

СТРОИТЕЛЬНАЯ МЕХАНИКА

С. С. ДАРБИՅԱՆ

О МЕТОДИКЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АКСЕЛЕРОГРАММ
ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ В ЗАДАЧАХ СЕЙСМОСТОЙКОСТИ
СООРУЖЕНИЙ

В последние годы многие задачи инженерной сейсмологии и сейсмостойкости сооружений решаются с помощью вычислительных машин с использованием реальных акселерограмм или сейсмограмм землетрясений. При решении этих задач приходится тем или иным способом табулировать используемые акселерограммы или сейсмограммы. Однако в процессе табулирования и решения задач возникают ряд вопросов, требующих своего разрешения.

К числу таких вопросов могут быть отнесены следующие:

а) выбор шага времени, т. е. величины времени Δt , через которые измеряются ординаты на записи землетрясения; б) выбор продолжительности учитываемого колебательного процесса по акселерограмме; в) влияние самого метода вычислений на величины перемещений и сейсмических сил.

В настоящей статье попытаемся выяснить эти вопросы на простом примере расчета системы с одной степенью свободы под сейсмическим воздействием. В качестве расчетной схемы принимаем невесомый стержень с заделанным нижним концом и с сосредоточенной массой m на верхнем свободном конце.

Колебание такой системы описывается дифференциальным уравнением [1]:

$$x'' + \frac{2\pi}{T} x' + \left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 x = -x_0''(t), \quad (1)$$

где T — период собственных колебаний системы;

α — коэффициент затухания;

x — горизонтальное перемещение массы m , $x_0''(t)$ — закон колебания почвы, который берется по акселерограмме землетрясений.

В основу вычислений были взяты две реальные акселерограммы землетрясений интенсивностью восемь баллов [2], (рис. 1).

Интегрирование (1) для разных α и T осуществлялось методом Рунге-Кутты на ЭВМ.

Были табулированы акселерограммы землетрясений для трех шагов Δt и на основе решения (1) определялись максимальные значения ускорений (в $\frac{cm}{сек^2}$) и перемещений (в cm) при этих шагах табулиро-

вания. Табулировались интенсивные части акселерограмм продолжительностью 5,5 сек и 5,3 сек соответственно (на рис. 1 эти участки ограничены стрелками).

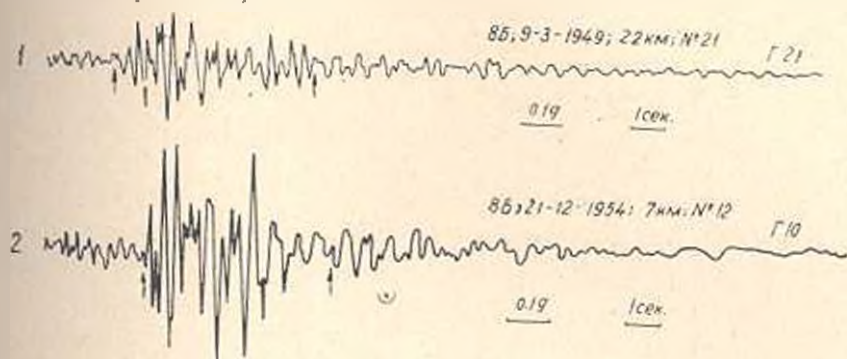


Рис. 1.

Результаты вычислений приведены в таблицах 1 и 2. Анализ приведенных данных показывает, что величины максимальных ускорений и перемещений заметно зависят от выбора шага табулирования. Так, например, для землетрясения № 1, когда шаг увеличивает-

Таблица 1
Значения $\ddot{x}_{\max}$ и $x_{\max}$ при разных шагах для землетрясения № 1

Δt	$\alpha = 0,08$						$\alpha = 0,12$					
	$\ddot{x}_{\max}$			$x_{\max}$			$\ddot{x}_{\max}$			$x_{\max}$		
	0,0132	0,0235	0,0470	0,0132	0,0235	0,0470	0,0132	0,0235	0,0470	0,0132	0,0235	0,0470
0,05	201,9	195,8	121,9	0,013	0,012	0,008	181,3	176,4	121,8	0,011	0,011	0,008
0,2	241,7	276,6	309,6	0,242	0,280	0,316	239,8	264,1	297,8	0,239	0,269	0,305
0,3	461,2	451,5	475,1	1,054	1,040	1,092	392,2	399,4	416,2	0,885	0,911	0,947
0,6	183,7	209,1	207,2	1,670	1,901	1,885	162,7	176,2	171,2	1,471	1,587	1,532
1,0	101,5	114,9	134,8	2,555	2,898	3,390	95,0	107,7	124,3	2,376	2,689	3,075

