



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
 ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ,
 ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21), (22) Заявка: **2003114280/28**, **14.05.2003**

(24) Дата начала действия патента: **14.05.2003**

(43) Дата публикации заявки: **10.11.2004**

(45) Опубликовано: **20.08.2005 Бюл. № 23**

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: **SU 43176 A1, 31.05.1935. SU 1467438 A1, 23.03.1989. RU 2157557 C1, 10.10.2000. DE 3418690 A, 21.11.1985.**

Адрес для переписки:

**656099, г.Барнаул, пр. Ленина, 61, комн.801,
 Алтайский государственный университет, отдел
 информации, Н.А. Богатыревой**

(72) Автор(ы):

**Филистович Д.В. (RU),
 Старцев О.В. (RU),
 Суранов А.Я. (RU)**

(73) Патентообладатель(ли):

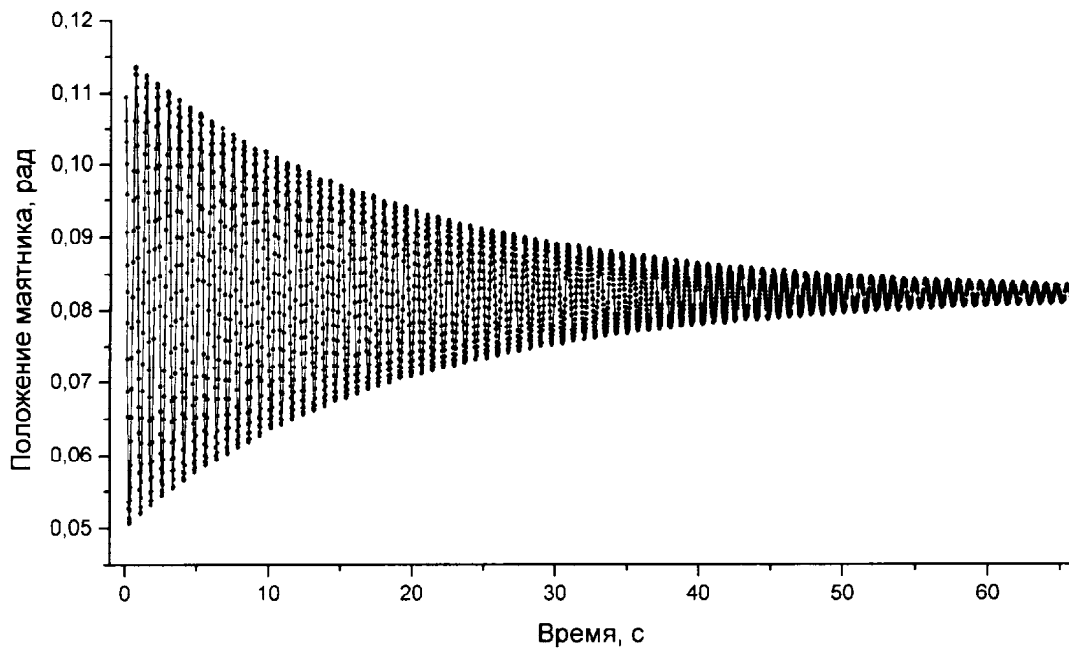
Алтайский государственный университет (RU)

(54) СПОСОБ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ СВОБОДНО ЗАТУХАЮЩИХ КОЛЕБАНИЙ КРУТИЛЬНОГО МАЯТНИКА

(57) Реферат:

Изобретение относится к измерительной технике. Сущность: регистрируют с помощью лазера и многоэлементного фотоприемника временную зависимость угла отклонения маятника от положения равновесия при свободных затухающих колебаниях. Возбуждение колебаний производят до амплитуды, величина которой находится в амплитудно-зависимой области. Полученную кривую разбивают на несколько

участков. Аппроксимируют каждый из участков экспоненциально затухающей синусоидой. Строят амплитудные зависимости коэффициента затухания и частоты. Аппроксимируют эти зависимости полиномиальными функциями и рассчитывают значения коэффициента затухания и частоты колебаний при нулевой амплитуде путем экстраполяции полученных амплитудных зависимостей. Технический результат: повышение точности измерений. 3 ил.



