

СЕЙСМОСТОЙКОСТЬ СООРУЖЕНИЯ

С. С. ДАРВИНЯН

К ОПРЕДЕЛЕНИЮ СЕЙСМИЧЕСКИХ СИЛ В СООРУЖЕНИЯХ  
 ЗА ПРЕДЕЛОМ УПРУГОСТИ

В данной статье рассматривается задача упруго-пластического колебания системы с одной степенью свободы под действием сейсмических сил по реальным акселерограммам землетрясений интенсивности 7 и 8 баллов.

Допускается, что упруго-пластические свойства системы характеризуются зависимостью между силой и перемещением по закону линейного упрочнения (рис. 1). Такая зависимость имеет то преимущество, что из можно более точно воспроизвести нелинейную диаграмму „сила-перемещение“ и учитывать свойства упрочнения материала.

Предположим, что начиная с какого-то момента когда  $x = x_1 = \chi x_{\text{упр}}^{\text{max}}$  ( $\chi < 1$ ) в рассматриваемой системе начинают появляться пластические деформации. Тогда движение переходит в зону 1—2 и поэтому связь между силой и перемещением подчиняется другому закону. Как только движение доходит до точки 2 (в этот момент скорость равняется нулю) начинается зона разгрузки. Далее идет нагружение обратного знака, затем снова зона разгрузки и т. д. Для разных зон упруго-пластического нагружения и разгрузки движение опишется разными дифференциальными уравнениями, при решении которых учитываются условия неразрывности деформаций и скоростей в точках перехода (точки 1, 2, 3, 4... на рис. 1). Эти уравнения здесь не приводятся, их можно найти в [2, 3].

Нетрудно убедиться, что смещение, скорость и ускорение данной системы для всех зон нагружения и разгрузки определяются соответственно следующими формулами:

$$x_{k, k+1} = \left[ x_k \cos p_k (t - t_k) + \frac{1}{p_k} \left( \dot{x}_k + \frac{1}{2} \gamma p_k x_k \right) \sin p_k (t - \right.$$

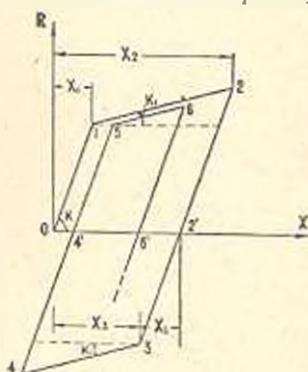


Рис. 1. Диаграмма „сила-перемещение“.

$$\begin{aligned}
 -t_k) \Big] e^{-\frac{\alpha}{2} p_k (t-t_k)} - \frac{1}{p_k} \int_{t_k}^t \left\{ x_k'(u) + \left( \frac{2\pi}{T} \right)^2 \left[ (1-\psi) \beta_k x_k - (1-\psi)(1-\beta_k)(x_k - \right. \right. \\
 \left. \left. - x_{k-1}) - \bar{x}_k \right] \right\} e^{-\frac{\alpha}{2} p_k (t-u)} \cdot \sin p_k (t-u) du, \\
 x_{k+1}^* = \left\{ x_k^* \cos p_k (t-t_k) - \left[ \frac{\alpha}{2} x_k^* + \left( 1 + \frac{\alpha^2}{4} \right) p_k x_k \right] \sin p_k (t - \right. \\
 \left. - t_k) \right\} e^{-\frac{\alpha}{2} p_k (t-t_k)} - \int_{t_k}^t \left\{ x_k'(u) + \left( \frac{2\pi}{T} \right)^2 \left[ (1-\psi) \beta_k x_k - (1-\psi)(1 - \right. \right. \\
 \left. \left. - \beta_k)(x_k - x_{k-1}) - \bar{x}_k \right] \right\} \left[ \cos p_k (t-u) - \frac{\alpha}{2} \sin p_k (t-u) \right] e^{-\frac{\alpha}{2} p_k (t-u)} du, \\
 \alpha = \left( \frac{2\pi}{T} \right)^2 \left\{ [1 - \beta_k (1 - \psi)] x_k + (1 - \psi) [\beta_k x_k - (1 - \beta_k)(x_k - x_{k-1})] - \bar{x}_k \right\},
 \end{aligned}$$

где

$$\begin{aligned}
 p_k^2 &= \left( \frac{2\pi}{T} \right)^2 [1 - \beta_k (1 - \psi)], \\
 \beta_k &= \begin{cases} 0 & \text{при } k = 2, 4, 6 \dots \\ 1 & \text{при } k = 1, 3, 5 \dots \end{cases}
 \end{aligned}$$

Здесь  $x_k$  — значения смещения в точках перехода,  $t_k$  — моменты времени в точках перехода,  $\bar{x}_k$  — значения смещения в точках 2', 4', 6'.

