

В.М.Вуль, В.И.Попков, В.К.Агафонов, В.С.Бакланов

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДВИГАТЕЛЯ,
СТЕНДА И ОБЪЕКТА В МЕСТАХ ОПОРНЫХ СВЯЗЕЙ

Приемка двигателей по вибрационным характеристикам производится в стендовых условиях. Отмечена тенденция изменения уровня вибраций двигателя при установке его на объект. Поэтому при определении уровня виброактивности двигателя необходимо учитывать комплекс связей (как опорных, так и неопорных) двигателя с конструкцией стенда или объекта.

Рассмотрим динамику совместной работы системы двигатель-подвеска-основание в условиях стенда и объекта. Общее уравнение вынужденных колебаний такой системы для звукового диапазона частот можно получить, используя в качестве коэффициентов пропорциональности между колебательными силами и скоростями (перемещениями) механические сопротивления и податливости исследуемых конструкций.

Применительно к системам, находящимся в состоянии стационарных синусоидальных колебаний, под механическим сопротивлением понимают комплексное отношение силы, приложенной к линейной механической системе, к скорости или перемещению, вызванному этой силой. Механическая податливость по величине обратна механическому сопротивлению. При m числе участков контакта и с учетом всех шести составляющих вибрации динамика системы двигатель-подвеска-основание может быть описана уравнениями вида [1]

$$\sum_{u=1}^{m} \sum_{z=1}^6 Q_z^u(\omega) M_{z i o}^u(\omega) = \dot{q}_i^n(\omega) + \sum_{k=1}^m \sum_{j=1}^6 M_{j i o}^{k n}(\omega) \sum_{p=1}^m \sum_{\varphi=1}^6 \dot{q}_p^p(\omega) Z_{\gamma_i \alpha \varphi}^{p k}(\omega),$$

где $Q_z^u(\omega)$ - гармоническая сила, действующая в источнике колебаний (двигателе), направленная вдоль вектора z и приложенная в точке u ; $\dot{q}_i^n(\omega)$ - возбуждаемая силой вибрация в n -ом участке контакта двигателя с опорными и неопорными связями в i -ом направлении; $M_{z i o}^u(\omega)$ - переходная податливость свободного двигателя от места действия силы в точке u до n -ого участка кон-

такта с опорными и неопорными связями; $M_{jio}^{Kn}(\omega)$ - податливость конструкции свободного двигателя между участками контакта с опорными и неопорными связями; $Z_{\gamma ia \varphi}^{PK}(\omega)$ - сопротивление опорных и неопорных связей.

При перестановке двигателя со стенда на объект нет необходимости учитывать особенности взаимодействия сил, возникающих в рабочих элементах, с конструкцией двигателя.

В этом случае двигатель можно рассматривать как систему с неизменными динамическими характеристиками конструкции и постоянной матрицей действующих сил при фиксированном режиме работы, т.е. для определенной частоты, а изменяемыми являются только характеристики опорных и неопорных связей, т.е. условия закрепления двигателя на стенде и объекте.

При однонаправленных колебаниях, что действительно для шарнирных подкосов крепления двигателя на стенде или объекте, и динамической независимости каждого узла крепления, соотношение между колебательной скоростью и динамической силой со стороны двигателя в n -ом узле крепления и направлении i -ого подкоса можно привести к следующему виду:

$$Q_i^n(\omega) = \dot{q}_i^n(\omega) [Z_{ii g\delta}^{nn}(\omega) + Z_{ii cm}^{nn}(\omega)]$$

при установке двигателя на стенде,

$$Q_i^n(\omega) = [\dot{q}_i^n(\omega)]' [Z_{ii g\delta}^{nn}(\omega) + Z_{ii o\delta}^{nn}(\omega)]$$

при установке двигателя на объекте.

