DOI: 10.17117/na.2016.07.01.389

<http://ucom.ru/doc/na.2016.07.01.389.pdf>

Поступила (Received): 04.07.2016

Ильичев В.Ю.
Метод расчёта колебаний валопроводов,
соединённых муфтами

Ilichev V.Yu.
Method of calculation of fluctuations of shaft
lines connected by couplings

Описаны методы расчёта колебаний простых валопроводов. Предложен метод расчета колебаний любых валопроводов

Ключевые слова: ротор, валопровод, колебания, роторная система

Methods of calculation of fluctuations of simple shaft lines are described. The method of calculation of fluctuations of any shaft lines is offered

Key words: rotor, shaft line, fluctuations, rotor system

Ильичев Владимир Юрьевич

*Кандидат технических наук, доцент
Московский государственный технический
университет им. Н.Э. Баумана (филиал)
г. Калуга, ул. Баженова, 2*

Ilichev Vladimir Yurievich

*Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
Moscow state technical university named N.E.
Bauman (branch)
Kaluga, Bagenova st., 2*

Роторы являются неотъемлемыми элементами большого количества валопроводов промышленных установок. Они служат для передачи крутящего момента на привод основного или вспомогательного оборудования.

Вместе с тем роторы являются основным источником вибрации, причинами которой являются дисбаланс, конструктивные несовершенства и дефекты, возникшие в процессе монтажа и эксплуатации, а также специфические для роторных систем неконсервативные силы, приводящие к автоколебаниям.

Роторы соединяют с помощью двух типов муфт: жёсткие и подвижные. Как показывает практика работы валопроводов, муфты являются интенсивным источником вибрации. Однако механизм возникновения вибраций в соединительных муфтах на данный момент исследован недостаточно: не существует метода расчёта роторных систем, соединённых подвижными муфтами, а методики расчёта валопроводов с жёсткими муфтами не учитывают несоосности (расцентровки) валов и позволяют рассчитывать только сравнительно простые системы роторов.

При исследовании вибраций валопроводов решают следующие задачи:

- расчёт критических скоростей;
- определение границ устойчивой работы;
- расчёт вынужденных колебаний (амплитуд колебаний различных частот ротора под действием внешних нагрузок).

Целью данной работы является разработка современного метода расчёта вынужденных колебаний валопроводов, соединённых различными типами муфт при наличии смещений валов.

Задачи вычисления параметров вынужденных колебаний роторных систем ранее решали приближёнными методами (методы Рэлея, Ритца, Бубнова-Галеркина и др.). Использование ЭВМ позволило применять более точные численные методы, например, метод динамических жёсткостей, метод начальных параметров и др. Эти методы основаны на составлении и решении матричных уравнений, включающих в себя характеристики роторов, разбитых на участки.

Метод динамических жёсткостей применяют в том случае, когда система валопровода может быть легко разбита на подсистемы, поведение которых известно при задании гармонических перемещений. Суть метода состоит в том, что систему условно расчленяют на достаточно простые части. В местах расчленения системы снимают условия сопряжения обобщённых динамических сил. Рассматриваемый валопровод разбивают на ряд элементов, границами которых являются сечения расположения дисков, сечения опор, пояса жёсткости и т.п. В сечениях сопряжения рассматриваемого и смежного элементов прикладывают единичные возбуждающие силы с частотой ω и направлением вращения как у базового ротора, а затем определяют перемещения сечений. Эти перемещения называют динамическими податливостями. Действительные перемещения определяются из условий сопряжения динамических обобщённых сил.

Метод начальных параметров сводится к определению линейных и угловых перемещений под действием системы приложенных сил и моментов и к определению изгибной (поперечной) жёсткости ротора, что позволяет найти его критическую частоту.

Валопровод представляют в виде связанных элементов: стержней, точечных масс, дисков, шарниров, опор [2]. Каждый элемент характеризуется четырьмя величинами: прогибом y , углом поворота сечения φ , изгибающим моментом M , перерезывающей силой Q . Амплитуды этих величин составляют четырёхмерный вектор

$$X = (y, \varphi, M, Q) \quad X = (y, \varphi, M, Q).$$

Матричное уравнение перехода от одного элемента (i) к следующему ($i+1$) имеет вид:

$$X_{i+1} = NX_i \quad X_{i+1} = NX_i,$$

где N – матрица перехода (включает в себя определённые физические свойства элемента – податливости, массы, размеры и др. – в зависимости от вида элемента [2, с.296]).

Начальные условия в нулевом сечении первого элемента находят из условий закрепления и нагружения. Два параметра четырёхмерного вектора каждого элемента являются неизвестными (как правило, это прогибы и углы поворота). Другие два параметра либо известны, либо равны нулю.

Неизвестные параметры находят из решения матричного уравнения, составленного по всем элементам.

В настоящее время для расчёта сложных механических систем наиболее часто применяется метод конечных элементов (МКЭ).

МКЭ основан на следующих принципах [3]. Деталь разбивают на элементы простой формы: призмы, тетраэдры и другие многогранники. Смещения в некоторых точках элементов (узлах) принимают в качестве искоемых величин. В каждом из элементов произвольно выбирают вид аппроксимирующей функции. Коэффициенты аппроксимирующих функций обычно находят из условия равенства значения соседних функций на границах между элементами (в узлах). Затем эти коэффициенты выражают через значения функций в узлах элементов. Составляется система линейных алгебраических уравнений. Количество уравнений равно количеству неизвестных значений в узлах, на которых ищется решение исходной системы, прямо пропорционально количеству элементов и ограничивается только возможностями ЭВМ.

Существует множество программных продуктов, основанных на использовании МКЭ, позволяющих рассчитывать перемещения, деформации, напряжения и другие параметры систем практически любой степени сложности. Наиболее перспективным является применение МКЭ, реализованного в таких системах трёхмерного анализа как SolidWorks, Ansys, Nastran и т.п.

Цель описываемой научной работы – применить описанные методы к расчёту валопроводов, роторы которых соединены муфтами, являющихся источником колебаний из-за наличия в них относительных смещений.

Суть предлагаемой методики заключается в следующем. Валопровод разделяют на отдельные роторы, а их взаимное влияние учитывают силами и моментами, действующими на концы валов в месте их соединения. Выражения для этих сил и моментов выведены в [4] для различных типов соединительных муфт.

Выражения для сил и моментов, возникающих в муфтах при расцентровках осей валов, содержат значения податливостей концов валов при действии на них единичных сил и моментов. Податливости реальных валов в настоящее время целесообразнее всего находить с применением программ, основанных на МКЭ.

Таким образом, можно решить задачу вынужденных колебаний роторов, возникающих при расцентровках соединяемых валов, для роторной машины практически любой степени сложности. Для опробования методики предполагается произвести расчёт валопровода силовой части газоперекачивающего агрегата ГТК-25М, роторы которого соединены подвижной муфтой.

Список используемых источников:

1. Заляев Р.Р. Повышение вибрационной надёжности двухконсольных роторов турбомашин. Диссертация на соискание учёной степени к.т.н. Казань, 2007. 193 с.
2. Диментберг Ф.М., Колесников К.С. Вибрации в технике. Т. 3: Колебания машин, конструкций и их элементов. М.: Машиностроение, 1980, 544 с.
3. Костюк А.Г. Динамика и прочность турбомашин. 3-е изд. М.: Издательский дом МЭИ, 2007, 467 с.
4. Ильичев В.Ю. Исследование влияния конструкции соединительных муфт на динамику роторных систем турбоагрегатов. Диссертация на соискание учёной степени к.т.н.. Калуга, 2002, 160 с.