

УДК 620.179

© О. А. Приходько, В. В. Манойлов

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОДУЛЯ НОРМАЛЬНОЙ УПРУГОСТИ МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ФУРЬЕ АКУСТИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ ОБРАЗЦА (краткое сообщение)

Описывается аппаратное и программное обеспечение устройства для определения модуля нормальной упругости материала. Действие устройства основано на измерении резонансной частоты акустических колебаний образца, вызванных импульсным механическим ударом. Акустические колебания регистрируются в широком диапазоне частот, записываются в память компьютера и подвергаются преобразованию Фурье. С помощью полученного преобразованием Фурье частотного представления сигнала находится резонансная частота и вычисляется модуль упругости.

Кл. сл.: методы неразрушающего контроля материалов, акустические устройства, модуль нормальной упругости, модуль Юнга, преобразование Фурье, анализ в частотной области, резонансная частота

ПОСТАНОВА ЗАДАЧИ

Модуль упругости — это математическое представление способности тел или веществ упруго деформироваться при приложении к ним силы. Модуль упругости (модуль Юнга) характеризует сопротивление материала растяжению/сжатию при упругой деформации, или свойство объекта деформироваться вдоль оси при воздействии силы вдоль этой оси и определяется как отношение напряжения к удлинению.

Широко известны акустические устройства [1, 2, 3] для определения модуля упругости, основанные на измерении резонансной частоты колебаний образцов в результате воздействия на образец акустических волн с последовательным изменением их частот. Образец устанавливают между двумя пьезоэлементами (датчиком и приемником) и плавно повышают частоту генератора акустических волн до тех пор, пока не будет достигнута резонансная частота, соответствующая собственным колебаниям образца [1, 3]. Сигнал от приемника наблюдают на осциллографе и по максимуму этого сигнала определяют резонансную частоту.

Для измерения резонансной частоты f образец подвергается вынужденным колебаниям, изменяя частоту которых находят резонанс — резкое увеличение амплитуды колебаний образца при приближении частоты вынужденных колебаний к частоте собственных колебаний. Измеренная таким образом частота f подставляется в формулу

$$E=1.64 \cdot m \cdot L^3 \cdot f^2 / d^4,$$

где E — модуль нормальной упругости, L — длина, d — диаметр, m — масса образца. Источником вынужденных колебаний является звуковой генератор, вырабатывающий электрические сигналы синусоидальной формы, которые с помощью датчика преобразуются в механические колебания образца, подвешенного на нитях. Колебания образца воспринимаются приемником и преобразуются в электрические импульсы, поступающие на осциллограф. Частота колебаний определяется по шкале генератора или с помощью частотомера.

Полученные результаты анализируются на основе представлений о физической природе влияния состава сплавов и их структуры на модуль упругости. Однако в таком устройстве используется ручная плавная регулировка частоты колебаний, приблизительное определение максимума по экрану осциллографа, ручная обработка результатов эксперимента и значительные затраты времени на проведение эксперимента в целом.

Известно также устройство для измерения характеристик упругости материалов [2] с помощью акустического воздействия путем измерения резонансных частот исследуемых образцов, основанной на обеспечении настройки на резонансную частоту по максимуму амплитуды изменением только фазы колебаний, что позволяет упростить способ, но не исключает также ручной настройки на резонансную частоту и требуются дополнительные технические средства, такие как система обратной связи и фазовращатель.

Недостатки упомянутых устройств состоят в том, что задающий генератор имеет погрешности

установки частоты колебаний и их формы. Пьезодатчик и пьезоприемник создают дополнительные погрешности за счет их нелинейности. Определение максимума амплитуды колебаний с помощью осциллографа производится по линиям на стекле экрана, что вносит неточность; изменение частоты задающего генератора и обработку результатов измерений приходится производить вручную; подвес образца на нитях требует некоторого смещения из-за узлов колебаний, для того чтобы не нарушать условий обеспечения свободных колебаний за счет смещения центра в узлах стоячих волн.

