

ТЕХНИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

В. М. ХУДАВЕРДЯН

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЧАСТОТЫ СВОБОДНЫХ КОЛЕБАНИЙ  
НЕКОТОРЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ  
ПО УНИСОНУ НА СЛУХ

В неdestructивных методах исследований знание динамического модуля упругости материала имеет важное значение.

За последние годы предложено и осуществлено много способов определения частоты свободных колебаний образца, нужной для нахождения динамического модуля упругости материала. Эти способы связаны с применением достаточно сложной аппаратуры.

Опыты, проведенные нами в Институте строительных материалов и сооружений АН Армянской ССР, показали, что частота свободных колебаний образцов многих строительных материалов с вполне достаточной точностью может быть определена по унисону на слух. Для этого необходимо иметь лишь источник звука переменной частоты. В качестве такового мы пользовались звуковым генератором ЗГ-10 с передачей колебаний на репродуктор.

Само определение в наших опытах крайне просто. По образцу постукивают молоточком. Тон звучания образца сравнивается на слух с тоном звучания генератора. Вращением ручки шкалы частоты генератора достигается на слух унисон между тоном звучания образца и звучанием генератора, после чего искомая частота свободных колебаний образца читается на шкале частоты генератора.

Следует отметить, что удовлетворительным для восприятия тона звучанием обладают, особенно в сухом состоянии, бетоны различных видов — тяжелые и легкие, камни разных пород и другие строительные материалы. Влажное состояние образца хоть несколько и ухудшает его звучание, но при этом все же вполне возможно определение частоты его свободных колебаний описанным методом.

В случае образца, обладающего звонким звучанием, можно слышать биение, если тон звучания генератора достаточно приблизить к тону звучания образца. Медленным вращением ручки шкалы частоты в ту или другую сторону уничтожают биение, чем и достигается унисон между двумя звучаниями.

Ухо достаточно чутко к изменению частоты колебаний. При нормальном слухе изменение частоты колебаний не более чем на один процент уже воспринимается как изменение тона. Так, на звуковом генераторе ЗГ-10 в диапазоне частот 100—500 гц (герц) можно вос-

принять изменение тона при изменении частот на 1—5 гц, в диапазоне 500—1000 гц, — при изменении частот на 5—10 гц, в диапазоне 1000—3000 гц, — при изменении частот на 10—20 гц.

Следует отметить, что применяемые для определения динамического модуля упругости образцы различных строительных материалов обычно имеют частоту свободных колебаний в пределах 500—2500 гц, что соответствует музыкальному диапазону  $\sim do_4$  —  $mi_4$  и хорошо усваиваемо. При частоте свободных колебаний образца свыше 2000 гц лучше настроить генератор на нижнюю октаву звучания образца и удвоить отсчет по шкале генератора.

Нами проводились опыты для определения по унисону на слух частоты свободных колебаний образцов различных бетонов и туфовых камней с целью выявления точности такого определения. Бетонные образцы в виде призм размерами  $\sim 10 \times 10 \times 41$  см были приготовлены из тяжелого бетона, бетона на литондидной пемзе, туфобетона и пемзобетона. Образец тяжелого бетона — нормально-влажного хранения, образцы легких бетонов — летнего (воздушно-сухого) хранения. Каменные образцы — призмы  $\sim 5 \times 5 \times 25$  см — были приготовлены из арктического туфа, туфов ереванского типа (красного и черного) и фельзитового туфа.

Опыты по определению частоты свободных колебаний проводились следующим образом. Бумагой закрывалась шкала частот генератора. По образцу постукивали молоточком и вращением ручки шкалы генератора достигался на слух унисон между звучанием образца и репродуктора, после чего отодвигался край бумаги и брался отсчет по шкале. Затем вращением ручки сбивалась позиция шкалы, отпускалась бумага и шкала закрывалась. После этого определение повторялось снова.

По каждому образцу мы проводили 10 определений и таким образом получали 10 более или менее близких значений частоты колебаний. Для этих значений вычислялись динамические модули упругости  $E$ .

