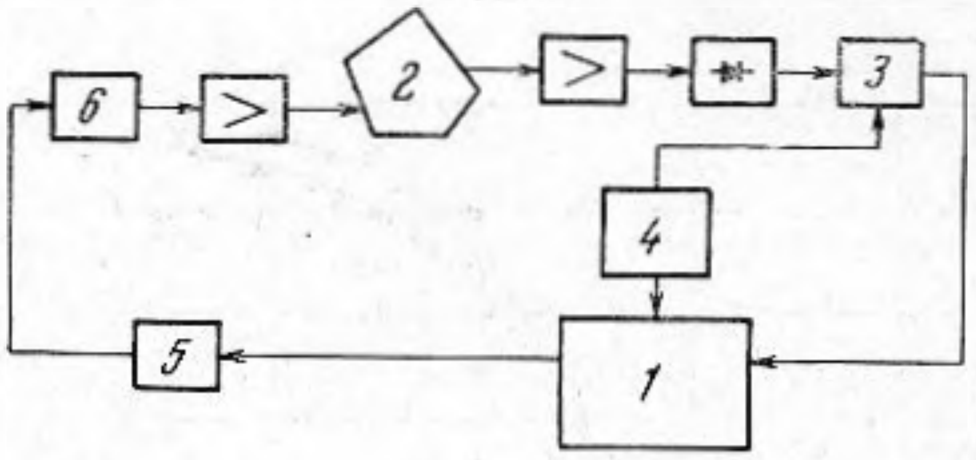
УДК 534.6.08

УПРАВЛЕНИЕ ВИБРОАКУСТИЧЕСКИМИ ИЗМЕРЕНИЯМИ С ПОМОЩЬЮ ЦВМ

Г. С. Любашевский, Б. Д. Тартаковский

Изучение колебательных свойств сложных механических структур в настоящее время требует использования многомерной информации и разнообразных способов ее обработки. Решение таких задач затруднительно, если идти по пути создания аналоговых приборов узкого назначения. Кроме того, аналоговые методы проведения эксперимента последовательно при всех возможных комбинациях аргументов, число которых все время возрастает, являются неприемлемыми вследствие большого времени, необходимого для обработки получаемых данных. Поэтому наблюдаемая тенденция использования ЦВМ для обработки экспериментальных данных [1] является закономерной и оправданной.



Фиг. 1

Однако при использовании ЦВМ для автоматизации обработки результатов измерений вибраций сложных структур, программа измерений устанавливается экспериментатором, как правило, по ограниченному объему априорных сведений об изучаемом объекте. Принять во внимание информацию, получаемую в процессе самих измерений, экспериментатору практически невозможно и в результате страдает гибкость эксперимента и время проведения эксперимента оказывается в ряде случаев чрезмерно большим. Между тем, при замыкании контура «объект исследования — ЦВМ» своего рода обратной связью появляется возможность использовать накопленную в памяти ЦВМ информацию об исследуемом объекте и оперативно влиять на программу измерений непосредственно в процессе эксперимента.

Требования к алгоритму управления процессом экспериментального исследования поведения не заданной аналитически и в общем случае многоэкстремальной функции, например частотной характеристики, формулируется следующим образом. Исследуемую функциональную зависимость $F(c)$ на конечном интервале изменения аргумента $c_{\text{нач}} \leqslant c \leqslant c_{\text{кон}}$ требуется представить минимальной совокупностью точек. При этом предполагается, что интервал между соседними точками, H, может принимать только дискретные значения в диапазоне $h_{\min} \leqslant H \leqslant 2^n h_{\min}$, где $h_{\min}$ — минимальное приращение аргумента и n — целое число.

Положим, что при некоторых последовательных значениях аргументов c_1, $c_2, \ldots, c_i, \ldots, c_{i+3}$ уже известны значения функции $F(c_1)$, $F(c_2), \ldots, F(c_i), \ldots$ $\ldots, F(c_{i+3})$. На основе имеющейся информации требуется выбрать наилучшую программу дальнейшего эксперимента таким образом, чтобы при минимуме общего числа измерений были найдены с заданной точностью все экстремумы функции, имеющие априори известные предельные параметры.

Алгоритм программы формулируется в следующем виде [2]:

$$[\operatorname{sign}(\Delta F_{i+1}) \cdot \operatorname{sign}(\Delta F_{i+2}) \geqslant 0 \wedge \operatorname{sign}(\Delta F_{i+1}) \operatorname{sign}(\Delta F_{i+3}) \geqslant 0] \qquad \text{(A)}$$
$$\wedge\, |F(c_{i+3}) - L(c_{i+3})| \leqslant \varepsilon,$$

