УДК 621.313.13

ВЛИЯНИЕ РЕЗОНАНСНЫХ СВОЙСТВ БОЛТОВ НА РЕЗУЛЬТАТЫ ВИБРОКОНТРОЛЯ

А.О. Грабилин, Б.И. Зубренков, А.В. Шматков
(*ФГУП «НПП ВНИИЭМ»*)

Рассматриваются резонансные свойства болтов, соединяющих опорные поверхности, лапы и фланцы электрических машин специального назначения, и их влияние на результаты виброконтроля. Проведены испытания на макетном образце. Даются результаты измерений. Установлено, что при проведении виброконтроля в высокочастотном диапазоне резонансные свойства болтов следует учитывать как систематическую погрешность измерений при оценке виброактивности машины.
Ключевые слова: *электрические машины, вибрация, виброконтроль, измерительные болты.*

При проведении виброконтроля электрических машин специального назначения в ряде случаев предусмотрено измерение вибраций на головках болтов, соединяющих их опорные поверхности, лапы и фланцы с амортизаторами. Измерение вибраций, как правило, в этих случаях производится как вдоль оси болтов, так и в поперечных направлениях.

Для такого рода работ используются специальные измерительные болты с головками, позволяющими устанавливать на них акселерометры, а также проводить затяжку болтов.

Примеры конструктивных исполнений измерительных болтов представлены на рис. 1. На поверхностях головок сделаны отверстия для установки акселерометров, а верхняя часть головок предназначена для затяжки болтов.

Практика виброконтроля двигателей показала, что в высокочастотном диапазоне свыше 4000 Гц наблюдаются отличия в уровнях вибраций на головках болтов и в местах их установки на опорных поверхностях. Особенно существенны эти отличия в направлениях, перпендикулярных осям болтов.

На рис. 2 представлен фрагмент двигателя вертикального исполнения массой 400 кг, который установлен на амортизаторах АКСС60М. Каждый из амортизаторов соединяется болтом № 3 (см. рис. 1) с опорной поверхностью – фланцем двигателя. В табл. 1 приведены результаты измерения вибраций при работе двигателя в высокочастотном диапазоне.

Из представленных результатов можно видеть, что в полосах частот свыше 4000 Гц уровни вибраций на головках болтов выше, чем на фланце на 6 – 10 дБ. Учитывая, что одной из целей виброконтроля является оценка виброактивности двигателей, такие отличия являются существенной систематической погрешностью. Именно в высокочастотном диапазоне очень сложно выполнить предъявляемые требования по вибрациям, что требует дополнительных исследований.

