

УДК 621.004.58 (075.8)

ЭКСПРЕСС-МЕТОД ВИБРОДИАГНОСТИКИ СИЛЫ СУХОГО ТРЕНИЯ ПРИ ВЫНУЖДЕННЫХ КОЛЕБАНИЯХ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

© 2011 Б.В. Лушников

Юго-Западный государственный университет, г. Курск

Поступила в редакцию 19.03.2011

В статье рассмотрен экспресс-метод оперативного вибродиагностирования силы сухого трения при вынужденных колебаниях динамических систем, основанный на определении скачка виброускорения на виброграмме, обусловленного скачкообразным изменением силы трения при изменении направления движения. Процедура количественной идентификации силы сухого трения инвариантна к действующим силам вязкого сопротивления при их возможном совместном действии, характеризуется высокой оперативностью и производительностью, а также простотой аппаратурной реализации.

Ключевые слова: *вибродиагностика, сухое трение, динамическая система*

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»). Перспективность такого подхода обусловлена непосредственной однозначной связью между нарушениями функционирования объекта и величиной диссипативных потерь в его колебательной системе, а также оперативностью диагностирования. Количественная идентификация диссипативных параметров колебательных систем необходима и при построении их математических моделей. Для упругих систем, которые при эксплуатации функционируют в окolorезонансных режимах или непосредственно подвергаются резонансным колебаниям, изучение их демпфирующих свойств приобретает исключительно важное значение. Таким образом, разработка обоснованных методов определения диссипативных характеристик реальных упругих механических систем является актуальной задачей.

Большинство известных методов идентификации диссипативных параметров сухого трения имеют трудоёмкие алгоритмы диагностических процедур или сложную и дорогостоящую

аппаратурную реализацию [1-6]. Для построения процедуры идентификации сил сухого трения рассмотрим особенности динамического поведения данного вида систем при вынужденных колебаниях под действием гармонической силы (рис. 1).

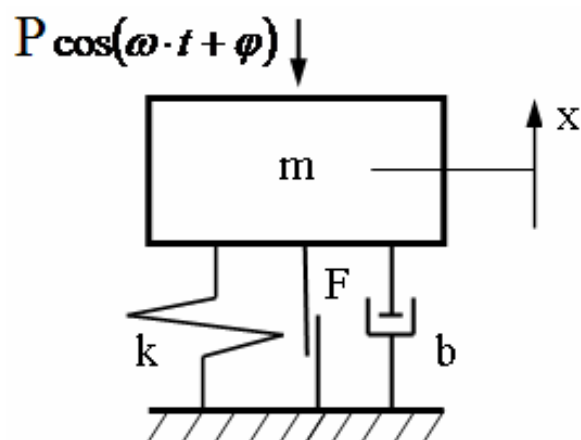


Рис. 1. Расчетная динамическая схема системы с сухим трением

Для исследования рассматриваемой системы будем использовать среду визуального математического моделирования динамических систем Simulink/MATLAB. Блок-схема Simulink-модели представлена на рис. 2. Более подробное описание модели и её тестирование дано в [7].

Как следует из анализа временных законов изменения ускорения (см. рис. 3 и рис. 4) при любых режимах движения в системе с сухим трением наблюдаются скачки ускорения, возникающие вдали от положения равновесия.

