТЕРАТУРА

- И. Л. Бабаков. Теория колебаний. Физметгиз, 1958.
С. А. Бернштейн. Новый метод определения частот колебаний упругих систем, 1939.
С. А. Бернштейн. Новый метод вычисления частот колебаний и его применение к задачам устойчивости. Труды военной Академии механизации и модернизации, 1940.
С. П. Стрелков. Введение в теорию колебания. Машгиз, 1950.
В. И. Федосеев. Упругие элементы точного приборостроения. Машгиз, 1958.