

БЕГАЕВА Ж. П.

МЕТОДЫ СНИЖЕНИЕ ВИБРАЦИИ ТРУБОПРОВОДОВ

Аннотация. Рассмотрены методы снижения вибрации трубопроводов. Предложена конструкция опоры трубопровода, позволяющая уменьшать частоту собственных колебаний системы за счёт изменения жёсткость опор. В качестве упругих элементов конструкции предложены цельнометаллические упругодемпфирующие элементы, прессованные из спиралей проволоки. Приведены результаты стендовых испытаний модели трубопровода с жёсткой опорой и опорой, имеющей в своей конструкции демпфирующую вставку, что позволяет влиять на величину и форму колебаний трубопроводных систем. Полученные результаты позволяют сделать вывод, что достигнутого снижения частоты собственных колебаний системы вполне достаточно для отстройки трубопровода от резонансных явлений.

Ключевые слова: Подвеска трубопровода; вибрация; упругодемпфирующий элемент; резонанс.

BEGAIEVA Z. P.

THE METHODS OF PIPELINE VIBRATION DECREASE

Abstract. The article deals with the methods of pipeline vibration decrease. The construction of the pipeline support is suggested here. This type of construction enables the decrease of characteristic vibration rate on account of support rigidity change. All-metal resiliently damping elements molded from the wire helix are offered as elastic elements of the construction. The article gives the results of bench tests of the pipeline with the rigid support and the support having a damping embedment which allows the size and the form of pipeline system vibration to be affected. The results of the tests enable us to draw the conclusion that the accomplished decrease in the rate of the characteristic vibration of the system is enough for pipeline grading from resonance phenomena.

Keywords: suspension pipeline; vibration; elastic-damping element; resonance

Системы трубопроводов имеют минимальные уровни вибрации в том случае, если в спектре собственных частот колебаний не будет составляющих (минимально по первым трём модам), совпадающих с частотами возмущающих сил источников вибрации. Теоретически возможно изменять частоту собственных колебаний варьируя массой, т.е. увеличивая инерционность системы, однако практически это заключается в навешивании на трубопровод дополнительных масс и является крайне нерациональным. Наиболее оптимальным является снижение частот собственных колебаний трубопроводов за счет изменения матрицы жесткости трубопроводной системы, составляющими которой являются матрицы жесткости опор

$$k_{\text{Опор}} = \begin{bmatrix} k_x & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & k_y & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & k_z & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & k_\alpha & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & k_\beta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & k_\gamma \end{bmatrix}$$

где k_x, k_y, k_z - линейные жесткости опоры по осям X, Y, Z; $k_\alpha, k_\beta, k_\gamma$ - поворотные жесткости опор относительно осей X, Y, Z.



Изменяя жесткости подвесок трубопровода, можно изменять частоты и формы собственных колебаний всей системы в целом. В реальных системах трубопроводов колебания происходят одновременно по всем направлениям, соответствующим взаимно перпендикулярным плоскостям, т.е. оптимальным было бы использование подвесок, в которых существует возможность автономного изменения их жёсткостей по различным направлениям (Рис.1) Конструктивно такое решение получено заменой резиновых упругих элементов конструкции подвески паропровода на упругодемпфирующие элементы (УДЭ) прессованные из спиралей ультратонкой проволоки [1].

Рис.1 Подвеска с регулируемой жесткостью, содержащая вставки с УДЭ

Технология производства данных элементов позволяет получить конструкции практически любой формы, объёма и упругих свойств (Рис.2)



Рис. 2 УДЭ различной формы

Вследствие нелинейной зависимости силы от деформации для УДЭ [2] возникает возможность менять жесткость каждого упругодемпфирующего элемента в составе подвески.

Практически изменение жёсткости подвески осуществляется путём ввинчивания или вывинчивания регулирующих втулок, что позволяет достигать необходимых деформаций УДЭ. Различным радиальным деформациям будут соответствовать различные жёсткости опор в данных направлениях, что позволяет получать большое разнообразие полей жесткостей подвесок. Разработанная конструкция позволяет получать как одинаковую, так и различную жесткость в различных радиальных направлениях. Этот факт имеет большое практическое значение, т.к. позволяет упростить мероприятия по частотной отстройке от резонансов пространственных трубопроводных систем, с различными формами колебаний в разных плоскостях, т.к. появляется возможность воздействовать на формы колебаний трубопроводных систем.