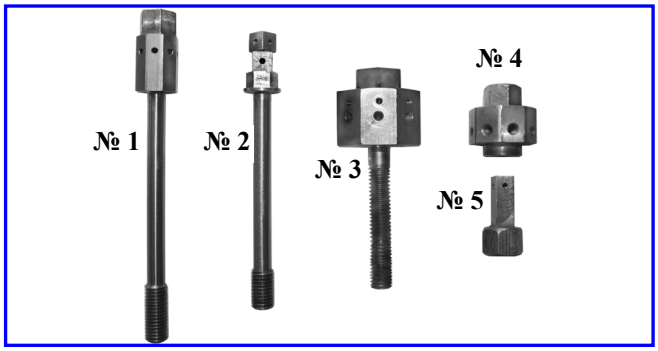

Рис. 1. Типы конструктивных исполнений виброизмерительных болтов

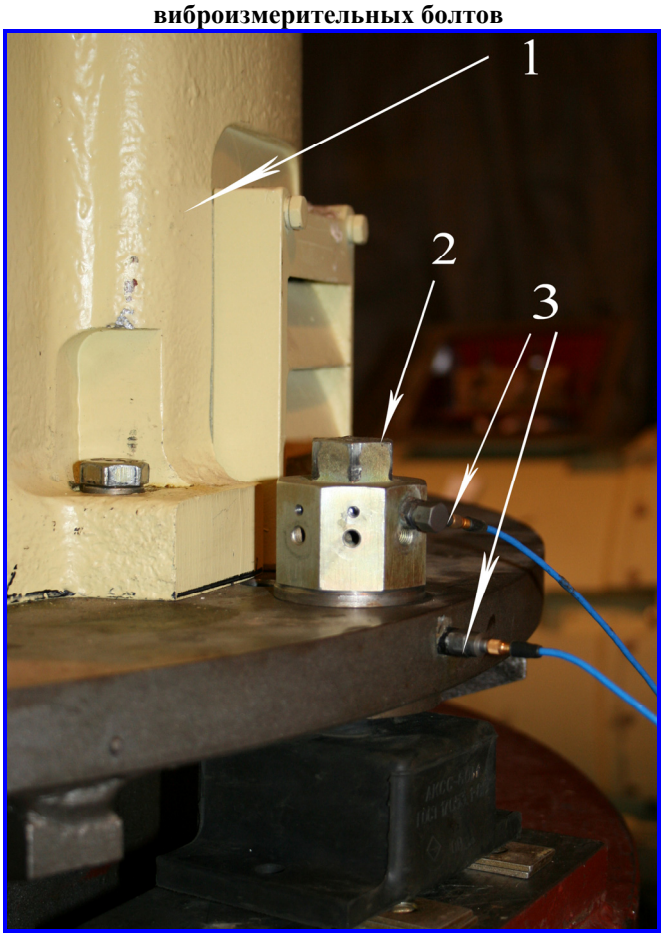

Рис. 2. Фрагмент двигателя с амортизаторами АКСС60М: *1* – двигатель; *2* – измерительный болт; *3* – акселерометры

Таблица 1

Уровень вибрации, дБ

Место измерений	Среднегеометрические частоты для 1/3 октавных полос, кГц				
	4	5	6,3	8	10
Болт	74	78	75	75	74
Фланец	72	68	69	69	71

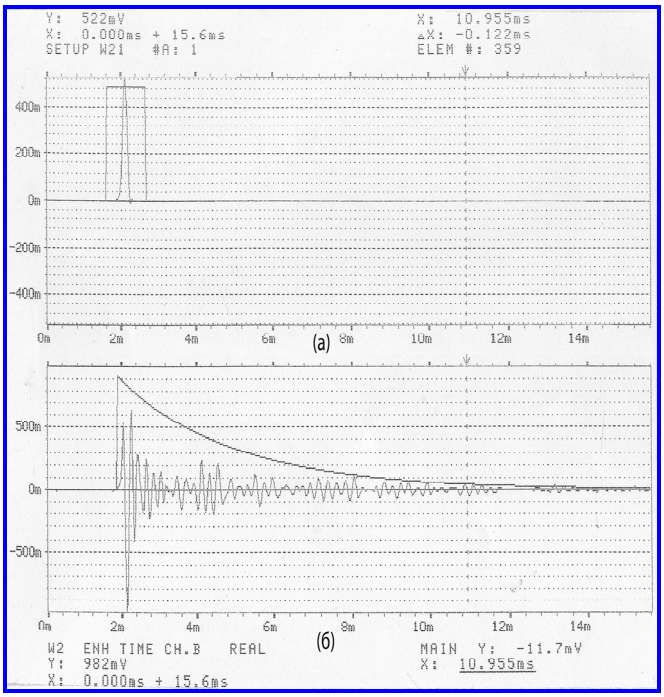

Рис. 3. Осциллограммы возбуждающего импульса (*а*) и отклика свободных колебаний головки болта (*б*)

