

С. С. ДАРБИНЯН

ЭМПИРИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРИВЕДЕННЫХ СЕЙСМИЧЕСКИХ УСКОРЕНИЙ

Рассматривается возможность эмпирического определения приведенных сейсмических ускорений в зависимости от декремента затухания и периода собственных колебаний системы с одной степенью свободы для сильных землетрясений разных интенсивностей.

Известно, что приведенные ускорения вычисляются формулой [2].

$$\tau(T, \alpha) = -\frac{2\pi}{T} \int_0^t x_0'(z) \cdot e^{-\frac{\alpha z}{T}} \sin \frac{2\pi}{T} (t-z) dz. \quad (1)$$

Вычисляя максимальные значения $\tau(T, \alpha)$, при определенном коэффициенте затухания α и известном законе колебания почвы $x_0'(t)$, для разных периодов собственных колебаний системы T получаем так называемый спектр реакции. Однако в каждом конкретном случае определение $\tau(T, \alpha)$ связано с некоторыми трудностями, по той причине, что функция $x_0'(t)$ дается графически. Поэтому интеграл (1) вычисляется численным методом на ЭВМ. Однако при наличии достаточно большого количества инструментальных данных о законе колебания почвы при землетрясении можно статистической обработкой данных получить эмпирическую формулу для определения $\tau(T, \alpha)$.

С этой целью нами было собрано около 200 акселерограмм землетрясений интенсивностью 6, 7, 8 и 9 баллов, имевших место в США и Японии. Классификация землетрясений по интенсивности была взята из литературных данных на макросейсмической основе. Затем акселерограммы всех землетрясений были табулированы и с помощью ЭВМ вычислены приведенные сейсмические ускорения по (1). После этого землетрясения перегруппированы по их спектрам реакции. В итоге получено 75 землетрясений интенсивностью 6 баллов, 70—7 баллов и 26—8 баллов, 6—9 баллов. Подробно о методе группировки землетрясений по спектрам реакций в [1, 3]. Вычисления проводились для коэффициентов затухания $\alpha = 0; 0,032; 0,064; 0,1; 0,16$ и $0,223$ ($\alpha = \frac{\delta}{\pi}$,

где δ —декремент затухания) и для пятнадцати значений T от 0,05 до 3,0 сек. Таким образом мы получили 1034 спектра реакций. Затем определили средние спектры для каждой интенсивности землетрясений. Средние спектры реакции при разных затуханиях для землетрясений интенсивностью 6, 7 и 8 баллов показаны на рис. 1—3, а зависимости приведенных сейсмических ускорений от затухания при разных значениях периода собственных колебаний, приведены на рис. 4—6.

Анализ полученных данных показывает, что коэффициент перехода от одного балла к другому для приведенных сейсмических ускорений

является переменным, притом при увеличении интенсивности I коэффициент перехода k уменьшается. В данном случае мы получили при переходе от 6 к 7 баллам $k=2,2$, от 7 к 8 $k=2,15$ и от 8 к 9 баллам $k=1,7$. Однако для установления закономерности изменения коэффициента перехода необходимо наличие большего количества инструментального материала, чем имелось в нашем распоряжении, поэтому мы принимаем k приближенно к постоянным и равным двум. Особенно мале было в данных о 9-балльных землетрясениях, из-за чего здесь не приводятся результаты вычислений для них.

Данные, приведенные на рис. 1—6, показывают, что спектры реакций для разных диапазонов изменения T имеют различный вид. Так, например, когда $T \leq 0,25$ сек, $\tau(T, \alpha)$ меняется почти линейно, а при $T \geq 0,25$ сек по закону гиперболы. С другой стороны, когда $\alpha \geq 0,1$ независимо от T , $\tau(T, \alpha)$ имеет прямолинейный характер и т. д.