ся в четыре раза, то $\ddot{x}_{\max}$ и $x_{\max}$ увеличиваются в среднем на 23%. Следовательно, при обработке акселерограмм необходимо настолько возможно шаг табулирования брать меньше. Вычисления показали, что для получения достаточно точных результатов необходимо шаг табулирования брать примерно в 21–25 раз меньше величины преобладающего периода колебания почвы. Из приведенных таблиц видно, что величина шага Δt мало влияет на значения $\ddot{x}_{\max}$ и $x_{\max}$ при $T = 0,3$ сек. Это объясняется тем, что период колебания рассматриваемой системы близок к периоду колебания почвы, из-за чего получаются большие значения функций ускорения и перемещения, которые мало изменяются возле своих максимальных значений.

Обычно при табулировании акселерограмм сталкиваемся с проблемой выбора продолжительности колебательного процесса. Возникает вопрос, взять всю акселерограмму или ее интенсивную часть? Для выяснения этого нами была решена следующая задача, когда табулировалась вся запись землетрясения с продолжительностью $t = 13,4$ сек и полученные данные сопоставлялись с решением по интенсивной части акселерограммы ($t = 5,5$ сек) при землетрясении № 1. Результаты вычислений, приведенные в табл. 3, показывают, что для обоих случаев $\tau_{\max}$ и $x_{\max}$ даже при нулевом затухании получаются примерно одинаковыми. Для случая $t = 3$ сек получился почти тот же результат. Следовательно, при табулировании акселерограмм не имеет смысла брать весь интервал колебательного процесса, а необходимо взять лишь ее самую интенсивную часть. Это с одной стороны облегчает процесс табулирования, с другой стороны дает возможность экономить много машинного времени при решении задачи. Отметим, что величины $\tau_{\max}$ и $x_{\max}$ в основном зависят от той части акселерограммы, где имеются большие пики, особенно для жестких систем. Поэтому такие участки следует табулировать с большой точностью.

Таблица 2

Значения $\tau_{\max}$ и $x_{\max}$ при разных шагах для землетрясения № 2

Δt T	$\alpha = 0$						$\alpha = 0,12$					
	$\tau_{\max}$			$x_{\max}$			$\tau_{\max}$			$x_{\max}$		
	0,0222	0,0444	0,0666	0,0222	0,0444	0,0666	0,0222	0,0444	0,0666	0,0222	0,0444	0,0666
0,05	440,8	236,5	292,0	0,027	0,015	0,018	329,3	248,7	250,0	0,021	0,015	0,015
0,2	1075,8	1067,5	741,6	1,090	1,082	0,751	564,2	488,4	433,2	0,557	0,518	0,455
0,3	1283,1	1291,0	1176,1	2,925	2,945	2,682	729,6	714,7	674,8	1,620	1,607	1,531
0,6	1129,1	1131,6	1126,2	10,296	10,321	10,276	614,6	625,3	607,8	5,531	5,602	5,418
1,0	164,1	153,9	153,1	1,158	3,898	3,886	135,7	128,8	124,6	3,409	3,201	3,096

При отсутствии соответствующих ЦВМ обычно акселерограмма увеличивается, вследствие чего из-за толщины линий записи получаются две кривые. Далее проводится так называемая средняя линия, по которой измеряются ординаты функции $x'(t)$. Однако, проведение такой средней линии связано с определенными условностями, особенно на участках больших пиков. С целью выяснения этого вопроса акселерограмма землетрясения № 1 табулировалась при шаге $\Delta t = 0,0132$ сек по средней линии и по внешней кривой (самый худший вариант в смысле определения τ и x). Результаты вычислений приведены в табл. 4, из которой видно, что значения максимальных ускорений и перемещений заметно зависят от выбора средней линии. Это особенно сказывается на участке, где преобладающий период

