

УДК 621.004.58 (075.8)

ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ТЕСТОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ МЕТОДОВ ВИБРОДИАГНОСТИКИ СИЛЫ СУХОГО ТРЕНИЯ ПРИ ВЫНУЖДЕННЫХ КОЛЕБАНИЯХ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

© 2011 Б.В. Лушников

Юго-Западный государственный университет, г. Курск

Поступила в редакцию 19.11.2011

Рассмотрена возможность оптимизации параметров тестового воздействия с целью повышения чувствительности методов нелинейной вибродиагностики механических систем с сухим трением путем использования функции чувствительности диагностического признака к контролируемому параметру. Показан пример выбора оптимального тестового воздействия, обеспечивающего существенное увеличение чувствительности определения нелинейных диссипативных параметров сухого трения при вынужденных колебаниях динамической системы. Рассмотренный подход свидетельствует о преимуществах нелинейных методов вибродиагностики по сравнению с линейными.

Ключевые слова: *вибродиагностика, сухое трение, чувствительность диагностической процедуры*

В технике существует целый класс механических систем с контактирующими и трущимися элементами, в которых действующие силы сухого трения существенно влияют на динамические процессы и обладают полезной и объективной информативностью их технического состояния. Поэтому действующие силы сухого трения могут быть использованы в качестве диагностических признаков для оценки технического состояния такого класса объектов, в том числе на дихотомическом уровне («годен» - «негоден»). Однако непосредственное измерение действующих сил сухого трения возможно лишь триботехническими методами и подходами и весьма сложно реализуемо в упругих колебательных системах. Поэтому для идентификации динамических параметров сухого трения приходится использовать косвенные методы, основанные на измерении колебательного отклика в динамической системе. Количественные значения параметров демпфирования механических систем с элементами сухого трения являются важными информативными признаками их технического состояния. Перспективность такого подхода обусловлена непосредственной однозначной связью между нарушениями функционирования объекта и величиной диссипативных потерь в его колебательной системе, а также физичностью и оперативностью диагностирования [1]. В этой

связи определение динамических, т.е. постоянно изменяющихся во времени и функций других величин параметров сухого трения, является сложной, но актуальной задачей.

Эффективность диагностических процедур нелинейной вибродиагностики может быть значительно повышена путем оптимизации тестового воздействия для достижения наилучшей чувствительности. Использование теории чувствительности для анализа и синтеза сложных механических систем детально рассмотрено в [2], где также представлен подробный аналитический обзор отечественных и зарубежных публикаций по данной теме.

При решении задачи диагностирования функция чувствительности диагностического признака Π к изменению контролируемого параметра q (например, коэффициента жесткости или диссипации) определяется выражением

$$\mu = \frac{\Delta\Pi/\Pi}{\Delta q/q}, \quad (1)$$

где $\Delta\Pi$ – абсолютное изменение диагностического признака Π , соответствующее абсолютному изменению контролируемого параметра q на величину Δq .

Из анализа выражения (1) следует, что, если относительное изменение отклика (диагностического признака Π) численно равно относительному изменению контролируемого параметра q , то чувствительность диагностического метода равна единице ($\mu=1$). При разработке диагностических процедур или при

Лушников Борис Владимирович, кандидат технических наук, доцент кафедры теоретической механики и мехатроники. E-mail: bvl_61@inbox.ru

оптимизации тестовых воздействий следует стремиться к достижению максимально возможных значений функции чувствительности. Это позволит получать более достоверные и качественные результаты вибрационного контроля даже при использовании достаточно «грубой» и более дешевой контрольно-измерительной аппаратуры. Использование функции чувствительности (1) вследствие ее безразмерности позволяет сравнивать различные диагностические методы и алгоритмы между собой и выявлять наиболее предпочтительные диагностические признаки по критерию максимальной чувствительности к возникающему дефекту.