В обоих случаях имеется в виду установка на жестких подкосах, где $\dot{q}_i^n(\omega)$ и $[\dot{q}_i^n(\omega)]'$ - величины виброскорости в n -ом узле крепления двигателя в направлении i -ого подкоса при установке его на стенде и объекте соответственно; $Z_{ii g\delta}^{nn}(\omega)$; $Z_{ii cm}^{nn}(\omega)$; $Z_{ii o\delta}^{nn}(\omega)$ - механические сопротивления соответственно двигателя, стенда и объекта в n -ом узле крепления в направлении i -ого подкоса; $Q_i^n(\omega)$ - величина приведенной динамической силы со стороны двигателя в районе n -ого узла крепления в направлении i -ого подкоса, выражаемая соотношением

$$Q_i^n(\omega) = \left[\sum_{u=1}^w \sum_{\tau=1}^6 \dot{Q}_{\tau}^u(\omega) \cdot M_{iio}^n(\omega) \right] [M_{ii}^{nn}(\omega)]^{-1}$$

Эта величина определяется динамическими характеристиками двигателя и не зависит от установки его на стенде или объекте.

Тогда соотношение виброскоростей в n -ом узле крепления при перестановке его со стенда на объект можно выразить как

$$\frac{[\dot{q}_i^n(\omega)]'}{\dot{q}_i^n(\omega)} = \frac{Z_{ii\text{gb}}^{nn}(\omega) + Z_{ii\text{cm}}^{nn}(\omega)}{Z_{ii\text{gb}}^{nn}(\omega) + Z_{ii\text{ob}}^{nn}(\omega)} \quad (1)$$

или через податливости

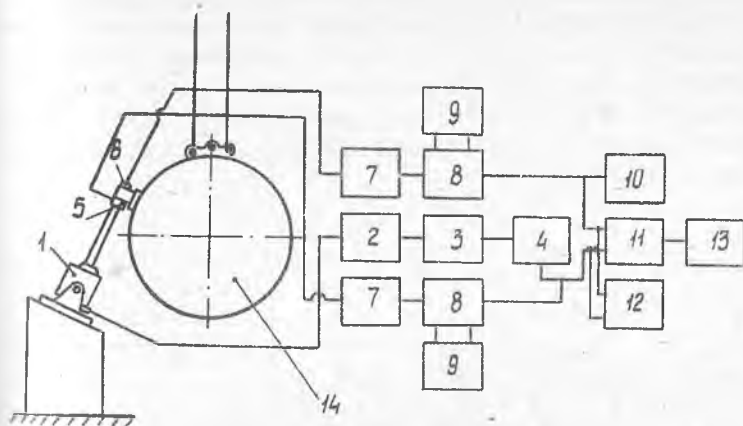
$$\frac{[\dot{q}_i^n(\omega)]'}{\dot{q}_i^n(\omega)} = \left| \frac{\frac{1}{\Pi_{ii\text{gb}}^{nn}(\omega)} + \frac{1}{\Pi_{ii\text{cm}}^{nn}(\omega)}}{\frac{1}{\Pi_{ii\text{gb}}^{nn}(\omega)} + \frac{1}{\Pi_{ii\text{ob}}^{nn}(\omega)}} \right| \quad (2)$$

Из выражений (1) и (2) видно, что отношение виброскоростей зависит от динамических характеристик двигателя, стенда и объекта. При наличии этих данных можно дать ответ об изменении виброактивности двигателя при перестановке со стенда на объект.

Были определены динамические податливости объекта, стенда и двигателя. Динамические податливости, т.е. амплитуды перемещения в направлении i -ого подкоса под действием единичной гармонической силы в j -ом направлении, определялись в узлах крепления двигателя и в ответных узлах подвески на объекте (или стенде).

При совпадении точки и направления приложения силы с точкой и направлением замера перемещения, вызванного этой силой, замеренная характеристика называется собственной или входной податливостью; при несовпадении замеренная характеристика называется переходной податливостью.