где $L(c_{i+3})$ — экстраполяционное значение полинома Лагранжа $L(c) = \sum\limits_{\xi=1}^{i+2} L_\xi(c) \times$ $\times F(c_\xi)$, L_ξ — коэффициент полинома Лагранжа, ε — параметр,

$$\operatorname{sign}(\Delta F_{i+q}) = \begin{cases} -1 & \text{при } F(c_{i+q}) - F(c_{i+q-1}) < 0 \\ 0 & \text{при } F(c_{i+q}) - F(c_{i+q-1}) = 0 \\ 1 & \text{при } F(c_{i+q}) - F(c_{i+q-1}) > 0 \end{cases}$$

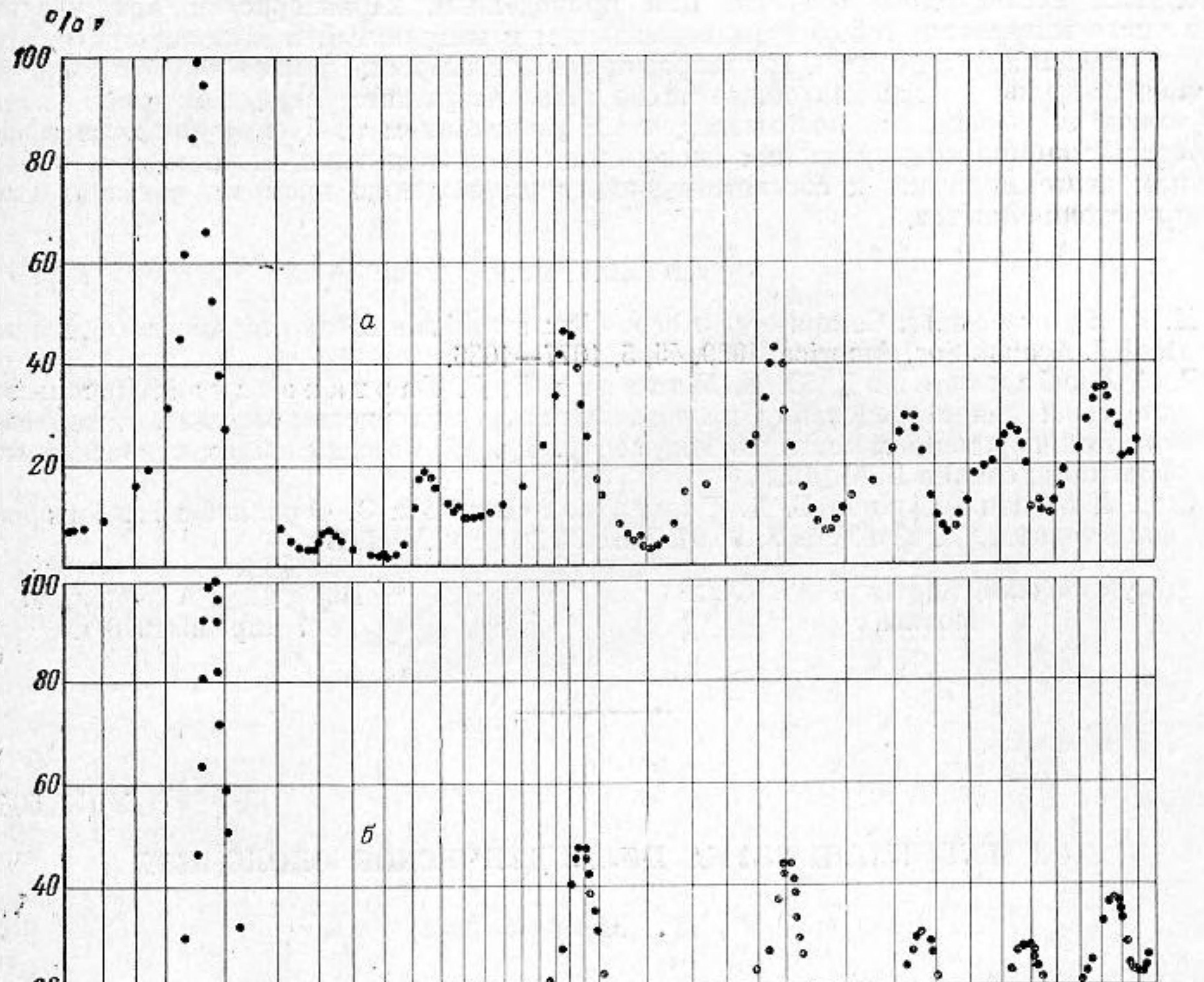
и $q = 1, 2, 3$.

Если условие (A) выполняется, то при $c_{i+3} - c_{i+2} = 2^p h_{\min}$, где p — целое число,

$$c_{i+4} = c_{i+3} + H, \quad \text{где} \quad H = \begin{cases} 2^{p+1} h_{\min} & \text{при } p + 1 \leqslant n \\ 2^n h_{\min} & \text{при } p + 1 > n. \end{cases}$$

Если условие (A) не выполняется, то $c_{i+4} = c_{i+1} + H$ и $c_{i+5} = c_{i+4} + H$, где $H = 2^{p-1}$ при $p \geqslant 1$, и $c_{i+4} = c_{i+3} + H$, где $H = h_{\min}$ при $p = 0$.