На основании обработки данных получено, что с точностью 10—15% зависимость $\tau(T, \alpha)$ в функции от I , можно представить следующими эмпирическими формулами:

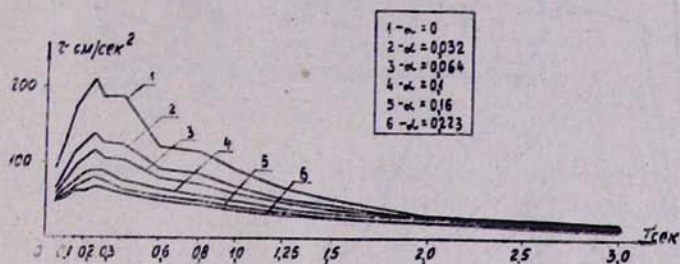


Рис. 1. Средние спектры реакции, вычисленные по 75 акселерограммам землетрясений интенсивностью 6 баллов

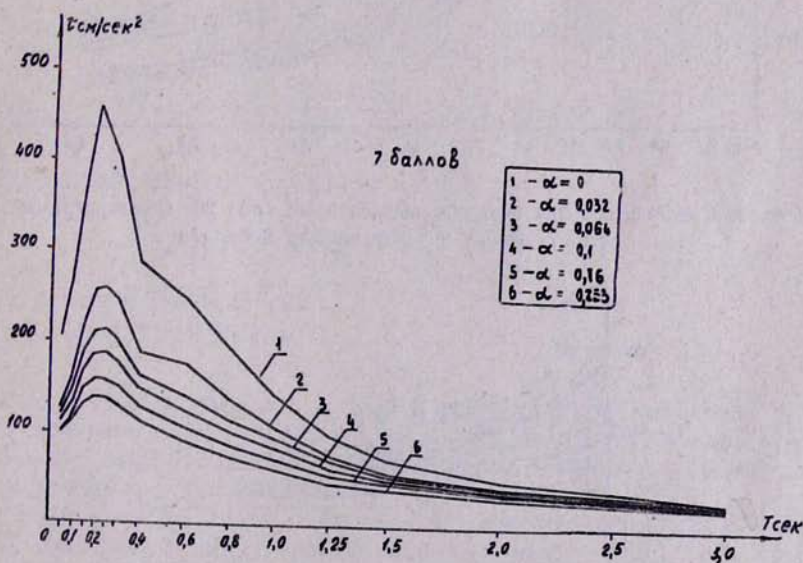


Рис. 2. Средние спектры реакции, вычисленные по 70 акселерограммам землетрясений интенсивностью 7 баллов

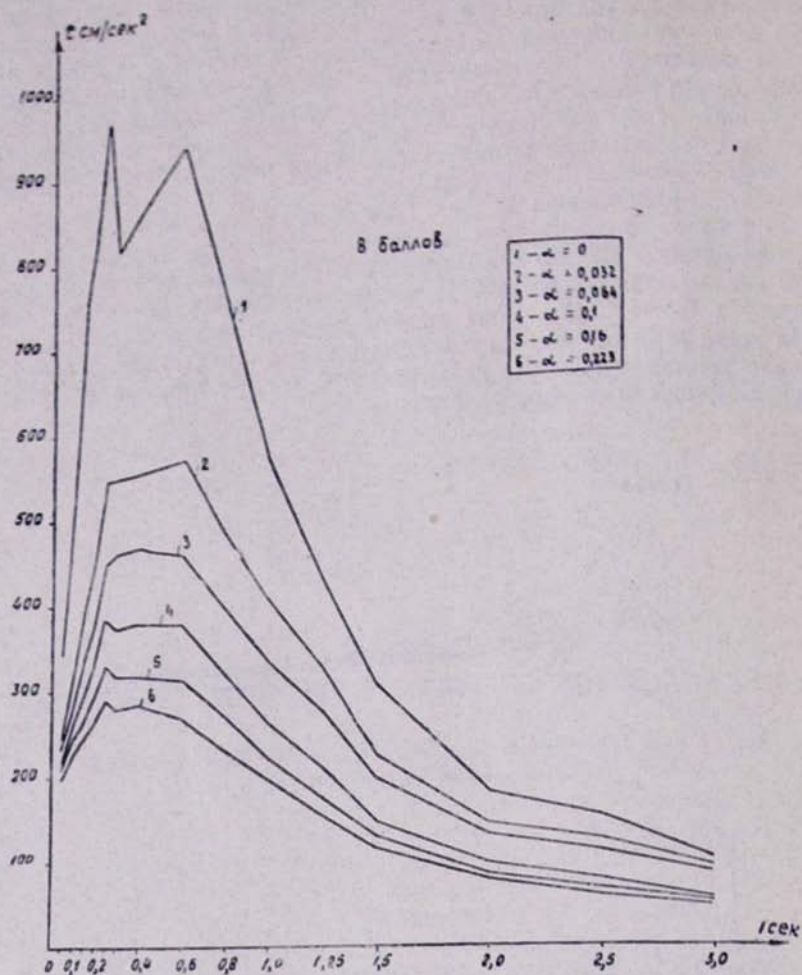


Рис. 3. Средние спектры реакции, вычисленные по 26 акселерограммам землетрясений интенсивностью 8 баллов