Таблица 3

Значения τ_{max} и x_{max} при разных i для землетрясения № 1 ($\Delta t = 0,0235$ сек)

$i \backslash T$	$\alpha = 0$						$\alpha = 0,08$						$\alpha = 0,12$					
	τ_{max}			x_{max}			τ_{max}			x_{max}			τ_{max}			x_{max}		
	0,2	0,3	1,0	0,2	0,3	1,0	0,2	0,3	1,0	0,2	0,3	1,0	0,2	0,3	1,0	0,2	0,3	1,0
3,45	477,4	745,5	131,5	0,484	1,813	3,408	276,6	451,5	111,9	0,280	1,040	2,698	264,1	399,4	107,7	0,269	0,911	2,689
13,44	179,2	766,9	136,5	0,486	1,728	3,457	278,0	445,9	116,0	0,282	1,025	2,914	264,6	395,2	108,1	0,269	0,902	2,706
Расхождение в %	0,4	3,0	1,5	0,4	4,7	2	0,9	1,2	0,9	0,7	1,4	0,5	0,2	1,0	0,4	0	1,0	0,6

Таблица 4

Влияние метода табулирования на величины τ_{max} и x_{max} для землетрясения № 1 ($\Delta t = 0,0132$ сек)

T	$\alpha = 0,08$						$\alpha = 0,12$					
	τ_{max}			x_{max}			τ_{max}			x_{max}		
	0,2	0,3	1,0	0,2	0,3	1,0	0,2	0,3	1,0	0,2	0,3	1,0
По средней кривой	241,7	461,2	101,5	0,242	1,054	2,555	239,8	392,2	95,0	0,239	0,886	2,376
По внешней кривой	280,2	631,6	124,4	0,285	1,442	3,131	279,3	531,2	116,8	0,282	1,198	2,919
Расхождение в %	13,7	27	18,4	15,1	26,9	18,4	14,1	26,2	18,7	15,2	26	18,6

колебания почвы близок к периоду собственных колебаний системы. Но так как именно в этих участках ускорение и перемещение получают свои максимальные значения, то в таких случаях следует по возможности правильно провести среднюю линию. Вычисления показывают, что будет достаточно точно, если в пиковых участках среднюю линию провести ниже внешней кривой наполовину толщины линии, которую имеет акселерограмма в горизонтальном участке, как показано на рис. 2б пунктиром.

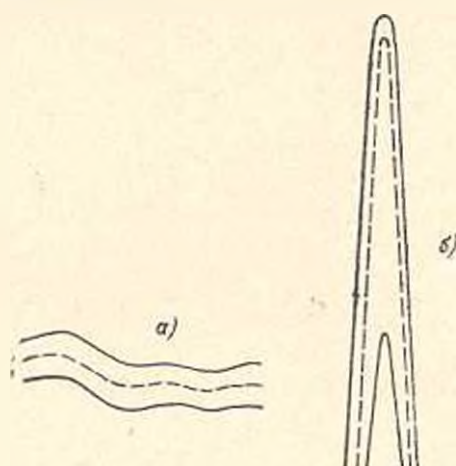


Рис. 2.

В процессе вычислений мы пользуемся интерполяционной формулой [3]:

$$x = f(t) = \frac{1}{N!} \sum_{i=1}^N x_i (-1)^{N-1} C_N^i S(S-1) \cdots (S-N), \quad (2)$$

где $S = \frac{t-t_0}{\Delta t}$, t_0 — первая точка из $N+1$ точек, которые необходимы для вычисления функции $f(t)$; N — число точек интервала.

Однако при вычислениях с интерполяцией уходит больше машинного времени, нежели без интерполяции. Поэтому возникает естественный вопрос, насколько влияет интерполяция на результаты вычислений и нельзя ли отказаться от него и тем самым выиграть машинное время? С этой целью задача была решена с интерполяцией и без интерполяции при разных шагах табулирования. Результаты вычислений $\ddot{z}_{\max}$, приведенные в табл. 5, показывают, что при малом шаге ($\Delta t = 0,0235$) результаты для обоих случаев почти совпадают, а при шаге 0,047 в некоторых местах имеются расхождения, в основном при малых величинах T . Таким образом, при правильном выборе шага табулирования интерполяцией можно не пользоваться. Однако для жестких систем ($T < 0,1-0,2$ сек) игнорирование метода интерполяции может привести к большим ошибкам. Аналогичная картина получается и при определении перемещений системы.