Для возможности исследования поведения функции чувствительности при изменении параметров тестового воздействия (например, амплитуды и частоты гармонической вынуждающей силы) или собственных параметров диагностируемого объекта вместо выражения (1) возможно использовать выражение частной производной функциональной зависимости информативного признака Π по контролируемому параметру q_i :

$$\tilde{\mu} = \frac{\partial \Pi(q_1, q_2, q_3, \dots, q_i, P_0, \omega, \dots)}{\partial q_i} \quad (2)$$

В качестве примера рассмотрим возможность выбора оптимизированного тестового воздействия для повышения чувствительности диагностического метода, заключающегося в идентификации силы сухого кулонова трения в упруго-диссипативной колебательной системе с одной степенью свободы на основе определения «правых» асимптот фазо-частотных характеристик. В основе метода лежит нелинейный эффект наличия «правых» асимптот ФЧХ (рис. 1) вынужденных колебаний системы с сухим трением и линейно-вязким сопротивлением [1], принятый в качестве диагностического признака. Аналитическое выражение для «правых» асимптот ФЧХ можно получить, найдя значения следующего предела [3]:

$$\varphi_{np} = \lim_{\omega/p \rightarrow \infty} \varphi = -\arcsin \left[\frac{F}{P_0} \cdot \lim_{\omega/p \rightarrow \infty} \frac{1 - (\omega/p)^2}{\omega/p} \cdot \operatorname{tg} \frac{\pi \cdot p}{2 \cdot \omega} \right], \quad (3)$$

где F – модуль силы сухого кулонова трения; P_0 – амплитуда вынуждающей гармонической силы; ω – частота вынуждающего гармонического воздействия; p – собственная частота колебательной системы.

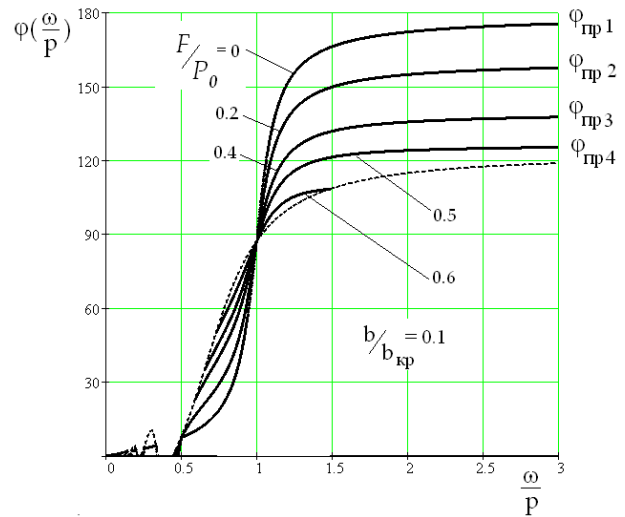


Рис. 1. Семейство ФЧХ безостановочных режимов движения системы с сухим кулоновым и вязким трением

Тогда

$$\varphi_{np}^\circ = 180^\circ - \arcsin \frac{\pi \cdot F}{2 \cdot P_0} = 90^\circ + \arccos \frac{\pi \cdot F}{2 \cdot P_0} \quad (4)$$

при ограничении на значение $F/P_0 \leq \sqrt{1 + (\pi/2)^2}$ для обеспечения безостановочных режимов движения. Таким образом, функция $\varphi_{np} = f(F/P_0)$ (рис. 2) представляет собой фрагмент арккосинусоиды.

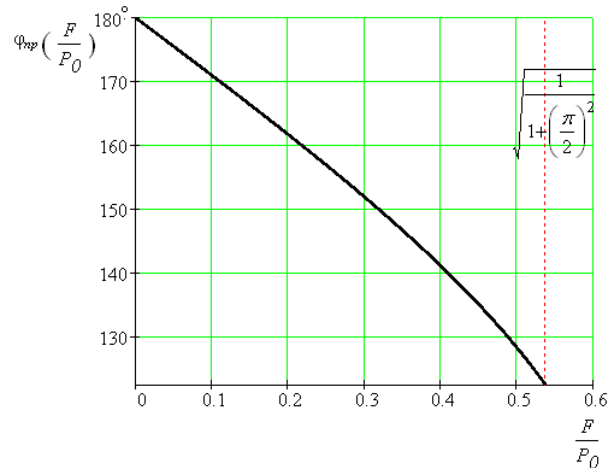


Рис. 2. Зависимость значений «правых» асимптот ФЧХ от относительной силы сухого трения F/P_0

Следовательно, определив асимптоты ФЧХ при $\omega/p \gg 1$, представляется возможным количественно оценить силу сухого трения

$$F = \frac{2 \cdot P_0}{\pi} \cdot \sin \varphi_{np}^\circ, \quad (5)$$

или в безразмерной форме $F/P_0 = \frac{2}{\pi} \cdot \sin \varphi_{np}^\circ$ при ограничении на значение $F/P_0 \leq \sqrt{\frac{1}{1-(\pi/2)^2}} \approx 0,537$.