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

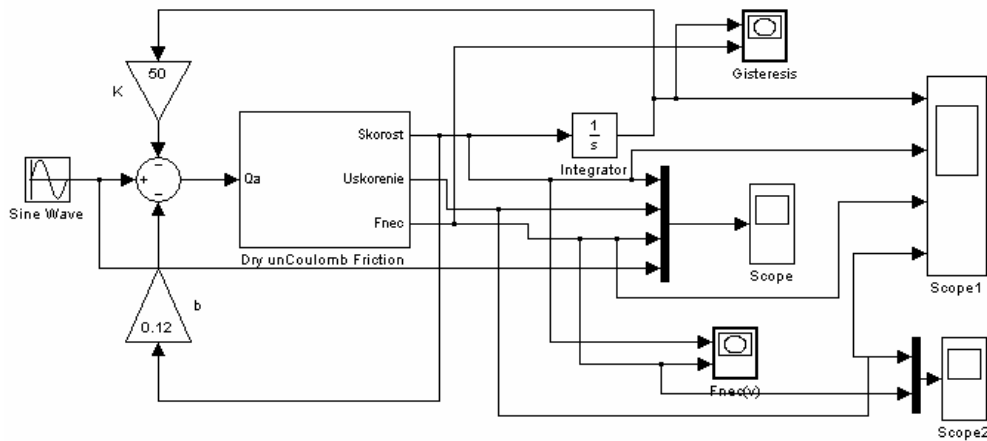


Рис. 2. Блок-схема Simulink-модели динамической системы с сухим трением

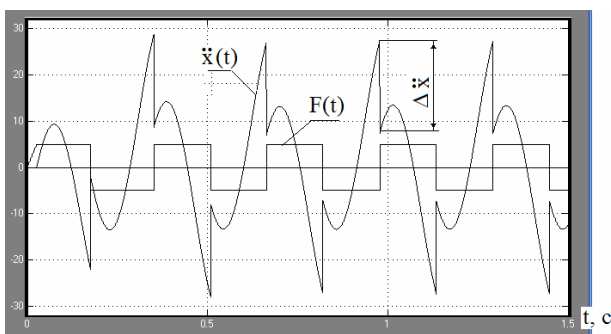


Рис. 3. Виброграмма ускорения и график изменения силы сухого трения во времени системы с сухим трением при безостановочном режиме движения ($\omega=20 \text{ c}^{-1}$, $F=5 \text{ Н}$, $P=10 \text{ Н}$, $b=0,12 \text{ Нс/м}$, $k=50 \text{ Н/м}$, $m=0,5 \text{ кг}$)

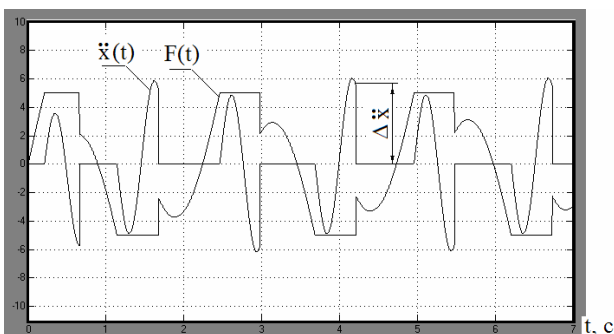


Рис. 4. Виброграмма ускорения и график изменения силы сухого трения во времени системы с сухим трением при остановочном режиме движения ($\omega=2,5 \text{ c}^{-1}$, $F=5 \text{ Н}$, $P=10 \text{ Н}$, $b=0,12 \text{ Нс/м}$, $k=50 \text{ Н/м}$, $m=0,5 \text{ кг}$)

При безостановочных режимах движения, когда сила сухого трения представляет собой «прямоугольный синус» с амплитудой «F», величина скачка ускорения равна (рис. 3):

$$\Delta \ddot{x} = \frac{2 \cdot F}{m} \quad (1)$$

В режимах движения с продолжительными остановками закон изменения силы сухого трения усложняется – в момент остановок уравнение силового равновесия принимает вид:

$$k \cdot A - F^* = P_0 \cdot \cos(\omega \cdot t + \varphi) \quad (2)$$

и сила сухого трения F^* «копирует» вынуждающую силу $P \cos(\omega t + \varphi)$. При этом величина скачков ускорения уже меньше $2F/m$ (рис. 4).

Используя количественную обусловленность величины скачка ускорения силой сухого трения при безостановочных режимах движения в соответствии с выражением (1), представляется возможным определить силу сухого трения, действующую в колебательной системе [8]:

$$F = \frac{\Delta \ddot{x} \cdot m}{2} \quad (3)$$

Функция чувствительности решающего алгоритма:

$$K = \frac{\partial \Delta \ddot{x}}{\partial F} = \frac{2}{m} \quad (4)$$

является гиперболической функцией массы колебательной системы. Следовательно, метод идентификации силы сухого трения будет тем чувствительней, чем меньше масса идентифицируемого объекта. Примерный алгоритм экспресс-метода определения силы сухого трения при вынужденных колебаниях динамической системы представлен в таблице 1.

В качестве апробации рассмотренного экспресс-метода диагностирования сухого трения при вынужденных колебаниях динамической системы на рис. 5 показана экспериментальная

осциллограмма виброускорений упруго установленного подвижного элемента диагностического прибора – индентора, в направляющих которого действовали силы сухого трения и силы вязкого сопротивления.

Таблица 1. Алгоритм экспресс-метода количественного определения силы сухого трения

Шаг 1.	Возбудить вынужденные колебания идентифицируемой системы с безостановочным режимом движения и определить частоту резонанса $\omega/p \approx 1$, где p – собственная частота.
Шаг 2.	Установить частоту вибровозбуждения в интервале $\omega/p=1,1-2,0$
Шаг 3.	По временному закону изменения виброускорения определить величину скачка $\Delta\ddot{x}$.
Шаг 4.	Определить массу колебательной системы m
Шаг 5.	Рассчитать величину силы сухого кулонова трения по формуле (3).
Шаг 6.	Повторить процедуру идентификации, начиная с шага 2, для получения статистической информации и оценки погрешности.