Приведенные условия позволяют изменять приращение аргумента в зависимости от информационной ценности локальных участков исследуемой зависимости и обеспечивают сходимость процесса поиска экстремумов функции при выбранной дискретности изменения аргумента $h_{\min}$. Разумеется, величины $h_{\min}$ и n задаются исходя из конкретных требований точности.



Фиг. 2

Нами было проведено программированное экспериментальное исследование частотных характеристик многослойных пластин в диапазоне частот 150—8000 *гц* с применением ЦВМ «Минск». Структурная схема эксперимента, приведенная на фиг. 1, является частью более общей многоконтурной схемы автоматического проведения эксперимента [3]. Здесь приняты обозначения: *1* — ЦВМ, *2* — исследуемый объект, *3* — цифровой вольтметр-преобразователь аналог-код, *4* — устройство управления и синхронизации, *5* — дешифратор команды, *6* — генератор частоты возбуждения. На фиг. 2, *а*, *б*, *в* приведены полученные частотные характеристики при $h_{\min} = 0{,}32 \cdot 2^{-n}$, где $h_{\min} = \ln\left(1 + \frac{\Delta f_{\min}}{f}\right)$ и $n = 5, 6, 7$ соответственно. Плотность точек измерений значительно выше на участках вблизи экстремумов исследуемой функции, что и является следствием автоматической адаптации процесса измерения к реальным свойствам исследуемого объекта. Для приведенных характеристик при увеличении числа интервалов n между максимальным и минимальным приращениями аргумента на единицу плотность группировки точек измерений вблизи экстремумов увеличивается вдвое, тогда как общее число точек возрастает в среднем приблизительно только в 1,5 раза. Это показывает, что с увеличением требуемой точности эффективность машинного управления экспериментом существенно возрастает, что в конечном счете приводит к соответствующему уменьшению времени, затрачиваемого на проведение опытов.

ЛИТЕРАТУРА

1. M. R. Schraeder. Computers in acoustics: symbiosis of an old science and a new tool. J. Acoust. Soc. America, 1969, **45**, 5, **1077—1086**.
2. Г. С. Любашевский, Ю. И. Матвеев, Б. Д. Тартаковский. Использование ЦВМ для исследования колебательных характеристик механических объектов при переменном шаге по аргументу. Тр. VI Всесоюзной акустической конференции, секция В. М., 1968.
3. Г. С. Любашевский, Б. Д. Тартаковский, В. Э. Фришберг. Авторское свидетельство № 224838 от 31.05.67. Бюл № 26 от 12.VIII.68 г.

Акустический институт АН СССР
Москва

Поступило в редакцию
7 апреля 1970 г.

УДК 534.26

ОБ ИЗЛУЧЕНИИ ЗВУКА ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ОБОЛОЧКОЙ

Р. Н. Михайлов

Как известно, из рассмотрения задачи Рэлея об излучении для бесконечной плоской пластины, по которой бежит плоская волна $e^{ikx-i\omega t}$, где k — волновое число бегущей волны, x — направление распространения, ω — круговая частота, t — время, следует, что излучение отсутствует, если $k_{\text{ср}} < k$ ($k_{\text{ср}}$ — волновое число в среде), т. е. фазовая скорость в среде больше, чем в пластине.

Рассматривая изгибную плоскую волну, бегущую по бесконечной пластине, можно сделать вывод, что $k > k$ только на очень высоких частотах. Ситуация в корне изменяется, если рассматривать такие структуры, где могут существовать нормальные волны, обладающие дисперсией. Может случиться, что нормальная волна имеет волновое число $k = 0$. В некоторой окрестности резонансной частоты ($k = 0$) может выполняться условие излучения $k_{\text{ср}} > k$.

В качестве примера такой структуры рассмотрим замкнутую цилиндрическую оболочку с толщиной стенки h и радиусом кривизны R, смещение в которой можно представить в виде

$$w = w_0 e^{\pm in\varphi} e^{ik\alpha - i\omega t}, \tag{1}$$

где φ — угол, α — длина вдоль образующей параллельной оси z в цилиндрической системе координат. Смещение w удовлетворяет уравнению движения, приведенному в работе [1].

Уравнение для звукового давления имеет вид

$$\Delta p + k_{\text{ср}}^2 p = 0, \tag{2}$$

где Δ — оператор Лапласа. Граничное условие на поверхности оболочки имеет вид

$$\rho_{\text{ср}} \frac{\partial v}{\partial t} = - \frac{\partial p}{\partial r}\bigg|_{r=R}. \tag{3}$$

Здесь $\rho_{\text{ср}}$ — плотности среды, v — нормальная скорость колебаний оболочки, причем

$$v = -\frac{w}{i\omega} e^{\pm in\varphi}. \tag{4}$$

Звуковое давление p ищем в виде

$$p(r, z, \varphi) = e^{\pm in\varphi} p(r, z). \tag{5}$$