В соответствии с [1, стр. 227] и [2] для определения значений  $E$  мы пользовались формулой:

$$E = T \frac{4\pi^2 l Q}{m^2 l g} N^2, \quad (1)$$

где  $l$ ,  $I$ ,  $Q$  и  $N$  соответственно означают длину, момент инерции поперечного сечения, вес и частоту свободных колебаний образца:

$m$  — величина, зависящая от типа колебаний; для колебаний первого тона  $m = 4,730$  (образец со свободными концами);

$T$  — коэффициент, зависящий от отношения поперечных размеров образца к его длине и от коэффициента Пуассона;

$g$  — ускорение силы тяжести.

Значения коэффициента  $T$  мы определяли из зависимости [3]:

$$T = 1 + 81,79 \left(\frac{r}{l}\right)^2 - \frac{1314 \left(\frac{r}{l}\right)^4}{1 + 81,09 \left(\frac{r}{l}\right)^2} - 125 \left(\frac{r}{l}\right)^4. \quad (2)$$

где  $r$  — радиус инерции поперечного сечения образца,  
 $l$  — его длина.

Эта зависимость дана для бетона при коэффициенте Пуассона  $= 1/6$ .  
 Значения  $T$  для туфовых образцов взяты из [4].

В табл. 1 приведены результаты опытов и значения динамического модуля упругости, в табл. 2 — результаты статистической обработки данных табл. 1.

Данные табл. 2 говорят о том, что описанный метод определения частоты свободных колебаний бетонных и каменных образцов обеспечивает получение результатов вполне достаточной точности.

Для объективной оценки указанного метода частоты свободных колебаний бетонных образцов №№ 32, 49 и 67 были определены (по 10 раз) также другим инструментальным способом, не прибегая к помощи слуха, а именно способом, описанным в работе [5]. Результаты этих определений показали, что расхождения средних значений частот колебаний, найденных двумя указанными способами, закономерно и находятся в пределах 0,7—1,6%. При этом вариационный коэффициент при определении частоты свободных колебаний по унисону на слух ниже.

Преимущество метода определения частоты свободных колебаний образца по унисону на слух по сравнению с другими методами — простота и быстрота определения при надлежащей точности, отсутствие сложной аппаратуры.

Предлагаемый метод дает возможность определять частоту свободных колебаний образца произвольно больших размеров, между тем, как методами, основанными на использовании явления резонанса, можно определить частоту свободных колебаний образца ограниченных размеров, поскольку приходится сообщать ему вынужденные колебания.

При пользовании этим методом среднее арифметическое частоты свободных колебаний  $N_{\text{ср}}$  достаточно определить по 5 значениям  $N$ . Среднее значение  $E$  следует непосредственно вычислить по  $N_{\text{ср}}$ , минуя нахождение частных значений  $E$ .

Не должна пугать „субъективность“ этого метода, ибо от слуха требуется лишь решение элементарной задачи — уловить унисон между двумя звучаниями.

Следует отметить, что аналогичным путем определяли частоту свободных колебаний керамических стержней Олт и Юлц [6] при исследовании влияния температуры на модуль упругости различных керамиков.

Нормальный слух — он имеется у значительной части людей — надежный помощник экспериментатора и им возможно пользоваться в экспериментальной работе.

Таблица 1

Значения частоты свободных колебаний  $N$  и динамического модуля упругости  $E$  бетонных и каменных образцов