Фиг. 1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY,
PATENTS AND TRADEMARKS

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21), (22) Application: **2003114280/28, 14.05.2003**

(24) Effective date for property rights: **14.05.2003**

(43) Application published: **10.11.2004**

(45) Date of publication: **20.08.2005 Bull. 23**

Mail address:

**656099, g.Barnaul, pr. Lenina, 61, komn.801,
Altajskij gosudarstvennyj universitet, otdel
informatsii, N.A. Bogatyrevoj**

(72) Inventor(s):

**Filistovich D.V. (RU),
Startsev O.V. (RU),
Suranov A.Ja. (RU)**

(73) Proprietor(s):

Altajskij gosudarstvennyj universitet (RU)

(54) **METHOD OF MEASURING PARAMETERS OF FREE DAMPED VIBRATIONS OF TORSION PENDULUM**

(57) Abstract:

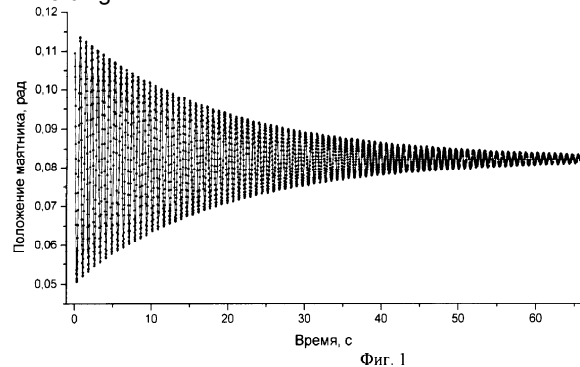
FIELD: measurement technology.

SUBSTANCE: angle of deviation of pendulum is registered relatively equilibrium position at free damped vibrations by means of laser and photoreceiving array. Vibrations are excited till reaching amplitude which has value belonging to amplitude-dependent area. Received curve is selected to several parts. Any part is approximated by exponentially damped sinusoid. Damp and frequency factor amplitude dependences are built. Those dependences are approximated by polynomial functions and values of factor of damping and vibration frequency at zero amplitude are approximated by means of extrapolation of

amplitude dependences.

EFFECT: improved precision of measurement.

3 dwg



Изобретение относится к измерительной технике и может использоваться в приборах динамического механического анализа, работающих по принципу измерения параметров свободно затухающих крутильных колебаний.

Известен способ [Перепечко И.И. Акустические методы исследования полимеров. - М.: Химия, 1973. - 296 с.] измерения параметров свободно затухающих колебаний крутильного маятника (частоты и коэффициента затухания), в котором используется подсчет количества периодов колебаний, укладываемых на участке между двумя заданными амплитудами, и измерение промежутка времени между двумя последовательными прохождениями маятника через положение равновесия. Недостатком этого способа является низкая точность измерения, особенно при высоких значениях коэффициента затухания.

Известен также способ [Старцев О.В., Вапиров Ю.М., Суханов В.В., Макарадзе Э.Д. Способ измерения параметров затухающих колебаний гармонического осциллятора. А.С. СССР № 1359685, Бюлл. № 46, с 182], основывающийся на измерении не менее трех интервалов времени между моментами прохождения осциллятором фиксированного уровня и последующем вычислении частоты и коэффициента затухания исходя из предположения, что колебания описываются экспоненциально затухающей синусоидой. Недостатком данного способа является невысокая точность измерения, обусловленная обработкой только нескольких точек из всей кривой затухающих колебаний.

Из известных технических решений наиболее близким по технической сущности к заявляемому объекту является способ измерения параметров свободно затухающих крутильных колебаний, основанный на регистрации с помощью лазера и многоэлементного фотоприемника всей временной зависимости угла отклонения маятника от положения равновесия при свободных затухающих колебаниях и ее аппроксимации экспоненциально затухающей синусоидой [Филистович Д.В., Суранов А.Я., Старцев О.В.

