

6. Выработаны рекомендации по использованию упругого и жесткого варианта модели.

7. Исследованы возможности использования сервопривода, элементов дифференциальных механизмов, характерных объемов гидромашин для снижения динамических нагрузок и обеспечения необходимых параметров поворота объекта.

8. Изложенный подход перспективен при разработке и совершенствовании целого класса аналогичных конструкций.

Список литературы: 1. Башта Т.М. Объемные насосы и гидравлические двигатели гидросистем. – М.: Машиностроение, 1982. – 606 с. 2. Беренгард Ю.Г., Гайцгори М.М. К выбору математической модели трубопровода гидросистемы // Машиноведение. – 1978. – № 5. – С. 24-31. 3. Вейц В.Л., Кочура А.Е., Мартыненко А.М. Динамические расчеты приводов машин. – Л.: Машиностроение, 1971. – 352 с. 4. Кисточкин Е.С. Динамическая модель многопоточных бесступенчатых передач с гидрообъемным регулирующим контуром // Машиноведение. – 1978. – № 5. – С. 32-36. 5. Колебания элементов аксиально-поршневых гидромашин // Под ред. Фролова К.В. – М.: Машиностроение, 1973. – 280 с. 6. Попов Д.Н. Нестационарные гидромеханические процессы. – М.: Машиностроение, 1982. – 240 с. 7. Гуськов В.В., Онейко А.Ф. Теория поворота гусеничных машин. – М.: Машиностроение, 1984. – 316 с. 8. Забавников Н.А. Основы теории транспортных гусеничных машин. – М.: Машиностроение, 1975. – 268 с. 9. Пасынков Р.М., Гайцгори М.М. Расчет гидрообъемных трансмиссий с учетом динамических нагрузок // Вестник машиностроения. – 1967. – №10. – С. 48-51. 10. Фаробин Я.Г. Теория поворота транспортных машин. – М.: Машиностроение, 1970. – 268 с.

Поступила в редколлегию 15.04.2006.

УДК 539:534

С.В. КРАСНИКОВ, канд.техн.наук, НТУ «ХПИ»

ИССЛЕДОВАНИЕ ВИБРАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ОПОРНОЙ КОНСТРУКЦИИ ДЛИННОГО ВАЛОПРОВОДА

Розглядаються питання, пов'язані зі створенням іспитових стендів для довгих валопроводів. На основі проведеного аналізу власних коливань різних варіантів системи валопровід-фундамент зроблено рекомендації щодо конструкції іспитового стенду. Математичні моделі та розрахунки виконано на основі методу скінчених елементів.

The problems, related with creation of test bed for lengthy rotor-system are considered. On the basis of the eigen-tones analysis of a several versions of a rotor – base system guidelines on a construction of the test bed are made. The mathematical models and calculations are executed on the basis of finite elements method.

Оборудование большинства энергетических станций на территории стран СНГ, уже давно исчерпало свой проектный ресурс и требует замены или модернизации [1,2]. Среди этого оборудования большой износ имеют валопроводы компрессоров, работающие в условиях повышенной вибрационной нагрузки и подверженных воздействию радиации. Длины этих валопроводов составляют более 10 м. Изготовление валопроводов большой длины связано с проведением их испытаний на стендах заводов [3]. Создание таких

стендов является актуальной и важной задачей.

Проектирование испытательных стендов длинных валопроводов осложняется следующим фактором. Реальная опорная конструкция является частью железобетонного здания высотой 20 м и толщинами стен не менее 0,8 м. Создание подобной конструкции в качестве испытательного стенда экономически не выгодно. Рамная конструкция стенда даже из стальных балок круглого поперечного сечения диаметром 0.5 м имеет жесткости опор валопровода на порядок меньше, чем у реальной опорной конструкции [4]. Учитывая стоимость изготовления такого стенда следует, что создание рамного стенда с жесткостями опор эквивалентными реальной опорной конструкции экономически не выгодно. Проведенные ранее исследования также показали, что указанная выше рамная конструкция стенда наибольшей жесткости и все рассмотренные ее варианты имеют три собственных частоты до рабочей частоты вращения ротора, а все собственные частоты реальной опорной конструкции значительно ее превышают [4]. В связи с этим становится актуальной задача проектирования рамной конструкции стенда с минимальным количеством собственных частот до рабочей частоты вращения валопровода и максимальной отстройкой от возможного резонанса.

Для проведения исследований были построены геометрические и конечно-элементные модели валопровода с диском компрессора. Валопровод является системой из труб и диска компрессора, поэтому для моделирования использовались стержневые и оболочечные конечные элементы. Конечно-элементная (КЭ) модель валопровода (рис. 1) была построена в двух вариантах: из сплошных труб и труб с диаметром внутреннего отверстия 40мм. Характеристики моделей: 78 конечных элементов, 71 узел, 305 степеней свободы. Для анализа собственных частот и форм валопровода в местах установки подшипника добавлено по 2 жесткостных стержневых конечных элемента, которые расположены перпендикулярно друг к другу и к валопроводу. Жесткостные характеристики этих конечных элементов взяты из расчетов податливости фундамента с трубами 377x30 [4].