Таблица 5

Влияние интерполяции на τ_{m1} при землетрясении № 1

Δt	$\alpha = 0,08$					$\alpha = 0,12$				
	0,05	0,2	0,3	0,6	1,0	0,05	0,2	0,3	0,6	1,0
0,0235 с инт.	195,8	276,0	451,5	209,1	111,9	176,4	261,1	399,4	176,3	107,7
0,0235 б. инт.	—	268,0	451,0	208,8	114,6	—	256,8	397,2	176,0	107,5
0,047 с инт.	121,9	309,8	475,1	207,2	134,8	121,8	297,8	416,2	171,2	124,3
0,047 б. инт.	—	225,5	443,5	203,5	134,3	387,3	215,2	387,2	168,7	124,5

Резюмируя изложенное, приходим к заключению, что шаг табулирования акселерограммы следует брать меньше, возможно, минимальным и в основу вычислений следует принимать интенсивную часть акселерограммы, а не запись всего колебательного процесса. Можно пренебречь той частью акселерограммы, у которой максимальная ордината составляет примерно 25% от максимума всей акселерограммы. С целью экономии машинного времени без ущерба для точности целесообразно брать интенсивную часть акселерограммы с малым шагом табулирования, но вычисления проводить без интерполяции.

Институт геофизики и инженерной сейсмологии АН АрмССР

Поступило 09.11.1968.

И. И. ГАБРИЭЛЯН

ԿԱՌԱՅՎԱԾՔՆԵՐԻ ՍԵՅՍՄԱԿԱՅՈՒՆՈՒԹՅԱՆ ԿԵՆՏՐՆԵՐՈՒՄ
ՆՐԿՐԱՇԱՐԺԵՐԻ ԱԿՍԵԼԵՐՈԳՐԱՄՆԵՐԻ ՕԳՏԱԳՈՐԾՄԱՆ
ՄԵԹՈԴԻԿԱՅԻ ՄԱՍԻՆ

Ա. Վ. Գ. Ն. Վ. Ն. Վ.

Հոգաժողով գիտություն է կառուցվածքների սեյսմիկ հաշվարկի ժամանակ օգտագործվող տվյալներսրամանների տարուչացման հետ կապված մի շարք հարցեր. «իմնականում» տարուչացման բայի ընտրման ազդեցությունը սարսիմալ տեղափոխումների և արագացումների մեծությունների վրա, տատանողական պրոցեսի տևողության բնարման հարցը և հաշվման մեթոդի ազդեցությունը սեյսմիկ ուժերի մեծությունների վրա:

Ճշգրտ հարցերը պարզարանելու համար ուսումնասիրվում է մեկ ազատության աստիճան ունեցող սիստեմի տատանումները 8 բայի ինտենսիվություն ունեցող երկրաշարժերի ազդեցության տակ: Բոլոր հաշվումները կատարվում են «Հրապղան-2» էլեկտրոնային հաշվիչ մեքենայի միջոցով:

Հետադոտությունները պույց են տալիս, որ ստացվող արդյունքները ղղալորեն կախված են տարուչացման բայի բնարումից:

ծույց է տրվում, որ ակսիերոգրամների տարույացման ժամանակ րավար է վերցնել միայն նրանց ինտենսիվ մասը: Այնուհետև հիմնավորվում է, որ առանց խնդրի ճշտությունը խախտելու կարելի է հաշվումները կատարել չօգտվելով ինտերպոլյացիայի մեթոդից՝ զգալի կրճատելով մեքենայի ժամանակը:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Назаров А. Г. Метод инженерного анализа сейсмических сил. Изд. АН АрмССР, Ереван, 1959.
2. Митвадзе С. В. Ускорение колебаний грунта при сильных землетрясениях. Тр. Института физики Земли АН СССР, № 10 (177), 1960.
3. Стандартные программы для ЭВМ «Раздан-2». Тр. ВИА АН АрмССР и Ер. ГУ, вып. III, 1967.