

## РАСЧЁТ НАПРЯЖЁННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ПУЧКА ТРУБОПРОВОДОВ С ДЕМПФИРУЮЩЕЙ ОПОРОЙ ИЗ МАТЕРИАЛА МР

©2016 С.А. Безбородов<sup>1</sup>, А.М. Уланов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Публичное акционерное общество «Кузнецов», г. Самара

<sup>2</sup>Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва

### CALCULATION OF STRESS-STRAINED STATE OF PIPELINES BUNDLE WITH DAMPING SUPPORT MADE OF MR MATERIAL

Bezborodov S.A. (PJSC «KUZNETCOV», Samara, Russian Federation),  
Ulanov A.M. (Samara National Research University  
named after academician S.P. Korolyov, Samara, Russian Federation)

*Has been developed a calculation method for bundle of arbitrary shape pipelines with damping support made of MR material by finite element ANSYS software. The method allows obtaining the amplitude of pipelines vibration and stress in them. Calculation results have been proved by experiment.*

Снижение уровня вибрационных напряжений является важным условием для обеспечения высокой надёжности двигателя. Существенного снижения вибрационных резонансных напряжений в деталях можно достичь за счёт введения конструктивного демпфирования. Поэтому в двигателестроении широкое применение нашла установка промежуточных демпфирующих опор для трубопроводов, в частности с демпфирующим элементом из материала МР.

Целью данной работы является сравнение собственных частот, амплитуд и деформаций, полученных с помощью расчётной модели пучка трубопроводов с упругодемпфирующей опорой из материала МР (УДО из МР), с экспериментальными данными.

Трубопроводы представляют собой пространственные трубки из титанового сплава ПТ-7М, с внешним диаметром 6,2 мм, внутренним диаметром 4 мм. Оба конца трубок имеют штуцерные опоры, моделирующие связь трубопровода с агрегатами двигателя, в средней части трубок установлен хомут шириной 11 мм, в который установлены две прокладки из материала МР. Построение расчётной модели проводилось в пакете ANSYS. Для построения 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.

На вибростенде TIRA проведён динамический эксперимент по определению деформаций, действующих в пучке трубопроводов на резонансе, и перемещений в районе УДО из МР (рис. 1). Испытания проводились на первой собственной частоте при ускорении стола вибростенда  $W1=40$  м/с<sup>2</sup> (перегрузка 4g) и растущей от 150 до 200 Гц частоте. Деформации замерялись тензодатчиками с базой 3мм и сопротивлением 120 Ом.

Тензорезисторы наклеивались в двух взаимноперпендикулярных плоскостях в 5 мм от торцов ниппелей опор. Опоре 2 соответствуют тензорезисторы 3 и 4, опоре 3 – 5 и 6. Нечётная нумерация тензорезисторов соответствует датчикам, наклеенным в горизонтальной плоскости, чётная – в вертикальной. Экспериментальные амплитуды колебаний трубопроводов получены с использованием бесконтактной системы измерения деформаций ARAMIS.

Сравнение собственных частот, расчётных и экспериментальных деформаций трубопровода в контрольных точках приведено в табл. 1, сравнение амплитуд на резонансе – в табл. 2.

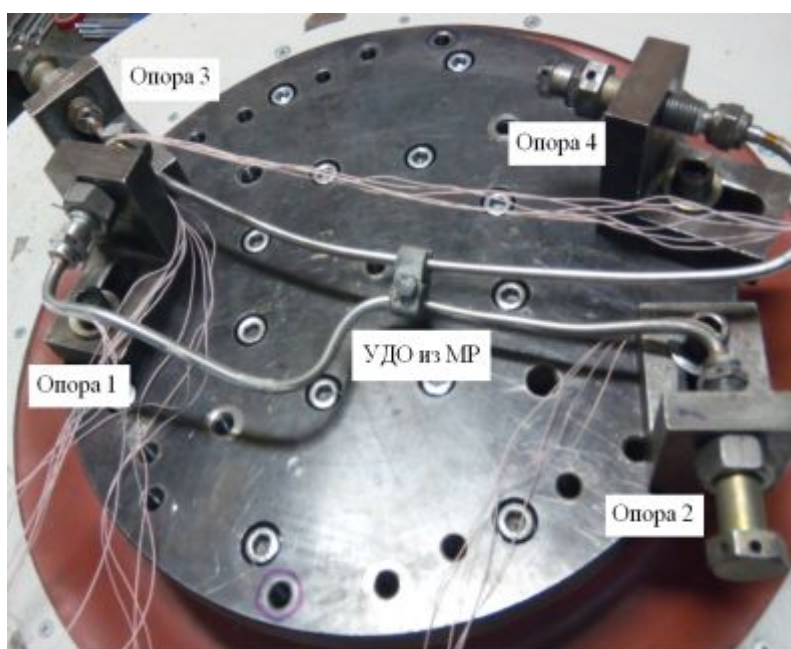


Рис. 1. Пучок трубопроводов с УДО из МР

Таблица 1 – Собственные частоты и деформации 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 №4/3	0,52e-3/ 0,35e-3	0,287e-3/ 0,062e-3	45/ -	0,45e-3/ 0,127e-3	13/64	0,495e-3/ 0,2e-3	5/43
	0,51e-3/ 0,22e-3	0,387e-3/ 0,118e-3	24/46	0,65e-3/ 0,174e-3	27/21	0,69e-3/ 0,08e-3	35/ -

Таблица 2 – Амплитуды колебаний пучка трубопроводов на резонансе, по вертикали /по горизонтали

	Эксперимент	Pipe 16	Погрешность, %	Pipe16 и Pipe18	Погрешность, %	Solid 185	Погрешность, %
Амплитуда колебаний трубопровода №1 около УДО с МР, мм	1,17 / 0,675	0,95 / 0,4	19/ 41	1,48/ 0,613	26/ 9	1,26/ 0,686	8/2
Амплитуда колебаний трубопровода №2 около УДО с МР, мм	1,225 /0,725	1,027 /0,517	16 /29	1,63/ 0,868	33/ 20	1,4/ 0,883	14/22

Таким образом, оптимальной моделью для расчёта колебаний пучка трубопроводов является модель, построенная элементами Pipe16 и Pipe18. Видно, что она даёт наименьшую погрешность по собственным час-

татам – менее 6 %, и максимальным деформациям на резонансе – от 13 до 27%. Погрешность расчёта амплитуд колебаний около УДО с МР составляет от 9 до 33%.