Автоматизированная установка для динамического механического анализа методом свободных крутильных колебаний // Тр. II Межд. науч. - техн. конф. «Экспериментальные методы в физике структурно-неоднородных конденсированных сред» - Том 1. - Барнаул: Изд-во Алтайского государственного университета, 2001. - с.214-219]. В этом способе, как и в других, упомянутых выше, измерения проводятся на как можно более низких амплитудах колебания крутильного маятника. При этом предполагается, что параметры наблюдаемых свободных колебаний (частота и декремент затухания) не зависят от амплитуды. В упомянутых выше способах начальная амплитуда колебаний составляет порядка 2-4 угловых градусов. Однако во многих случаях даже при таких малых амплитудах возможно появление существенной зависимости параметров колебаний от амплитуды, что вносит неконтролируемые погрешности в измеряемые величины и снижает точность прецизионных измерений. Кроме того, необходимость проведения измерений на малых амплитудах создает технические трудности, особенно в случаях высоких значений коэффициента затухания (затухание колебаний происходит в течение одного-двух периодов колебаний, т.е. процесс перестает быть периодическим).

Сущность изобретения заключается в том, что для исключения влияния нелинейности (амплитудной зависимости) свободных затухающих колебаний производится исследование амплитудных зависимостей декремента затухания и частоты колебаний, величина начальной амплитуды которых лежит в амплитудно-зависимой области (4-7 угловых градусов), путем независимой аппроксимации нескольких (5-10) ее участков экспоненциально затухающей синусоидой, построения амплитудных зависимостей декремента затухания и частоты и аппроксимации этих зависимостей полиномиальной функцией. Далее, методом экстраполяции найденных зависимостей определяются величины этих параметров при нулевой амплитуде, что дает возможность получения значений частоты и коэффициента затухания, которые зависят от свойств исследуемого материала, но не от выбранного диапазона амплитуды колебаний.

Перечисленные признаки обеспечивают достижение поставленной цели.

В измерительной технике известны способы регистрации кривой затухающих крутильных

колебаний, операции вычисления ее параметров, аппроксимации и экстраполяции данных. Однако использование перечисленных операций в указанной выше последовательности применительно к измеряемым также вышеуказанным образом параметрам колебаний позволяет получить новое качество - повышение точности измерения. Это качество не является результатом суммирования положительных эффектов, получаемых от введения отдельных операций регистрации и обработки, а достигается именно за счет учета особенности (амплитудной зависимости) регистрируемых крутильных колебаний.

Продолжительность регистрации временной зависимости углового положения маятника, а также объем вычислений, необходимый для реализации предлагаемого способа, в 5-10 раз больше, чем в способе-прототипе, однако время измерения параметров колебаний предлагаемым способом остается несущественным по сравнению со временем, необходимым для предварительной стабилизации температуры образца.

Поскольку среди известных способов измерения параметров (частоты и коэффициента затухания) свободных колебаний крутильного маятника не выявлено способов измерения со сходными признаками, которые решали бы ту же задачу тем же путем (т.е. регистрацией временной зависимости угла отклонения маятника от положения равновесия при свободных затухающих колебаниях, величина начальной амплитуды которых находится в амплитудно-зависимой области (4-7 угловых градусов), построением амплитудных зависимостей частоты и декремента затухания колебаний, последующей их аппроксимацией полиномиальными функциями и расчетом параметров затухающих крутильных колебаний путем экстраполяции этих зависимостей на нулевую амплитуду), то предлагаемое решение соответствует критерию «новизна».

Изобретение поясняется рисунками, где на фиг.1 приведен вид типичной регистрируемой кривой свободных затухающих колебаний крутильного маятника, на фиг.2 точками показаны амплитудные зависимости декремента затухания при динамическом механическом анализе трех различных материалов и линией - их аппроксимация кубическими полиномами, а на фиг.3 - соответствующие им аналогичные графики для круговой частоты.