Тяжелый бетон. Образец № 11 (нормально-влажностного хранения)		Литондлемябетон. Образец № 32 (летнего хранения)		Туфобетон. Образец № 41 (летнего хранения)		Пемзабетон. Образец № 17 (летнего хранения)		Туф армянский		Туф ереванский. типа, красный		Туф ереванский. типа, черный		Туф фельзитовый	
$N$ гц	$E \cdot 10^{-3}$ кг/см <sup>2</sup>	$N$ гц	$E \cdot 10^{-3}$ кг/см <sup>2</sup>	$N$ гц	$E \cdot 10^{-3}$ кг/см <sup>2</sup>	$N$ гц	$E \cdot 10^{-3}$ кг/см <sup>2</sup>	$N$ гц	$E \cdot 10^{-3}$ кг/см <sup>2</sup>	$N$ гц	$E \cdot 10^{-3}$ кг/см <sup>2</sup>	$N$ гц	$E \cdot 10^{-3}$ кг/см <sup>2</sup>	$N$ гц	$E \cdot 10^{-3}$ кг/см <sup>2</sup>
2020	310	1265	77,0	1135	70,5	1135	45,1	1230	31,3	1825	120,4	1595	74,0	2000	134,4
2035	345	1265	77,0	1130	70,0	1125	44,3	1240	31,8	1810	118,6	1610	75,3	1990	133,0
2030	344	1265	77,0	1140	71,1	1110	45,5	1225	31,0	1820	119,9	1610	75,3	2010	135,5
2025	342	1270	77,7	1133	70,0	1130	44,7	1240	34,8	1830	121,2	1600	74,5	1980	131,5
2025	342	1280	76,5	1130	70,0	1125	44,3	1235	31,5	1830	121,2	1610	75,3	2010	135,0
2035	345	1270	77,7	1140	71,1	1130	44,7	1230	34,3	1830	121,2	1515	74,0	1995	133,7
2020	340	1270	77,7	1125	69,3	1130	44,7	1240	34,8	1820	119,9	1605	74,9	1980	131,5
2040	347	1270	77,7	1130	70,0	1130	44,7	1225	31,0	1810	118,6	1515	74,0	1990	133,0
2020	340	1260	76,5	1135	70,5	1115	43,5	1230	31,3	180	119,9	1605	74,9	2010	135,5
2020	310	1270	77,7	1130	70,0	1135	45,1	1215	35,2	1805	118,0	1595	74,0	2000	134,4

Таблица 2

Результаты статистической обработки данных табл. 1

Образец	Показатель	Среднее арифметическое	Среднее квадратич. отклонение	Средняя ошибка среднего арифметического	Вариаци. коэф. %	Показатель точности %
Тяжелый бетон (влажное хранение)	N	2027 гц	$\pm 7,5$ гц	$\pm 2,4$ гц	$\pm 0,37$	$\pm 0,12$
	E	342500 кг/см <sup>2</sup>	$\pm 2592$ кг/см <sup>2</sup>	$\pm 820$ кг/см <sup>2</sup>	$\pm 0,76$	$\pm 0,24$
Литондемзобетон (летнее хранение)	N	1266 гц	$\pm 4,1$ гц	$\pm 1,31$ гц	$\pm 0,33$	$\pm 0,10$
	E	77250 кг/см <sup>2</sup>	$\pm 510$ кг/см <sup>2</sup>	$\pm 161$ кг/см <sup>2</sup>	$\pm 0,66$	$\pm 0,21$
Туфобетон (летнее хранение)	N	1132 гц	$\pm 4,9$ гц	$\pm 1,5$ гц	$\pm 0,43$	$\pm 0,14$
	E	70250 кг/см <sup>2</sup>	$\pm 557$ кг/см <sup>2</sup>	$\pm 176$ кг/см <sup>2</sup>	$\pm 0,79$	$\pm 0,25$
Пемзобетон (летнее хранение)	N	1130 гц	$\pm 6,9$ гц	$\pm 2,17$ гц	$\pm 0,61$	$\pm 0,19$
	E	41660 кг/см <sup>2</sup>	$\pm 518$ кг/см <sup>2</sup>	$\pm 173$ кг/см <sup>2</sup>	$\pm 1,23$	$\pm 0,39$
Туф арктический	N	1231 гц	$\pm 7,0$ гц	$\pm 2,2$ гц	$\pm 0,57$	$\pm 0,18$
	E	34500 кг/см <sup>2</sup>	$\pm 392$ кг/см <sup>2</sup>	$\pm 124$ кг/см <sup>2</sup>	$\pm 1,14$	$\pm 0,36$
Туф среванского типа, красный	N	1820 гц	$\pm 9,1$ гц	$\pm 2,9$ гц	$\pm 0,50$	$\pm 0,16$
	E	119900 кг/см <sup>2</sup>	$\pm 1170$ кг/см <sup>2</sup>	$\pm 370$ кг/см <sup>2</sup>	$\pm 0,98$	$\pm 0,31$
Туф среванского типа, серый	N	1602 гц	$\pm 6,7$ гц	$\pm 2,1$ гц	$\pm 0,42$	$\pm 0,13$
	E	74000 кг/см <sup>2</sup>	$\pm 587$ кг/см <sup>2</sup>	$\pm 186$ кг/см <sup>2</sup>	$\pm 0,79$	$\pm 0,25$
Туф фельзитовый	N	1996 гц	$\pm 11,6$ гц	$\pm 3,7$ гц	$\pm 0,58$	$\pm 0,18$
	E	133750 кг/см <sup>2</sup>	$\pm 1481$ кг/см <sup>2</sup>	$\pm 469$ кг/см <sup>2</sup>	$\pm 1,11$	$\pm 0,35$