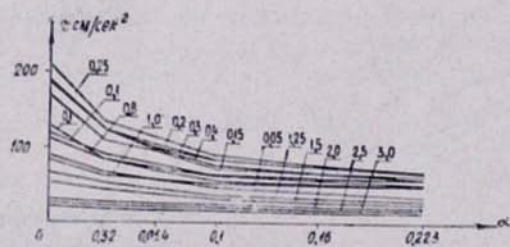


Рис. 4. Зависимость $\tau(T, \alpha)$ от коэффициента затухания при разных T для землетрясений интенсивностью 6 баллов

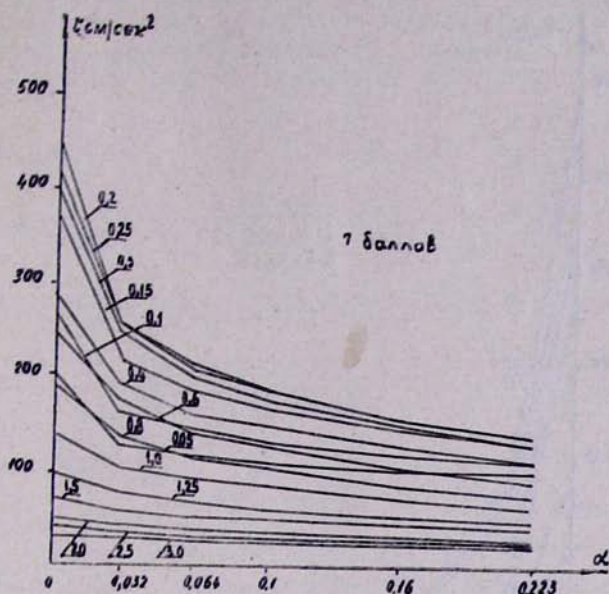


Рис. 5. Зависимость $\tau(T, \alpha)$ от коэффициента затухания при различных T для землетрясений интенсивностью 7 баллов

при $\alpha \leq 0,1$

$$\tau(T, \alpha) = \tau_0 2^{1-\beta} \frac{0,25 + 3T}{1 + 10\alpha}, \quad \text{при } T \leq 0,25 \text{ сек.}$$

$$\tau(T, \alpha) = \frac{\tau_0 2^{1-\beta}}{(0,55 + 1,8T)(1 + 10\alpha)}, \quad \text{при } 0,25 \leq T \leq 1,0 \text{ сек.}$$

$$\tau(T, \alpha) = \tau_0 2^{1-\beta} \frac{1 - 1,85\alpha}{4T - 1,6}, \quad \text{при } T > 1,0 \text{ сек.}$$

Если коэффициент затухания $\alpha > 0,1$, то

$$\tau(T, \alpha) = \tau_0 2^{1-\beta} \frac{0,55 - \alpha}{(0,55 + 1,8T)^\gamma},$$

где $\gamma = -1$ при $T \leq 0,25$ сек,

$\gamma = 1$ при $T \geq 0,25$ сек.

Во всех этих формулах τ_0 представляет собой величину приведенного сейсмического ускорения для землетрясений интенсивностью 7 баллов при $\alpha = 0, T = 0,25$ сек, которое по полученным данным можно принимать равным 200 см/сек^2 .

Приведенные формулы получены на основании анализа средних спектров реакции, и если коэффициент перехода принимать равным двум, то примерно 70% от всех спектров реакции попадут в зону землетрясений данной интенсивности.

В табл. 1 приведены среднеквадратические отклонения для всех землетрясений в зависимости от периода собственных колебаний рассматриваемой системы при $\alpha = 0,16$.