Известно [Перепечко И.И. Акустические методы исследования полимеров. - М.: Химия, 1973. - 296 с.], что процесс затухающих колебаний гармонического осциллятора описывается функцией вида

$$A(t) = A_0 \exp(-\alpha t) \cos(\omega t + \varphi), \quad (1)$$

где A_0 - амплитуда колебаний в начальный момент времени $t=0$, α - коэффициент затухания, ω - круговая частота, φ - начальный сдвиг фазы колебаний. При динамическом механическом анализе исследуемый образец материала включается в механическую колебательную систему в качестве дополнительного вязкоупругого элемента [1]. При этом можно определить комплексный модуль сдвига G и тангенс угла механических потерь $\tan \delta$ материала по формулам

$$G' = F_g I (\omega^2 - \omega_0^2 - \alpha^2 + \alpha_0^2), \quad (2)$$

$$G'' = 2F_g I (\alpha \omega - \alpha_0 \omega_0), \quad (3)$$

$$\tan \delta = \frac{G''}{G'} = \frac{2(\alpha \omega - \alpha_0 \omega_0)}{\omega^2 - \omega_0^2 - \alpha^2 + \alpha_0^2}, \quad (4)$$

где G' - действительная часть комплексного модуля сдвига (динамический модуль сдвига), G'' - мнимая часть комплексного модуля сдвига (модуль потерь), F_g - форм-фактор, зависящий от формы и размеров образца, I - момент инерции колебательной системы, ω_0 и α_0 - собственные круговая частота и коэффициент затухания колебательной системы без образца соответственно, ω и α - круговая частота и коэффициент затухания колебательной системы с образцом.

На фиг.2 и 3 точками показаны амплитудные зависимости коэффициента затухания и круговой частоты колебаний крутильного маятника соответственно при ДМА-исследованиях трех различных типов материалов. Для этого экспериментальные кривые, подобные

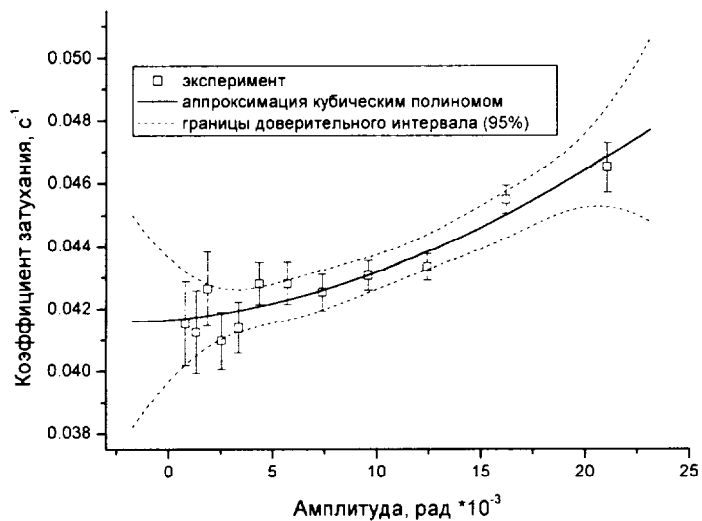
приведенной на фиг.1, были разбиты на несколько равных по времени частей, каждая из которых подверглась аппроксимации функцией вида (1). Полученные при этом значения коэффициента затухания α и частоты ω были сопоставлены амплитудам, соответствующим

5
10
15
20
25
30
35
40
45
50
началам отрезков времени, на которые была разбита исходная экспериментальная кривая. Видно, что при затухании в диапазоне амплитуд от $2,5 \cdot 10^{-2}$ - $7,0 \cdot 10^{-2}$ радиан (4-7 угловых градусов) до нуля круговая частота меняется на 0,1-0,7%, а коэффициент затухания на 10-20%. Исходя из того, что в реальных измерениях величин G' и $\text{tg}\delta$ общая погрешность определяется погрешностями определения величин α , ω и F_g , и из того, что погрешность, вносимая форм-фактором, обычно составляет 1-6%, исключение влияния нелинейности на результаты определения α и ω позволит повысить общую точность прецизионных измерений. Для этого предлагается проводить аппроксимацию получаемых зависимостей, например, кубическими полиномами и экстраполировать их до нулевой амплитуды. Результаты такой обработки показаны на фиг.2 и 3.