На рис. 1 представлена измерительная блок-схема. Техника эксперимента состояла в следующем. Вибратор соединялся с исследуемой конструкцией с помощью специального переходника через пьезоэлектрический датчик силы и выравнивающие шайбы. Гармонический сигнал с генератора электрических сигналов через усилитель мощности подавался на вибратор, который и возбуждал конструкцию. Величина силы возбуждения с помощью блока компрессии, встроенного в генератор, поддерживалась постоянной. Ускорение исследуемой конструкции, вызванное возбуждающей силой в исследуемом диапазоне частот, измерялось с помощью пьезоэлектрического датчика ускорения и записывалось на ленту самописца. Записанное ускорение при постоянной возбуждающей силе в определенном масштабе пропорционально модулю податливости возбуждаемой конструкции. Угол сдвига фаз между силой и ускорением фиксировался фазометром и также записывался на ленту



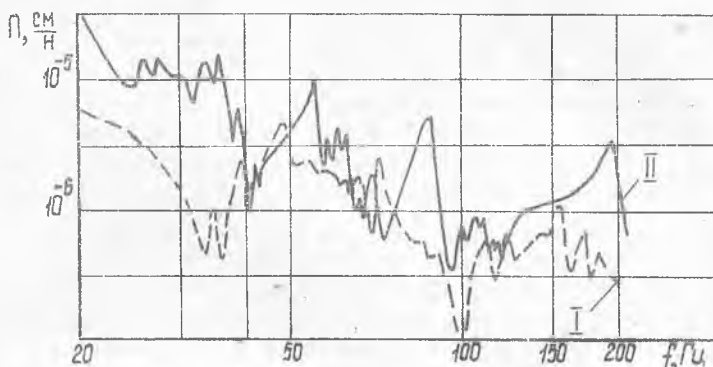
Р и с. 1. Измерительная блок-схема: 1 - вибратор; 2 - усилитель мощности; 3 - блок компрессии; 4 - генератор; 5 - датчик силы; 6 - датчик ускорения; 7 - предварительные усилители; 8 - измерительные усилители; 9 - фильтры; 10 - самописец для записи модуля податливости; 11 - фазометр; 12 - осциллограф; 13 - самописец для записи угла сдвига фаз между силой и ускорением; 14 - двигатель

Омниписца. Для наблюдения формы кривой в схеме предусмотрен осциллограф. Схема включает также предварительные и измерительные усилители как в канале силы, так и в канале ускорения. Фильтры, установленные в обоих каналах, позволяют автоматически отфильтровывать полезные сигналы силы и ускорения от помех. Все это значительно повышает надежность и точность измерений.

В ходе испытаний проводилось определение частотных характеристик податливости исследуемых конструкций к ускорению и углу сдвига фаз между силой и ускорением при возбуждении исследуемых конструкций гармонической силой в диапазоне частот 20-250 Гц. Направление возбуждения объекта, стенда и двигателя в узлах крепления соответствовали направлениям штатных подкосов крепления. Двигатель в ходе испытаний вывешивался за такелажные узлы на тросах с помощью монтажно-подъемного устройства.

Изменением силы возбуждения (10-30Н) проверялась линейность систем. В частотном диапазоне (20-250 Гц) исследуемые системы могут быть признаны линейными.

Результаты испытаний приведены на рис. 2 и 3 на примере одного из узлов крепления. Анализ результатов показывает, что собственные податливости двигателя (I на рис. 2) в частотном диапазоне до 30 Гц соответствуют поведению конструкции как твердого тела, в области частот 35-120 Гц - как упруго-инерционной системы с проявлением ряда резонансов, а на частотах выше 120 Гц - как упруго-диссипативного элемента.

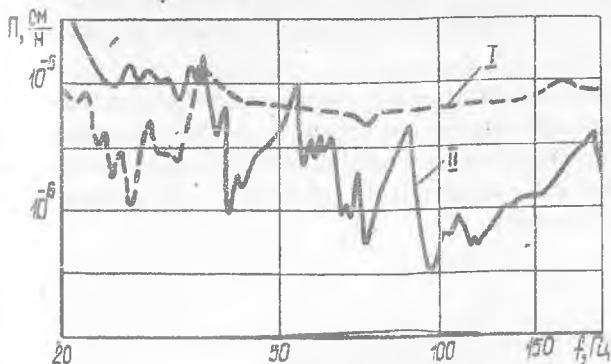


Р и с. 2. Кривая податливости (модуля) двигателя (I) и стенда (II)

Собственные податливости моторной рамы стенда (II на рис. 2) в диапазонах частот 20-40 Гц и 110-170 Гц соответствуют поведению конструкции, отвечающему закону упругости с наличием демпфирования, а в диапазоне 40-100 Гц - как упруго-инерционной системы.