Целью данной работы являлось сокращение времени эксперимента за счет возбуждения колебаний образца одновременно на всех частотах, устранение погрешностей частоты и формы колебаний на всех этапах эксперимента, автоматизация процесса измерений и обработки результатов.

АППАРАТНОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УСТРОЙСТВА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МОДУЛЯ НОРМАЛЬНОЙ УПРУГОСТИ

В настоящей работе для решения указанных выше задач предлагается использовать импульсный механический удар, который воздействует на образец. В образце возникают затухающие механические колебания на нескольких частотах, в том числе на резонансных. Механические колебания образца возбуждают акустические волны звуковых частот, которые через микрофон регистрируются в памяти компьютера. С помощью компьютерной программы зарегистрированные сигналы акустических волн звуковых частот подвергаются преобразованию Фурье. Максимум сигнала после преобразования Фурье соответствует основной резонансной частоте колебаний образца. Поиск максимума в сигнале после преобразования Фурье и определение модуля нормальной упругости по вышеприведенной формуле производится в компьютере. Полученные в результате вычислений значения f и E выводятся на экран монитора компьютера. Структурная схема устройства, реализующего предлагаемый алгоритм определения модуля нормальной упругости, представлена на рис. 1.

По команде компьютера 1 через COM-port 2 подается сигнал для создания механического импульсного однократного удара с помощью датчика 3. Датчик 3 представляет собой электрическую катушку со стальным сердечником, который под действием электрического сигнала производит удар по образцу 4, подвешенному на нитях 5. Под действием удара в образце возникают затухающие механические колебания, а в воздушной среде вокруг него возбуждаются акустические волны. Акустические волны с помощью микрофона 6

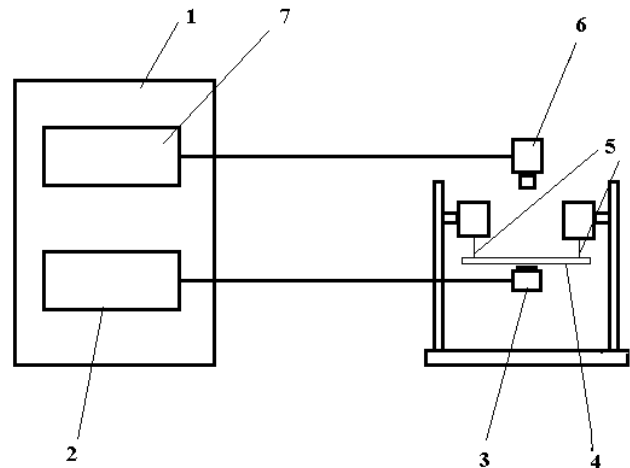


Рис. 1. Структурная схема устройства. 1 — компьютер, 2 — COM-port, 3 — датчик, 4 — образец, 5 — нити, 6 — микрофон, 7 — микрофонный вход компьютера

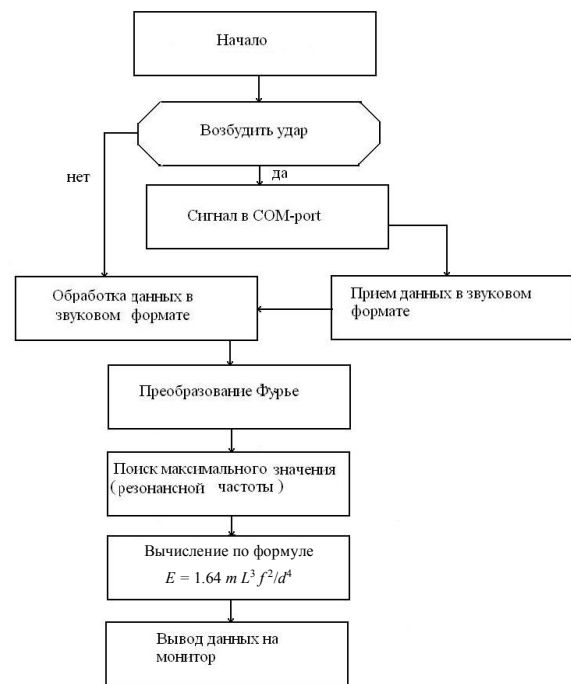


Рис. 2. Блок-схема компьютерной программы

преобразуются в электрические сигналы, которые через микрофонный вход 7 поступают в компьютер 1 и записываются в его память. Полученные в памяти данные подвергаются математической обработке с помощью компьютерной программы. Блок-схема компьютерной программы представлена на рис. 2.