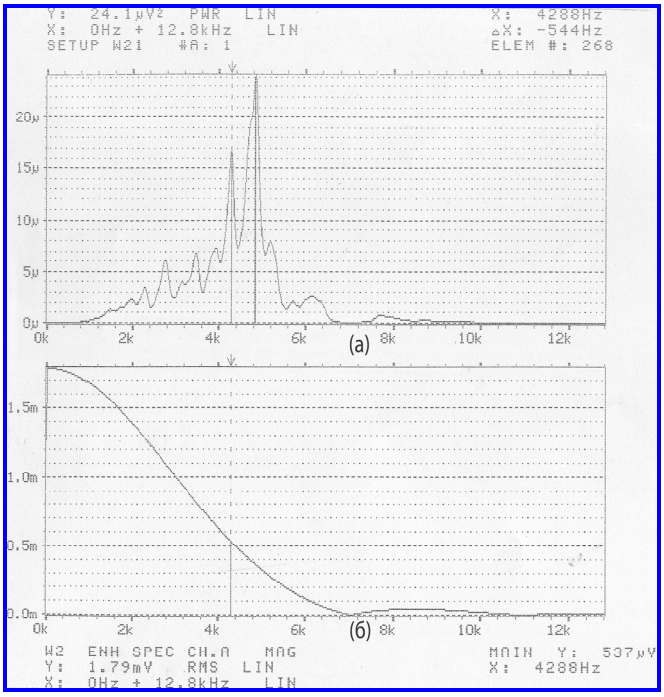

Рис. 4. Спектры отклика (*а*) и возбуждающего импульса (*б*)

Чтобы дать оценку подобному роду явлений, были выполнены следующие работы.

На двигателе с помощью ударного молотка возбуждались свободные колебания головки болта в поперечном направлении. Возбуждающий импульс контролировался с помощью датчика силы, встроенного в молоток. Направление импульсного воздействия совпадало с направлением главной оси чувствительности акселерометра. Сигналы с датчика силы и акселерометра обрабатывались на анализаторе 2034.

На рис. 3 представлены осциллограммы возбуждающего импульса и отклика свободных колебаний головки болта.

На рис. 4 представлены соответствующие спектры отклика и импульса.

Из этого примера можно видеть, что именно в диапазоне частот 4 – 6 кГц имеются ярко выраженные резонансные составляющие 4288 и 5832 Гц. Они и явились причиной повышенных вибраций на головке болта по сравнению с фланцем. Такого рода факты показывают, что оценка виброактивности двигателей в высокочастотном диапазоне связана с методикой измерений и завышает истинные оценки.

С целью исследования влияния условий установки болта была проведена работа на макетном образце, имитирующем испытуемое изделие, но исключающее его собственные резонансные свойства.

Макетный образец состоял из стальной болванки массой 32 кг (рис. 5, *а*), в которой были сделаны резьбовые отверстия для измерительных болтов, применяемых при виброконтроле двигателей. Ударные воздействия и вибрации измерялись в поперечном направлении относительно осей болтов.

Болты различного исполнения (см. рис. 1) заворачивались в резьбовые отверстия макета с моментами затяжки, которые контролировались динамометрическим ключом. На головках болтов устанавливались акселерометры в поперечных направлениях. Возбуждение проводилось и регистрировалось вышеприведённым способом анализатором 2034.

На рис. 6 приведены типичные осциллограмма и спектр виброускорений, полученные при этих испытаниях на головках болтов.

В табл. 2 представлены результаты обработки осциллограмм и спектров при испытаниях различных конструкций болтов. Кроме собственных частот в табл. 2 приведены добротности колебательных процессов, найденные по спектрам, где это представлялось возможным.