Ввиду нелинейности функциональной зависимости (5) функция чувствительности $\tilde{\mu} = \frac{\partial \varphi_{np}}{\partial F} = \frac{1}{\sqrt{1-(\pi F/2P_0)^2}}$ рассматриваемого способа идентификации также имеет нелинейный характер, что видно из анализа ее графика (рис. 3).

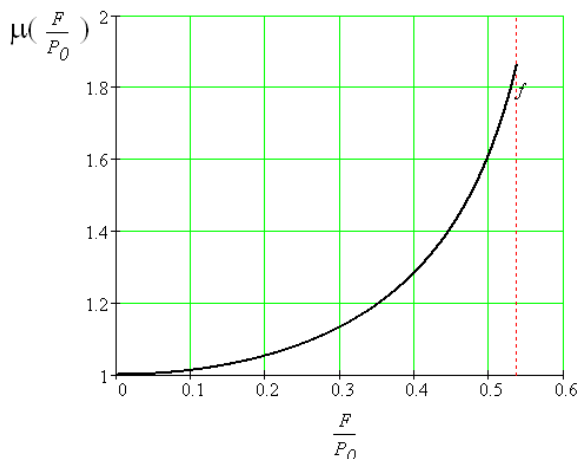


Рис. 3. График зависимости безразмерной функции чувствительности μ от относительной силы сухого трения F/P_0

Из анализа рис. 3 следует, что за счет соответствующего выбора амплитуды P_0 гармонической вынуждающей силы тестового воздействия, а именно такой, чтобы отношение

F/P_0 стремилось «слева» к значению $\sqrt{\frac{1}{1-(\pi/2)^2}}$, чувствительность рассматриваемого идентификационного метода может быть существенно увеличена.

Выводы: определив и реализовав оптимальные значения тестового воздействия, в данном случае, соответствующую амплитуду вынуждающей гармонической силы P_0 , представляется возможным значительно повысить чувствительность диагностической процедуры нелинейной вибродиагностики контроля уровня диссипативных параметров сухого трения в механической системе. Такая возможность увеличения чувствительности при реализации методов нелинейной вибродиагностики является их ощутимым преимуществом по сравнению с линейными подходами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Цыфанский, С.Л. Нелинейная вибродиагностика машин и механизмов / С.Л. Цыфанский, В.И. Бересневич, Б.В. Лушников. – Рига: изд-во Рижского техн. ун-та, 2008. 366 с.
2. Городецкий, Ю.И. Функции чувствительности и динамика сложных механических систем / Ю.И. Городецкий. – Нижний Новгород: изд-во Нижегородского гос. ун-та им. Н.И. Лобачевского, 2006. – 236 с.
3. Лушников, Б.В. К вопросу исследования нелинейных эффектов вынужденных колебаний системы с сухим и вязким трением. В кн. Управляемые вибрационные технологии и машины. Сб. науч. ст.: в 2-х ч. Ч.1. – Курск, Курск. гос. техн. ун-т, 2010. С.140-150.

OPTIMIZATION OF PARAMETERS OF TEST INFLUENCE FOR INCREASE THE SENSITIVITY OF VIBRODIAGNOSTICS METHODS OF DRY FRICTION FORCE AT FORCED OSCILLATIONS OF DYNAMIC SYSTEMS

© 2011 B.V. Lushnikov

SouthWest State University, Kursk

Possibility of optimization the parameters of test influence for the purpose of increase the sensitivity of non-linear vibrodiagnostic methods of mechanical systems with dry friction by usage of sensitivity function of diagnostic parameter to controllable parameter is considered. The example of a choice of the optimal test influence providing essential magnification of sensitivity at determination of non-linear dissipative parameters of dry friction at forced oscillations of dynamic system is shown. The considered approach testifies to advantages of non-linear vibrodiagnostic methods in comparison with the linear.

Key words: *vibrodiagnostics, dry friction, sensitivity of diagnostic procedure*