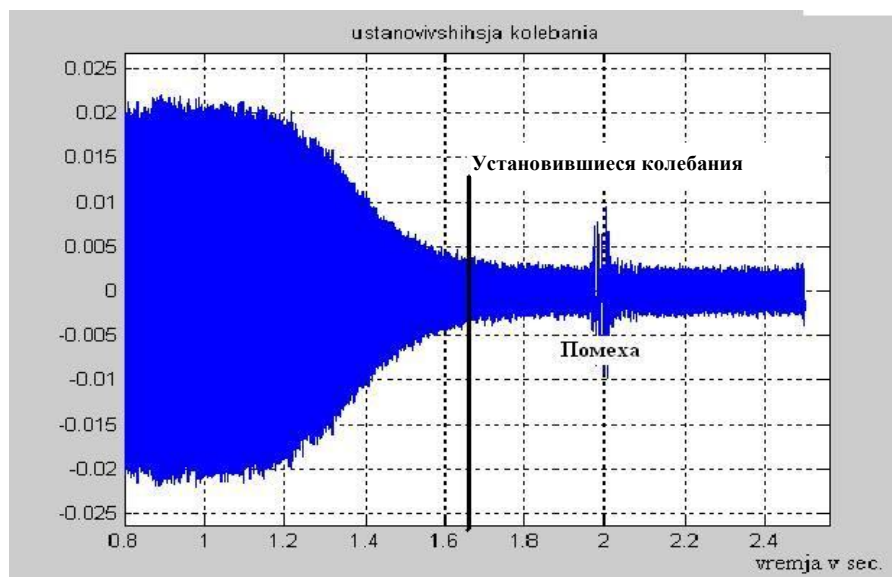


Рис. 3. Затухающие в образце акустические колебания после механического удара с выделенным участком установившихся колебаний

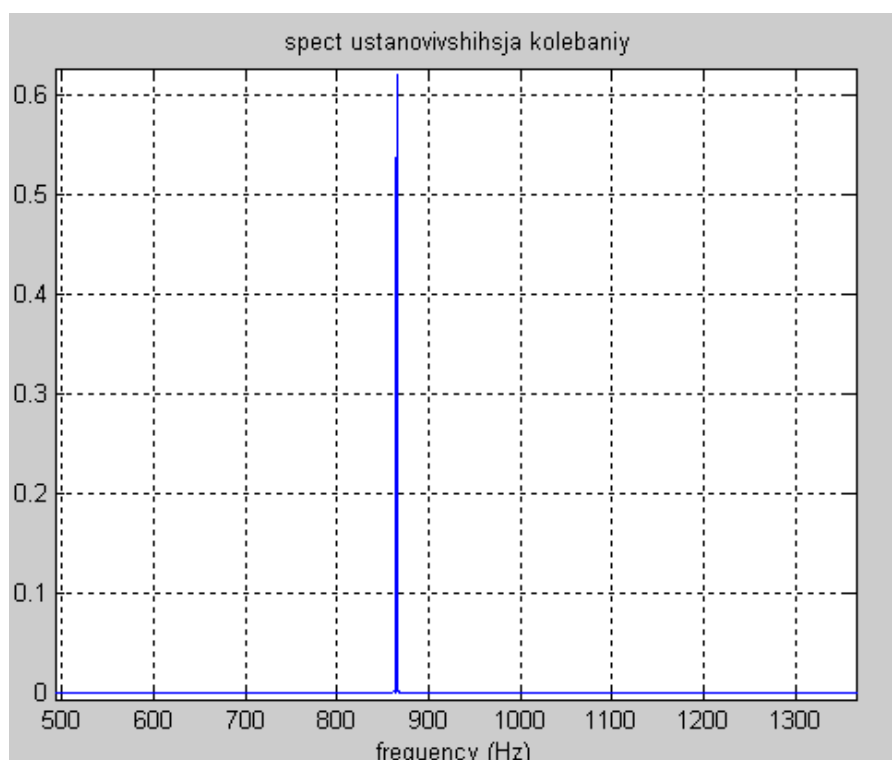


Рис. 4. Резонансная частота затухающих в образце колебаний, полученная с помощью преобразования Фурье

В программе предусмотрено два режима:

- 1) возбуждение колебаний с последующей обработкой звуковых файлов;
- 2) обработка ранее записанных в памяти компьютера звуковых файлов.