а ***б***

Рис. 5. Исследования на макете: *а* – без промежуточных элементов; *б* – с имитатором амортизатора

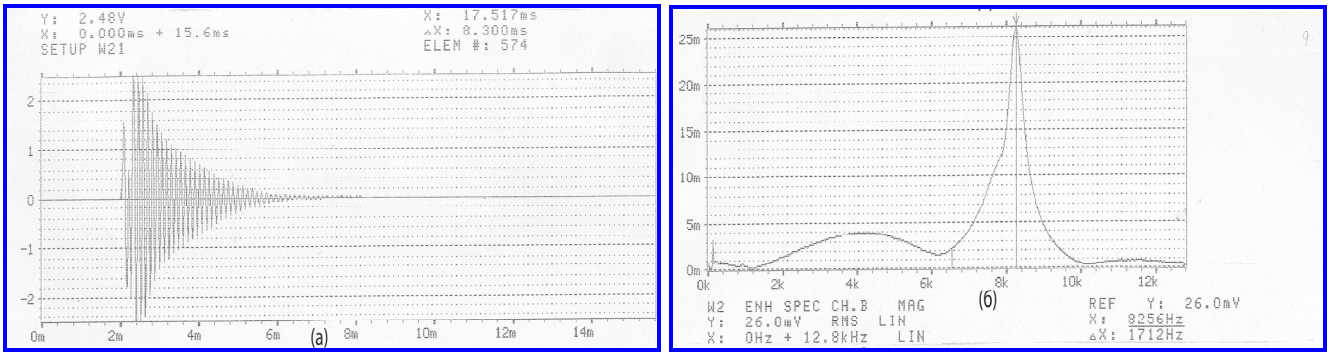

Рис. 6. Осциллограмма и спектр отклика свободных колебаний головки болта

Таблица 2

Собственные частоты, кГц / добротности колебаний, о.е.

Болт	Момент затяжки болта, Н·м								
	25	30	40	45	50	55	60	70	80
№ 1		7,68/30	8,26/23		8,69/30		9,09/25	9,33/26	9,41/28
			8,27/23		8,61/20				
№ 2		6,82/18	6,82/15	6,77/26	6,78/30	6,88/23	6,91/32	7,0/37	
		6,7/26	6,77/25						
№ 3			8,29/16		8,38/28				
№ 3 с имитатором амортизатора	2,9				3,6				
Двигатель в штатной установке с болтом № 3								4,29/29	
								5,83/23	

С целью приближения результатов испытаний на макете к реальным условиям работы болтов между болванкой и головкой болта был установлен стальной аналог амортизатора (рис. 5, *б*). Результаты измерений также приведены в табл. 2.

Анализ полученных результатов

При импульсном возбуждении проявляются высокочастотные быстрозатухающие колебания. Добротности составляют величины 15 – 30, что на порядок ниже добротностей конструктивных элементов электродвигателей: фланцев, корпусов и т. д.

С увеличением момента затяжки собственные частоты возрастают, что связано с увеличением сил трения в контакте.

Собственные частоты в реальных конструкциях существенно ниже, чем на макете.

Можно рекомендовать при проведении виброконтроля двигателей определять резонансные зоны для болтов. Такая необходимость может возникнуть при высоких уровнях высокочастотных вибраций, если они превышают допустимые требования.

Существенным моментом виброконтроля является выбор оптимальных моментов затяжки болта. Можно рекомендовать моменты затяжек, руководствуясь величинами, принятыми в машиностроении [Справочник машиностроителя. – Т. 4. – М. : 1956, таблица 29]. Превышение затяжки на 40 – 60 % от максимальных значений может привести к необратимым деформациям резьбового соединения.

По своему характеру вибрационные процессы при допустимых затяжках близки к нормальным формам колебаний с большим затуханием, а при превышении максимальных моментов затяжки – к комплексным формам, где собственная частота определяется трением.

При проведении виброконтроля в высокочастотном диапазоне резонансные свойства болтов следует учитывать как систематическую погрешность измерений при оценке виброактивности машины.

Поступила в редакцию 22.09.2011

***Александр Олегович Грабилин**, инженер.*
***Борис Иванович Зубренков**, канд. техн. наук, начальник сектора.*
***Александр Валентинович Шматков**, начальник лаборатории.*
Т. (495) 366-21-01, e-mail: dep18@rol.ru.