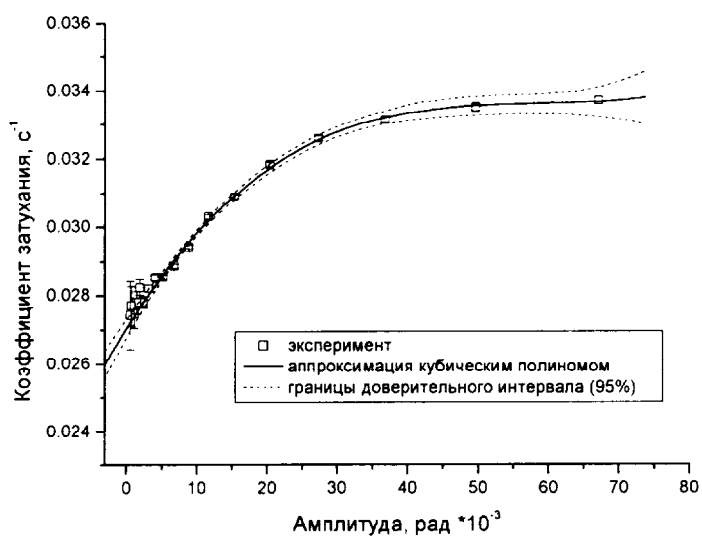
Таким образом, использование предложенного метода измерения параметров свободно затухающих крутильных колебаний, базирующегося на исследовании амплитудных зависимостей их параметров, позволяет решить поставленную задачу, а именно, повысить точность измерения. Оценки погрешностей при выполнении расчетов по предложенному методу позволяют говорить об исключении влияния выбранного амплитудного диапазона колебаний крутильного маятника на конечные результаты измерений. Заметнее всего это проявляется при динамическом механическом анализе материалов с высокими значениями коэффициента затухания, когда часто бывает технически сложно реализовать измерения в области малых амплитуд колебаний.

Формула изобретения

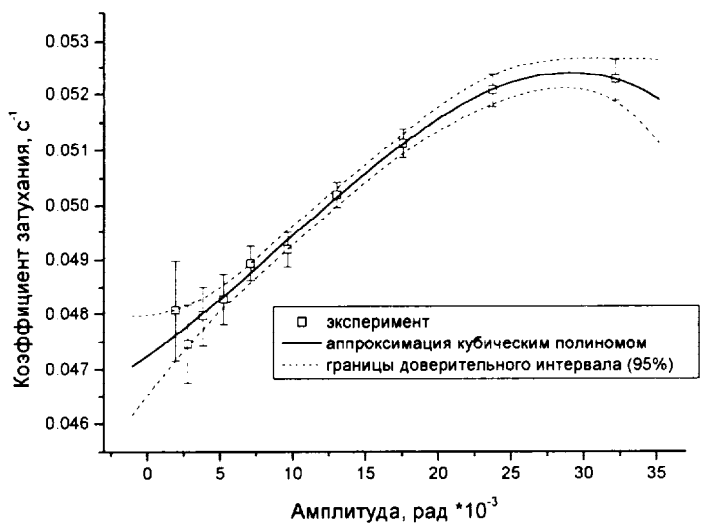
25
30
35
40
45
50
Способ измерения параметров свободно затухающих колебаний крутильного маятника (частоты и коэффициента затухания), включающий регистрацию с помощью лазера и многоэлементного фотоприемника временной зависимости угла отклонения маятника от положения равновесия при свободных затухающих колебаниях, отличающийся тем, что возбуждение колебаний производят до амплитуды, величина которой находится в амплитудно-зависимой области (4-7 угловых градусов), полученную кривую разбивают на несколько (5-10) участков, аппроксимируют каждый из участков экспоненциально затухающей синусоидой, строят амплитудные зависимости коэффициента затухания и частоты, затем аппроксимируют эти зависимости полиномиальными функциями и рассчитывают значения коэффициента затухания и частоты колебаний при нулевой амплитуде путем экстраполяции полученных амплитудных зависимостей.