Испытания проводились на специально собранном стенде, представляющем собой паропровод, изготовленный из стальной трубы с наружным диаметром 170 мм и толщиной стенки 10 мм. Края трубопровода имели жесткую заделку. В ходе эксперимента паропровод испытывал максимальные вибрации на частотах 23,5 Гц и 32 Гц, что соответствует теоретическим расчётным частотам собственных колебаний данной системы. Возбуждение системы осуществлялось скоростным потоком пара интенсивных вибраций на частотах соответствующим резонансным.

В первом случае трубопровод крепился при помощи жёсткой опоры, повторно эксперимент был проведён для опор с УДЭ. Результаты расчётов приведены в таблице.

Отстройка от резонансных колебаний, осуществляемая при помощи предложенной конструкции подвески, задаётся варьированием частот собственных колебаний системы. Поэтому, практический интерес вызывает определение величины изменения диапазона частот собственных колебаний трубопроводных систем путем изменения жесткости опор.

Таблица

Характеристика	Жёсткости подвесок по осям XYZ, Н/м			Частоты собственных колебаний, Гц		Коэффициент демпфирования	
	k_x	k_y	k_z	$\nu_{теор1}/\nu_{эксп1}$	$\nu_{теор2}/\nu_{эксп2}$	$\theta_1 \cdot 10^{-3}$	$\theta_2 \cdot 10^{-3}$
Трубопровод с жёсткой опорой	0	10^8	10^8	25,7/24,2	35,6/32,0	5,5	3,8
Трубопровод с упругими опорами	0	$2,5 \cdot 10^6$	$2,5 \cdot 10^6$	20,5/21,3	32,5/30,6	15,4	8,3

Изменение жесткости опор позволяет изменять частоты собственных колебаний трубопроводных систем в относительно широком частотном диапазоне. Так, если при минимальной жесткости опор наименьшая частота собственных колебаний системы равнялась 21 Гц, то при максимальной жесткости опор эта частота становится равной 41 Гц, т.е. увеличивается на 20 Гц. С практической точки зрения такого изменения частот собственных колебаний вполне достаточно для проведения мероприятий на реальных трубопроводных системах для отстройки их от резонансных колебаний. Стабильность жесткостных и диссипативных характеристик упругодемпфирующих элементов в широком диапазоне температур позволяет избегать возникновения резонансных колебаний на различных режимах работы энергетических установок.

Подвески, штатным режимом работы которых будет работа при высоких температурах, например паропроводы, должны обладать теплоизолирующими свойствами. Использование в конструкциях цельнометаллических опор с УДЭ, позволяет получить не только высокие виброизолирующие, но и хорошие теплоизолирующие свойства [3]. Замена резиновых элементов в составе подвесок на цельнометаллические позволит отказаться от применения асбеста, признанного вредным для здоровья человека.

Список литературы

1. Бегаева Ж. П., Горин С.В. Технология изготовления упругодемпфирующих элементов и их применение для снижения колебаний оборудования и систем атомных энергетических установок. – Перспективные материалы, 2006, №5, с.31-34.
2. Бегаева Ж. П. Экспериментальное исследование зависимости динамической вибрационной жёсткости упругодемпфирующих элементов от их пористости // Вопросы технологии, эффективности производства и надёжности. Выпуск №20.-Северодвинск: НТО судостроителей им. акад. А.Н.Крылова; Севмашвтуз, 2004, с.132-136
3. Бегаева Ж. П. Применение упругодемпфирующих элементов для снижения уровней вибрации и повышения пожарной безопасности энергетических установок и электрооборудования. // Научно- практическая конференция 100 лет Российскому подводному флоту. Сборник докладов (часть 1) 2-4 марта 2006г., г. Северодвинск, с.37-42

ДАнные об авторе

Бегаева Жанна Петровна кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры физики и инженерной защиты среды. Институт морской и арктической техники (Севмашвтуз) филиал САФУ в Северодвинске. Электронная почта: voron_2@mail.ru