Эти два режима отражены в двух ветвях программы.

На рис. 3 и 4 представлены сигналы затухающих свободных колебаний и их преобразование

Фурье. Затухающие колебания на рис. 3 являются суммой гармонических сигналов различных частот, в том числе резонансной. С помощью преобразования Фурье определяются значения частот и амплитуд отдельных составляющих суммарного сигнала. При выделении в сигнале участка установившихся колебаний (рис. 3), т. е. колебаний

с практически постоянной амплитудой, в результате математической обработки такого сигнала получается спектр с сильно выделяющимся пиком на одной из частот, которая является резонансной. По данным сигнала, полученного после преобразования Фурье, находят максимальное значение и соответствующую ему частоту (рис. 4). Однако сильно выделяющийся по амплитуде пик в спектре сигнала может появляться и при наличии кратковременных низкочастотных помех, например, таких как показано на рис. 3.

Устройство и программа многократно опробовались на одном и том же образце. В качестве образца использовался металлический цилиндр длиной 120 и диаметром 8 мм. Вычисленные при этом значения средней квадратичной погрешности измерений модуля упругости не превышали 0.5 %, среднее значение практически совпало со значением модуля упругости, которое определялось другими способами.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Описанное аппаратное и программное обеспечение дает возможность автоматизировать процесс измерения и обработки результатов, значительно сократить время эксперимента и одновременно снизить погрешность измерения модуля нормальной упругости образца, а также устранить погрешности частоты и формы сигнала, задаваемого генератором. Устройство было реализовано с использованием недорогих стандартных элементов, таких как простейший микрофон, простейшая звуковая карта, стандартный компьютер.

Кроме определения модуля упругости, данный способ, основанный на использовании механического удара и преобразования Фурье, может быть использован также для определения жесткости механических конструкций и их резонансных частот. Описываемое в работе устройство может быть использовано для определения резонансной частоты образца и модуля нормальной упругости материала без его пластической деформации в таких областях, как материаловедение, машиностроение, приборостроение и др.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 25095-82. Сплавы твердые спеченные. Метод определения модуля упругости (модуля Юнга).
2. Заявка РФ на изобретение 92012893/28, кл. МКИ G 01 N, 29/12, опубл. 20.08.95.
3. Ключев В.В. Приборы для неразрушающего контроля материалов изделий. М.: Машиностроение, 1986. 488 с.

Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики (Приходько О.А.)

Институт аналитического приборостроения РАН, Санкт-Петербург (Манойлов В.В.)

Материал поступил в редакцию 4.05.2009.

DETERMINATION OF COEFFICIENT OF ELASTICITY OF THE MATERIAL ON THE BASE OF FOURIER TRANSFORMATION OF ACOUSTIC VIBRATIONS OF THE SAMPLE (SHORT COMMUNICATION)

O. A. Prihodko¹, V. V. Manoylov²

¹*Saint-Petersburg State University of Information Technologies, Mechanics and Optics*

²*Institute for Analytical Instrumentation RAS, Saint-Petersburg*

The hardware and software of the unit for determination of the coefficient of elasticity of the material is described. The unit is based on the measurement of resonance frequency of acoustic vibrations, which is caused by pulsing mechanical impact. Acoustic vibrations are recorded in high frequency range in the computer memory and then Fourier transformation is executed. The resonance frequency is defined with the help of the signal after Fourier transformation, and then coefficient of elasticity is calculated.

Keywords: nondestructive methods for material check, acoustic estimator, coefficient of elasticity, Fourier transformation, resonance frequency