Проведены расчеты собственных частот и форм двух вариантов валопровода. Полученные собственные частоты приведены в табл. 1.

Из табл. 1 видно, что первые собственные частоты валопроводов примерно в два раза превышают рабочую частоту, то есть валопровод в любом из вариантов является жестким. Также видно, что различия собственных частот двух вариантов валопровода незначительно.

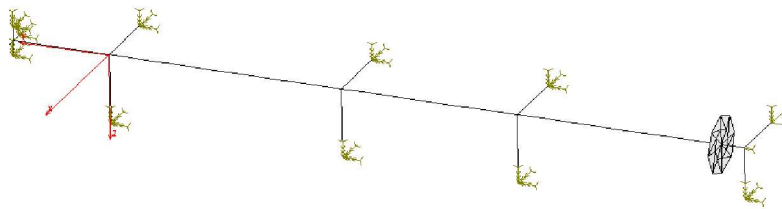


Рисунок 1 – КЭ модель валопровода

Таблица 1 – Собственные частоты валопровода (Гц)

№	КЭ модель валопровода, наружный диаметр 190 мм	1	2	3
1	Сплошной	19,81	22,08	22,2
2	Полый, внутренний диаметр 40 мм	19,82	22,38	22,44

На основе разработанной КЭ модели валопровода и КЭ модели фундамента из работы [4] были построены КЭ модели системы фундамент-валопровод со следующими характеристиками: 2504 конечных элементов, 1961 узлов, 11741 степеней свободы. КЭ модели системы отличаются вариантом валопровода (1 – сплошной, 2 – полый, см. табл. 1), размерами труб фундамента, конструкциями фундамента – однородной (из одинаковых труб) и комбинированной (верхняя часть из труб одного размера, нижняя – из труб другого размера).

Были проведены расчеты собственных частот и форм, результаты представлены в табл. 2 и на рис. 2.

Таблица 2 – Собственные частоты системы фундамент-валопровод (Гц).

№ модели системы	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
№ модели валопровода	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	2	
Размер труб верхн. части фундамента	377	377	377	377	377	377	377	377	377	377	377	377	377	
	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
Размер труб нижн. части фундамента	30	30	20	20	10	10	10	10	20	20	377	377	377	
											x	x	x	
Заполнение труб бетоном	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	-	-	-	
№	№ рис.													
1		5,9	5,9	5,6	5,6	4,8	4,8	4,2	4,2	4,6	4,6	5,2	5,2	4,2
2		6,9	6,9	6,5	6,5	5,6	5,6	5,0	5,0	5,4	5,4	6,1	6,1	4,9
3	2 слева	9,5	9,5	9,6	9,6	9,5	9,5	7,0	7,0	7,3	7,3	10,8	10,8	10,2
4	2 справа	13,7	13,7	13,6	13,6	13,1	13,1	9,4	9,4	10,1	10,1	14,2	14,2	13,7
5		15,2	15,2	15,0	15,0	14,3	14,4	10,4	10,4	11,2	11,2	15,5	15,6	14,5
6		21,5	21,8	21,3	21,5	18,6	18,6	16,3	16,3	18,5	18,6	19,2	19,2	14,7
7		21,8	22,1	21,6	21,9	20,5	20,7	17,5	17,5	20,4	20,5	21,2	21,4	19,4
8		23,0	23,0	23,3	23,3	20,9	21,1	19,5	19,6	23,0	23,2	21,6	21,8	19,6
9		25,9	25,9	23,4	23,4	23,4	23,4	21,5	21,5	23,4	23,4	23,2	23,2	21,3

Из табл. 2 видно следующее:

- различие спектров собственных частот систем валопровод-фундамент с полым и сплошным валопроводом практически отсутствуют;
- заполнение труб бетоном приводит к увеличению собственных частот

до рабочей частоты вращения валопровода 9,9 Гц, кроме этого не приводит к увеличению дистанции рабочей частоты от ближайшей собственной частоты системы;

- использование комбинированной конструкции фундамента (с различными размерами труб верхней и нижней части) приводит к уменьшению количества собственных частот до рабочей частоты 9,9 Гц (две частоты вместо 3-х) и увеличению дистанции между ближайшей собственной частотой системы и рабочей частотой вращения валопровода.

