

УДК 629.7

РАСЧЁТ ДИНАМИЧЕСКИХ НАПРЯЖЕНИЙ В ПУЧКЕ ТРУБОПРОВОДОВ С ДЕМПИРУЮЩЕЙ ОПОРОЙ ИЗ МАТЕРИАЛА МР

Безбородов С. А.

ПАО «Кузнецов», г. Самара

Снижение уровня вибрационных напряжений является важным условием для обеспечения высокой надёжности двигателя, трубопроводных систем в частности. Целью данной работы является уменьшение погрешности расчёта собственных частот, и амплитуд деформаций пучка трубопроводов с упругодемпфирующей опорой из материала МР (УДО из МР, рис.1). Исследовался пучок из двух трубок из титанового сплава 7М типоразмера 6,2х1,1 мм. Проведён динамический эксперимент на вибростенде и расчёт в частотном диапазоне и с нагрузками, соответствующими эксперименту.

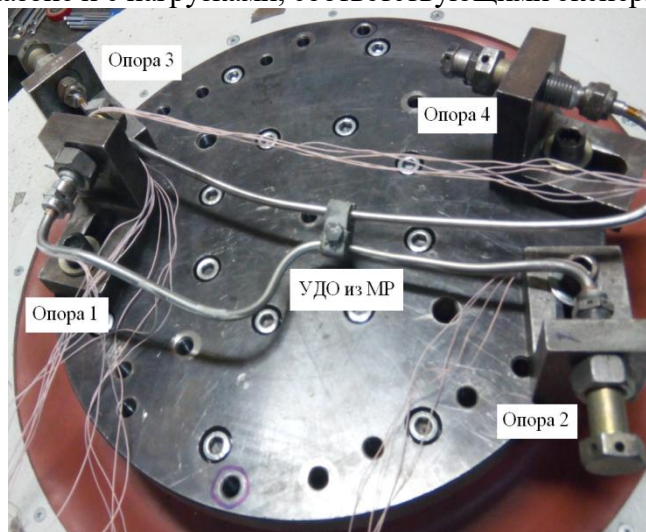


Рис. 1. Пучок трубопроводов с УДО из МР

Построение расчётной модели проводилось в пакете ANSYS. Для создания конечно-элементной модели трубок использовались три варианта конечных элементов: Pipe16; Pipe16 и Pipe18; Solid185. Опоры и хомут с прокладками из МР моделировались конечным элементом Combin14, точечная масса – элементом Mass21.

Параметры материала МР (жёсткость $C=181$ Н/мм и коэффициент рассеивания энергии $\Psi=1,3$) рассчитаны по формулам, полученным при обработке результатов статического эксперимента с тонкими пластинами из материала МР [1]. Характеристики штучерных опор задавались через жёсткость на перемещение (1111 Н/мм) и жёсткость на поворот (1000 Н/рад вокруг осей, лежащих в плоскости, перпендикулярной оси трубки и 150 Н/рад вокруг оси трубки) [2].

Для получения в гармоническом анализе амплитуд колебаний, соответствующих реальному поведению конструкции, необходимо корректно задавать постоянный коэффициент демпфирования. Для его определения предлагается расчетно-экспериментальный метод. Экспериментальной составляющей является определение амплитуды колебаний в контрольной точке при возбуждении на вибростенде одного трубопровода. Замеренная амплитуда колебаний трубопровода в контрольной точке по вертикали составила 0,385 мм при амплитуде колебаний стола вибростенда равной 0,012 мм. Затем проводилась серия гармонических расчётов трубопровода при различных значениях постоянного коэффициента демпфирования (DMPRAT). Целью этих расчетов был подбор такого значения коэффициента демпфирования, при котором

расчётная амплитуда колебаний совпадала с экспериментальной. Проведена аналогия между одним трубопроводом и пучком трубопроводов, и полученное значение коэффициента демпфирования в дальнейшем использовалось для гармонического расчёта пучка трубопроводов.

На вибростенде TIRA проведён динамический эксперимент по определению деформаций, действующих в пучке трубопроводов на резонансе. Испытания проводились по первой форме при ускорении стола вибростенда $W1=40 \text{ м/с}^2$ и растущей от 150 до 200 Гц частоте. Использовались тензорезисторы с базой 3 мм, которые наклеивались в двух взаимноперпендикулярных плоскостях в 5 мм от торцов ниппелей опор. По полученным графикам изменения деформаций определялись максимальные значения амплитуд деформаций на резонансе по формуле:

$$\varepsilon_{\max} = \sqrt{\varepsilon_{1ИЗМ}^2 + \varepsilon_{2ИЗМ}^2},$$

где $\varepsilon_{1ИЗМ}, \varepsilon_{2ИЗМ}$ – амплитуда деформации в контрольном сечении на резонансе по первому и второму тензодатчику в ортогональных направлениях.

Сравнение собственных частот, расчётных и экспериментальных амплитуд деформаций трубопровода в контрольных точках приведено в таблице 1.

Таблица 1. Собственные частоты и амплитуды деформаций пучка трубопроводов на резонансе

	Эксперимент	Pipe16	Погрешность, %	Pipe16 и Pipe18	Погрешность, %	Solid185	Погрешность, %
Частоты, Гц	176,6	175	0,9	175,5	0,6	195,5	10,7
	221,9	219,2	1,2	221,4	0,2	233,9	5,4
	369	347,6	5,8	348,8	5,5	387,6	5,0
Деформация, тензорезисторы №1/2	0,41e-3	0,72e-3	78	0,66e-3	62	0,78e-3	92
Деформация, тензорезисторы №3/4	0,63e-3	0,28e-3	55	0,26e-3	59	0,32e-3	49
Деформация, тензорезисторы №5/6	0,56e-3	0,41e-3	27	0,38e-3	31	0,44e-3	21
DMPRAT		0,0075		0,0075		0,0068	

Из таблицы 3 видно, что наименьшую погрешность по собственным частотам и максимальным амплитудам деформаций на резонансе даёт модель, построенная элементами Pipe16 и Pipe18. Поэтому она является оптимальной для расчёта колебаний пучка трубопроводов. Решающим фактором, влияющим на погрешность по расчётным амплитудам деформаций, является постоянный коэффициент демпфирования DMPRAT. При его определении сделано допущение эквивалентности коэффициентов демпфирования систем, состоящих из одного трубопровода и пучка трубопроводов. Это вносит определённую погрешность в результаты расчёта.

Таким образом, на основе созданной расчётной модели пучка трубопроводов с УДО из МР разработан метод расчёта амплитуд деформаций пучка трубопроводов на резонансе. Метод может быть использован при проектировании и доводке трубопроводных систем.

Библиографический список

1. Уланов А. М., Швецов А. В. Механические характеристики демпферов опор трубопроводов из материала МР /Вестник СГАУ 3(27), Самара: СГАУ, 2011. С. 94-99.
2. Безбородов С. А., Уланов А. М. Определение крутильной жёсткости штуцерных опор для расчета собственных частот трубопровода /Вестник СГАУ, том 14(3), ч.2, Самара, СГАУ, 2015. С. 448-453.