(a)

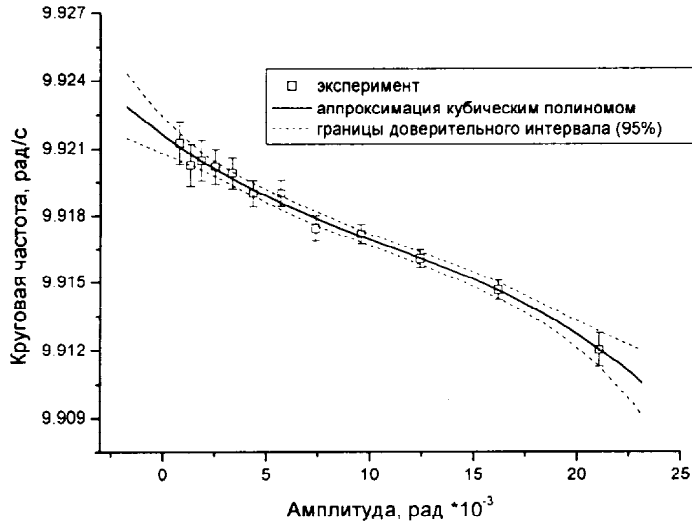


(б)

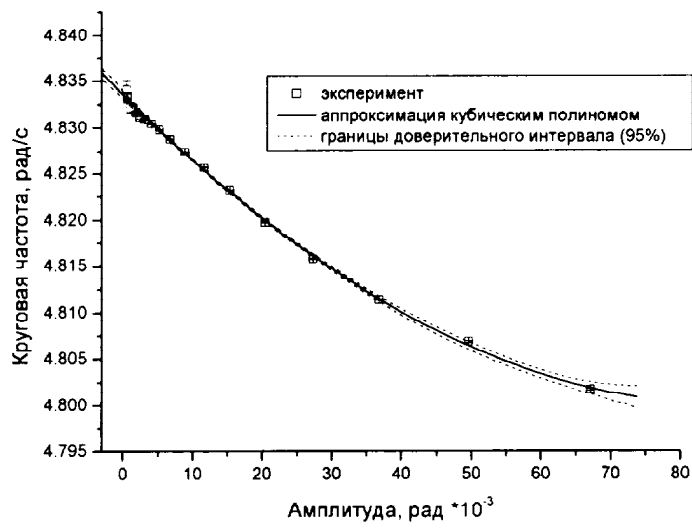


(в)

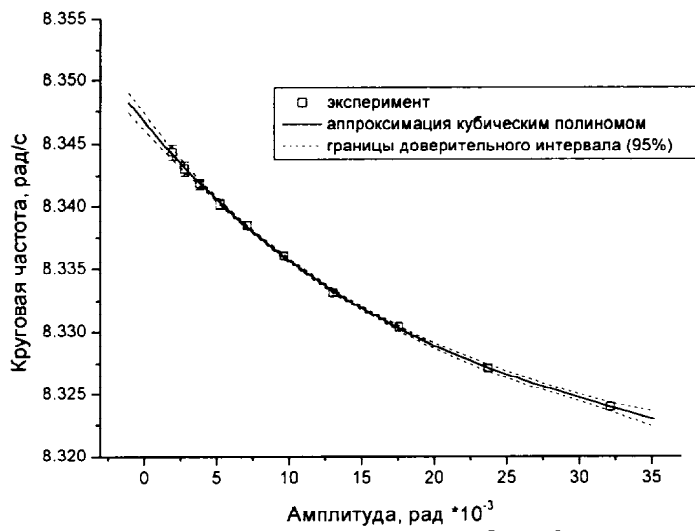
Фиг. 2



(a)



(б)



(в)

Фиг. 3