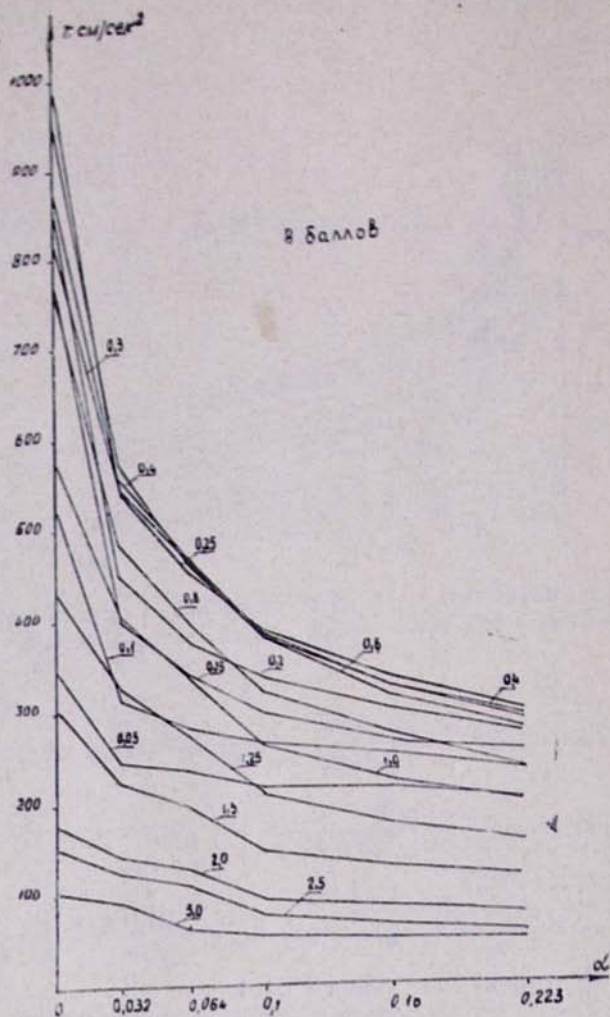


Рис. 6. Зависимость $\tau(T, \alpha)$ от коэффициента затухания при разных T для землетрясений интенсивностью 8 баллов

Таблица 1
Среднеквадратические отклонения приведенных ускорений

Балльность	Периоды собственных колебаний системы, T в сек														
	0.05	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3	0.4	0.6	0.8	1.0	1.25	1.5	2.0	2.5	3.0
6	18	22	28	30	31	35	24	22	20	17	12	9	8	7	6
7	50	61	60	76	55	59	49	59	40	31	24	22	19	21	15
8	108	97	129	116	104	72	91	114	80	72	57	78	38	22	18

По этим данным также можно установить расхождение спектров реакции для отдельных землетрясений по отношению к среднему спектру.

На основании вычисленных средних спектров и рис. 1—6 можно получить также обратные зависимости, которые позволят определить интенсивность землетрясения в функции от величины приведенного сейсмического ускорения, периода колебаний и коэффициента затухания. Анализом полученных данных выведены следующие эмпирические формулы:

При $\alpha \leq 0,1$

$$I = 1 + \frac{1}{\ln 2} \ln \left(\frac{\tau}{\tau_0} \frac{1+10\alpha}{0,25+3T} \right), \quad T \leq 0,25 \text{ сек}$$

$$I = 1 + \frac{1}{\ln 2} \ln \left[\frac{\tau}{\tau_0} (0,55+1,8T)(1+10\alpha) \right] \quad 0,25 \leq T \leq 1,0 \text{ сек}$$

$$I = 1 + \frac{1}{\ln 2} \ln \left(\frac{\tau}{\tau_0} \frac{4T-1,6}{1-1,85\alpha} \right), \quad T > 1,0 \text{ сек}$$

При $\alpha > 0,1$

$$I = 1 + \frac{1}{\ln 2} \ln \left[\frac{\tau (0,55+1,8T)^\gamma}{\tau_0 (0,55-\alpha)} \right] \quad \begin{array}{l} \gamma = -1 \text{ при } T \leq 0,25 \text{ сек} \\ \gamma = 1 \text{ при } T \geq 0,25 \text{ сек} \end{array}$$

В этих формулах τ_0 представляет собой величину приведенного ускорения, когда $I=1$, $\alpha=0$, $T=0,25$ и равно $6,5 \text{ см/сек}^2$.

Ордена Трудового Красного
Знамени Институт геофизики и ин-
женерной сейсмологии АН Армянской ССР

ЛИТЕРАТУРА

1. Дарбинян С. С. О методе составления сейсмической шкалы на инструментальной основе. ДАН Арм. ССР, т. 52, № 4, 1971.
2. Назаров А. Г. Метод инженерного анализа сейсмических сил. Изд. АН Арм. ССР, Ереван, 1959.
3. Назаров А. Г., Дарбинян С. С. Основы количественного определения интенсивности сильных землетрясений. Изд. АН Арм. ССР, Ереван, 1974.