## З а к л ю ч е н и е

Результаты проведенных опытов показывают, что частота свободных колебаний бетонных и каменных образцов может быть с вполне достаточной точностью определена по унису на слух.

Этот метод прост, быстр, требует минимальную стандартную аппаратуру и может быть рекомендован для широкого применения.

Институт строительных материалов  
и сооружений АН Армянской ССР

Վ. Մ. ԽՈՒԴԱՎԵՐԴՅԱՆ

ՄԻ ՔԱՆԻ ՇԻՆԱՆՅՈՒԹԵՐԻ ԱՋԱՆ ՏԱՏԱՆՈՒՄՆԵՐԻ ՀԱՃԱՆՈՒԹՅԱՆ  
ՈՐՈՇԵԼԸ ՈՒՆԻՍՈՆՈՎ՝ ԼՍՈՂՈՒԹՅԱՄԲ

Ա մ փ ո փ ու մ

Հսկվածում նկարագրվում են՝ Հայկական ՍՍՏ ԳԱ Շինանյութերի և կառուցվածքների ինստիտուտում նեղինակի կատարած փորձերը՝ բևտանի և քարի նմուշների ազատ տատանումների հաճախությունը սենիտանով լսողությամբ որոշելու համար:

Փորձերի արդյունքները ցույց են տալիս, որ նշված նմուշների ազատ տատանումների հաճախությունը, որն անհրաժեշտ է ոչ պետքուկտիվ հետազոտություններում կարևոր պարամետր հանդիսացող նյութի առաջնականությունը գինամիկ մոդուլը գանելու համար, այդ մեխոլոգիկ կարևոր է որոշել միանգամայն բավարար ճշտությամբ:

Նկարագրված մեխոլոգի պարզ է ճշգրիտ, արագ արդյունքի է հասցնում և պահանջում է ատանդարտ նվազագույն սարքավորում: Այն կարելի է հանձնարարել լայն կիրառման համար՝ սարքերը շինանյութերի առաջնական մոդուլը գանելու նպատակով:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Тимошенко С. П. Теория колебаний в инженерном деле. ГОНТИ, М.—Л., 1931.
2. Пороцкий Е. М. и Руцук Г. М. Определение качества цемента и бетона по динамическому модулю упругости. Журн. «Цемент», № 1, 1950.
3. ASTM — Proceedings, 1945, V, 45, p. 846.
4. Ацагориян Э. А. Исследование некоторых факторов долговечности вулканических туфов. Отчет «АИС» за 1955 г.
5. Хачиян М. Г. Новый метод определения динамического модуля упругости строительных материалов. ДАН Армянской ССР, т. XX, № 1, 1955.
6. J. Amer. Ceram. Soc., 1953, 36, № 6, 199—203.