Входные характеристики объекта (I на рис. 3) в широком диапазоне частот 40-200 Гц можно характеризовать законом упругости.

Сопоставление характеристик стенда и двигателя (рис. 2) показывает, что податливость стенда выше податливости двигателя на частотах 20-40 Гц и 150-200 Гц в 5-10 раз. В диапазоне частот 40-150 Гц модули податливостей стенда и двигателя близки по величине, но характер поведения систем разный, в связи с чем при установке двигателя на стенд могут наблюдаться резонансные явления в системе "двигатель-стенд". Следовательно, характеристики стенда в этом диапазоне частот 40-150 Гц оказывают влияние на вибрации двигателя.



Р и с. 3. Кривая податливости (модуля) объекта (I) и стенда (II)

Сопоставление характеристик стенда и объекта (рис. 3) показывает, что их податливости существенно отличаются. Так, в диапазоне частот 40–200 Гц, соответствующем рабочим оборотам двигателей, податливость стенда значительно ниже податливости объекта в 5–10 раз и достигает его уровня лишь на отдельных резонансных частотах 52 Гц, 90 Гц, 180 Гц. Различие в динамических характеристиках стенда и объекта приводит к разному поведению двигателя в условиях стенда и объекта.

Переходные податливости конструкций, как правило, меньше входных, что позволяет рассматривать, в первом приближении, отдельные узлы крепления динамически независимыми при анализе виброактивности двигателя, закрепленного на стенде или объекте, и проводить оценку изменения уровня вибраций по выражению (2).

Определим, например, изменение вибраций двигателя в вертикальном направлении в районе переднего пояса подвески при перестановке двигателя со стенда на объект. Динамические характеристики двигателя, стенда и объекта в местах установки узлов подвески приведены в таблице.

Частота	Динамическая податливость, см/н		
	Двигатель	Стенд	Объект
65 Гц	$(-0,825 - j 1,43) \cdot 10^{-6}$	$(0,6 - j 1,04) \cdot 10^{-6}$	$6 \cdot 10^{-6}$
110 Гц	$(0,386 - j 0,104) \cdot 10^{-6}$	$(0,8 - j 0,29) \cdot 10^{-6}$	$5 \cdot 10^{-6}$

Тогда для $f = 65$ Гц $\left| \frac{[\dot{q}_i^a(\omega)]'}{\dot{q}_i^a(\omega)} \right| = 2,3$; а для $f = 110$ Гц $\left| \frac{[\dot{q}_i^a(\omega)]'}{\dot{q}_i^a(\omega)} \right| = 1,37$. т.е. амплитуда вибраций двигателя увеличивается от 2,5 до 7 дБ.

Следовательно, объективная оценка изменения уровня вибраций двигателя при перестановке его со стенда на объект возможна, если известны динамические характеристики двигателя, стенда и объекта.

Исследование этих характеристик необходимо для решения задачи вибрационной диагностики.

Л и т е р а т у р а

И. П о п к о в В.И. Виброакустическая диагностика и снижение виброактивности судовых механизмов.—Д: Судостроение, 1974.

УДК 62-567.752

Н.В.Герасимов, В.И.Крайнов,
В.М.Ромашкин, Ю.В.Шатилов

РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ ВИБРОЗАЩИТНОЙ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ УПРУГИХ ЭЛЕМЕНТОВ С УПРАВЛЯЕМОЙ ЖЕСТКОСТЬЮ

На основе амортизаторов с управляемой жесткостью [1 - 2] разработана и прошла испытания многокомпонентная система защиты объектов от динамических нагрузок, возникающих при перевозках железнодорожным транспортом.

Установка представляет собой платформу, подвешенную на 8-ми амортизаторах. Вес платформы с установленным на ней объектом составляет 2 т. Четыре амортизатора грузоподъемностью по 500 кг каждая удерживают платформу в вертикальном направлении, а четыре аналогичной конструкции и грузоподъемности - в горизонтальном. Перемещение платформы в поперечном направлении ограничено площадками, по которым платформа катается на специальных роликах.