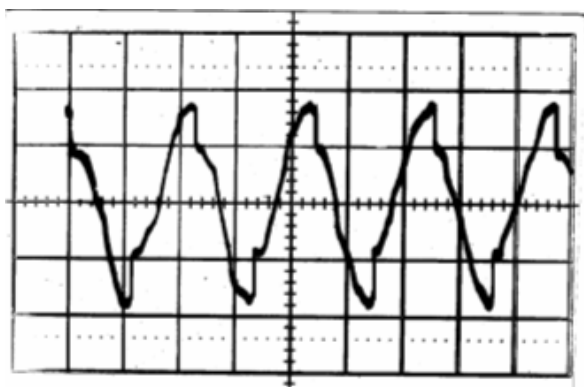


Рис. 5. Экспериментальная осциллограмма виброускорений динамической системы с сухим трением

Измеренные величины скачков ускорения $\Delta\ddot{x}$ и определенная из независимого эксперимента масса m колебательной системы позволили определить величину действующей силы сухого трения с относительной погрешностью, не превышающей 8%, при высокой оперативности и простоте аппаратной реализации. Это позволяет рассматривать данный способ как эффективный экспресс-метод оперативного диагностирования величины сухого трения в колебательных системах при их вынужденных колебаниях.

Выводы: достоинствами рассмотренного метода идентификации силы сухого трения являются: 100% точность решающего алгоритма; инвариантность к действующим силам вязкого сопротивления; возможность идентификации при неполноте информации о виде вибровозбуждения; нетребовательность к источнику возбуждения колебаний; простота аппаратной реализации; высокая оперативность и производительность идентификации вплоть до возможности организации процедуры в реальном масштабе времени. К недостаткам метода можно отнести некоторую помеховосприимчивость, обусловленную влиянием шумов на измерение скачка ускорения по виброграмме.

Работа выполнена в рамках реализации Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы по проблеме «Исследование закономерностей движения и идентификация динамических параметров механических систем с сухим некулоновым трением» (гос. контракт № П2243, шифр НК 422П).

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. Лушников, Б.В. Метод вибродиагностики диссипативных параметров сухого вязкого трения на основе компьютерного анализа виброграмм свободных колебаний // Автоматизация и современные технологии. 2010. №5. С.11-14.
3. Лушников, Б.В. Вибродиагностика сухого трения в колебательной системе при кинематическом возбуждении вынужденных колебаний // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2010. Т.12. №1(2). С. 435-438.
4. А.с. 1613934, МКИ G 01 N №19/02. Способ определения силы сухого трения в колебательной системе с параллельным соединением элементов и фрикционной связью / С.Л. Цыфанский, Б.В. Лушников, М.А. Магоне. – Рижский политехнический институт. №4487183/25-28; заявлено 26.09.88; опубликовано 15.12.90. Бюл. №46.
5. А.с. 1462165, МКИ G 01 N 19/02. Способ определения силы сухого трения и коэффициента вязкого трения в колебательных системах с параллельным соединением элементов/ Б.В. Лушников, С.Л. Цыфанский, М.А. Магоне. №4217085/25-28; заявлено 27.03.87; опубликовано 28.02.89. Бюл. №8.
6. А.с. 1467455, МКИ G 01 N 19/02. Способ определения силы сухого трения и коэффициента вязкого трения в колебательной системе / Б.В. Лушников, С.Л. Цыфанский, М.А. Магоне. №4232321/25-28; заявлено 20.04.87; опубликовано 23.03.89. Бюл. №11.

7. Лушников, Б.В. Компьютерное моделирование динамики элемента сухого некулонова трения // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2010. Т.12. №1(2). С. 439-444.
8. А.с. 1629827, МКИ G 01 N 19/02. Способ определения силы сухого кулонова трения в колебательной системе / С.Л. Цыфанский, Б.В. Лушников, М.А. Магоне. №4670246/28; заявлено 30.03.89; опубликовано 23.02.91. Бюл. №7.

VIBRODIAGNOSTICS EXPRESS METHOD OF DRY FRICTION FORCE AT FORCED OSCILLATIONS OF DYNAMIC SYSTEMS

© 2011 B.V. Lushnikov

Southwest State University, Kursk

In article the express method of operative vibrodiagnostics the dry friction force is considered at forced oscillations of the dynamic systems, based on jump definition of vibroacceleration on vibrogramm, caused by abrupt change of dry friction force at change of movement direction. Procedure of quantitative identification of dry friction force invariant to operating forces of viscous resistance at their possible joint action, is characterized by high efficiency and productivity, and also simplicity of hardware realization.

Key words: *vibrodiagnostics, dry friction, dynamic system*