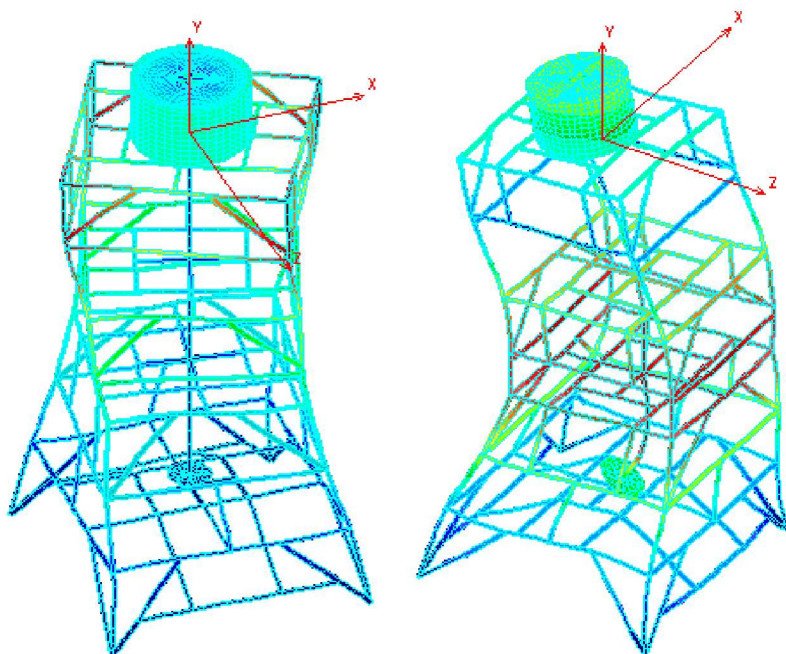


Рисунок 2 – Собственные формы колебаний системы фундамент-валопровод.

Первые две собственные формы колебаний системы валопровод-фундамент характеризуются изгибными деформациями (колебания вдоль осей Z (1-я), X (2-я)) и подобны первой изгибной собственной форме стержня жестко заземленного с одной стороны и со свободным концом на противоположной.

Третья собственная форма колебаний системы (рис. 2 слева) подобна кручению стержня. Она практически не приводит к деформированию валопровода, поэтому является наиболее допустимой для испытательного стенда.

Четвертая (рис. 2 справа) и пятая собственные формы характеризуются изгибными деформациями, подобны второй изгибной собственной форме консольно закрепленного стержня. Среди рассмотренных форм колебаний эти собственные формы колебаний наиболее опасны, поскольку приводят к наибольшему деформированию валопровода.

Из анализа собственных форм колебаний следует:

- заполнение труб фундамента бетоном приводит к появлению вблизи рабочей частоты 9,9 Гц двух собственных частот с наиболее опасными собственными формами колебаний (четвертая и пятая), что нежелательно;
- в конструкции без заполнения труб бетоном ближайшей к 9,9 Гц собственной частоте системы соответствует третья собственная форма колебаний (крутильная), которая является наименее опасной для валопровода.

Проведенное исследование собственных частот и форм различных вариантов системы валопровод-фундамент позволяет сделать следующие выводы:

- заполнение труб фундамента бетоном приводит к увеличению количества собственных частот до рабочей частоты вращения валопровода и появлению вблизи нее собственных частот с наиболее опасными формами колебаний, поэтому использование подобного заполнения не рекомендуется;
- использование комбинированной конструкции фундамента вместо однородной приводит к уменьшению количества собственных частот до рабочей частоты;
- среди рассмотренных вариантов системы валопровод-фундамент наилучшей является конструкция с полым валопроводом и комбинированным фундаментом (табл. 2, № 12).

Список литературы: 1. *Богомолов С.И., Журавлева А.М.* Колебания сложных механических систем. – Харьков: Вища школа, 1978. – 136 с. 2. *Штромберг Ю.Ю., Понасечкин С.А., Колсов А.Я.* Показатели работы отечественных теплотехнических блоков мощностью 300 МВт // Электрические станции. – 2000. – № 2. – С. 2-4. 3. *Абашидзе А.И., Сапожников Ф.В., Казанджян А.Т.* Фундаменты машин тепловых электростанций. – М.: Энергия, 1975. – 256 с. 4. *Красников С.В.* Моделирование опорной конструкции длинного валопровода // Вісник НТУ «ХП». – 2005. – № 20. – С. 121-124.

Поступила в редколлегию 30.08.2006.

УДК 539.3

Л.В.КУРПА, докт.техн.наук; *Е.И.ЛЮБИЦКАЯ*, НТУ «ХПИ»

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАКРИТИЧЕСКОГО ПОВЕДЕНИЯ ОРТОТРОПНЫХ ПОЛОГИХ ОБОЛОЧЕК СЛОЖНОЙ ФОРМЫ В ПЛАНЕ

Досліджено геометрично нелінійну поведінку пологих оболонок, виконаних із ортотропних матеріалів, які знаходяться під впливом поперечного навантаження. Пропонується метод лінеаризації нелінійних рівнянь та визначення верхнього та нижнього критичного навантаження, який базується на поєднанні варіаційних методів та теорії R-функцій. Алгоритм застосовано для дослідження ортотропної сферичної пологої оболонки складної форми в плані. Тестові результати для ізотропного матеріалу порівняно із наведеними в літературі.