

В. М. ХУДАВЕРДЯН

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЧАСТОТЫ СВОБОДНЫХ КОЛЕБАНИЙ НЕКОТОРЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПО УНИСОНУ НА СЛУХ

В неструктивных 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 всё 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 частот 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 $\sim do_4 - pi_6$ и хорошо усваивается. 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 $\sim 10 \times 10 \times 40$ см были приготовлены из тяжелого бетона, бетона на литонидной 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:

$$E = T \frac{4\pi^2 l^3 Q}{m^4 l g} N^2, \quad (1)$$

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_{cp} достаточно определить по 5 значениям N . Среднее значение E следует непосредственно вычислить по N_{cp} , 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 частот свободных колебаний N и динамического модуля упругости E бетонных и каменных образцов

N гц	$E \cdot 10^{-3}$ кг/см ²	Литондлаембе- тон. Образец № 32 (летнего хранения)		Туробетон. Об- разец № 49 (лет- него хранения)		Пемзобетон. Об- разец № 67 (лет- него хранения)		Турф аркти- ский		Турф ереванск. типа, крас- ный		Турф ереванск. типа, черный		Турф фельзи- товый	
		N гц	$E \cdot 10^{-3}$ кг/см ²	N гц	$E \cdot 10^{-3}$ кг/см ²	N гц	$E \cdot 10^{-3}$ кг/см ²	N гц	$E \cdot 10^{-3}$ кг/см ²	N гц	$E \cdot 10^{-3}$ кг/см ²	N гц	$E \cdot 10^{-3}$ кг/см ²	N гц	$E \cdot 10^{-3}$ кг/см ²
2020	340	1265	77,0	1135	70,5	1135	45,1	1230	34,3	1825	120,4	1595	74,0	2000	134,4
2035	345	1265	77,0	1130	70,0	1125	44,3	1240	34,8	1810	118,6	1610	75,3	1990	133,0
2030	344	1265	77,0	1140	71,1	1140	45,5	1225	34,0	1820	119,9	1610	75,3	2010	135,5
2025	342	1270	77,7	1130	70,0	1130	44,7	1240	34,8	1830	121,2	1600	74,5	1980	131,5
2025	342	1260	76,5	1130	70,0	1125	44,3	1235	34,5	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	1595	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	34,0	1810	118,6	1535	74,0	1990	133,0
2020	340	1260	76,5	1135	70,5	1115	43,5	1230	34,3	1810	119,9	1605	74,9	2010	135,5
2040	340	1270	77,7	1130	70,0	1135	45,1	1215	35,2	1805	118,0	1595	74,0	2000	134,4

Результаты статистической обработки данных табл. 1

Образец	Плоскостное	Среднее арифметическое	Среднее квадратичное отклонение	Средняя ошибка среднего арифметического	Вариан. коэф. %	Показатель точности %
Тяжелый бетон (влажное хранение)	N	2027 тц	± 7,5 тц	± 2,4 тц	± 0,37	± 0,12
	E	342500 кг/см ²	± 2592 кг/см ²	± 820 кг/см ²	± 0,76	± 0,24
Лигонитцеобетон (летнее хранение)	N	1266 тц	± 4,1 тц	± 1,31 тц	± 0,33	± 0,10
	E	77250 кг/см ²	± 510 кг/см ²	± 161 кг/см ²	± 0,66	± 0,21
Туфобетон (летнее хранение)	N	1132 тц	± 4,9 тц	± 1,5 тц	± 0,43	± 0,14
	E	70250 кг/см ²	± 557 кг/см ²	± 176 кг/см ²	± 0,79	± 0,25
Пемзобетон (летнее хранение)	N	1130 тц	± 6,9 тц	± 2,17 тц	± 0,61	± 0,19
	E	44660 кг/см ²	± 548 кг/см ²	± 173 кг/см ²	± 1,23	± 0,39
Туф арктический	N	1234 тц	± 7,0 тц	± 2,2 тц	± 0,57	± 0,18
	E	34500 кг/см ²	± 392 кг/см ²	± 124 кг/см ²	± 1,14	± 0,36
Туф ерванского типа, красный	N	1820 тц	± 9,1 тц	± 2,9 тц	± 0,50	± 0,16
	E	119900 кг/см ²	± 1170 кг/см ²	± 370 кг/см ²	± 0,98	± 0,31
Туф ерванского типа, черный	N	1602 тц	± 6,7 тц	± 2,1 тц	± 0,42	± 0,13
	E	74600 кг/см ²	± 587 кг/см ²	± 186 кг/см ²	± 0,79	± 0,25
Туф фельзитовый	N	1986 тц	± 11,6 тц	± 3,7 тц	± 0,58	± 0,18
	E	133750 кг/см ²	± 1481 кг/см ²	± 469 кг/см ²	± 1,11	± 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. ԽՈՒԴԱՎԵՐԳՅԱՆ

ՄԻ ՔԱՆԻ ՇԻՆԱՆՅՈՒԹԵՐԻ ԱԶԱՏ ՏՆՏԱՆՈՒՄՆԵՐԻ ՀԱՃԱԽՈՒԹՅԱՆ
ՈՐՈՇԵԼԸ ՌԻՆԻՍՈՆՈՎ՝ ԼՍՈՂՈՒԹՅԱՄԲ

Ա մ փ ո փ ու լ մ

Հոգվածում նկարագրվում են՝ Հայկական ՍՍՌ ԳԱ Շինանյութերի և կառուցվածքների ինստիտուտում հեղինակի կատարած փորձերը՝ բետոնի և քարի նմուշների ազատ տատանումների հաճախությունը ունիստով լսողությունից որոշելու համար:

Փորձերի արդյունքները ցույց են տալիս, որ նշված նմուշների ազատ տատանումների հաճախությունը, որն անհրաժեշտ է ոչ պետրուկալի նետադատություններում կարևոր պարամետր հանգիսացող նյութի առաձգականության դինամիկ մոդուլը գտնելու համար, այդ մեթոդով կարելի է որոշել միանգամայն քափարար ճշտությունով:

Նկարագրված մեթոդը պարզ է, ճշգրիտ, արագ արդյունքի է հասցնում և պահանջում է ատանդարտ նվազագույն սարքավորում: Այն կարելի է հանձնարարել լայն կիրառման համար՝ տարբեր շինանյութերի առաձգականության մոդուլը գտնելու 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 Рушук Г. М. Определение качества цемента и бетона по динамическому модулю упругости. Журн. «Цемент», № 1, 1950.
3. ASTM — Proceedings, 1945, V, 45, p. 846.
4. Ацагорцян 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.