Допуская, что площадь петли гистерезиса во много раз будет превышать площадь петли гистерезиса от упругих колебаний и влияние затухания будет мало, принимаем  $\alpha = 0$ . При относительно малой доли деформации пластичности рассматривается также случай когда  $\alpha \neq 0$ .

Закон колебания почвы  $x_k^*(t)$  примем по реальным акселерограммам четырех землетрясений [3]. В основу вычислений взяты именно эти акселерограммы с целью сопоставления полученных результатов с данными [4].

Э. Е. Хачияном были увеличены акселерограммы в 30—40 раз и измерялись значения ускорений по средней линии. При табулировании были взяты интенсивные участки на акселерограммах с продолжительностью времени соответственно 5,999 сек, 5,411 сек, 5,333 сек, 3,186 сек. Соответствующие интервалы времени измерения величин ускорений для акселерограмм 1—4 оказались равными 0,0226 сек, 0,0235 сек, 0,0222 сек, 0,0162 сек. Характеристики указанных землетрясений и метод табулирования приводится в [3].

Задача была решена на электронно-вычислительной машине на основании выражений (2) при соответствующих условиях перехода от одной зоны к другой с использованием значений  $x_k^*(t)$  в табличной форме.

Вычисления были произведены для значений коэффициента пластичности:  $\eta = 0.3, 0.5, 0.7$ ; коэффициента упрочнения  $\psi = \frac{k_1}{k} = 0.01, 0.3, 0.5, 0.8$  и периода собственных колебаний  $T$  от 0,1 до 3,5 сек.

Программа вычислений была составлена таким образом, чтобы можно было оценить влияние пластических деформаций на величины максимальных ускорений, перемещений и остаточных деформаций.

Чтобы на диаграмме „сила-перемещение“ найти точку начала появления пластических деформаций, необходимо иметь решение задачи при чисто упругих колебаниях, т. е. иметь значения  $x_{\text{упр}}^{\text{max}}$ . Поэтому сперва была решена задача в предположении чисто упругой работы рассматриваемой системы для всех четырех землетрясений. Были найдены также величины  $x_{\text{упр}}^{\text{max}}$  для всех значений  $T$ , приведенных в табл. 1.

Таблица 1

Значения максимальных ускорений при упругом расчете в  $\frac{\text{см}}{\text{сек}^2}$

$T$	Землетрясение № 1	Землетрясение № 2	Землетрясение № 3	Землетрясение № 4
0,10	186,9	620,8	- 518,2	130,1
0,15	369,1	- 526,2	- 783,3	306,7
0,20	- 503,4	- 489,2	1103,9	- 308,0
0,25	408,5	- 946,9	- 1518,5	384,7
0,30	536,3	- 787,6	- 1253,7	187,3
0,35	583,0	- 906,0	- 1860,3	317,1
0,40	- 188,2	385,6	- 1050,2	130,3
0,45	- 102,6	- 448,3	- 2037,2	- 178,6
0,50	- 131,3	- 497,1	968,0	- 172,3
0,60	355,6	366,9	- 1131,7	105,8
0,70	- 81,5	- 156,8	- 846,8	- 87,9
0,80	74,7	- 223,7	325,3	- 100,7
	39,8	164,2	- 240,5	- 75,7
0,90	30,3	- 128,1	161,2	51,6
1,00	- 18,2	69,7	94,8	- 40,5
1,20	20,7	- 68,0	127,9	37,0
1,40	17,0	43,2	- 182,7	33,2
1,60	13,3	- 25,0	- 214,4	25,4
1,80	12,6	- 22,3	181,9	19,3
2,00	- 11,7	11,6	- 128,0	13,6
2,50	- 10,2	8,4	88,8	- 12,5
3,00	- 8,3	- 6,9	- 57,3	10,7
3,50				

Имея  $x_{\text{упр}}^{\text{max}}$  находим момент времени  $t_1$ , при котором  $x_{0,1} = \eta x_{\text{упр}}^{\text{max}}$  (момент начала появления пластических деформаций). Далее решение задачи осуществляется указанным выше методом.

На печатающем устройстве машины записывались значения ускорений во всех точках перехода диаграммы „Сила-перемещение“ (точки 1, 2, 3, ...) с соответствующими моментами времени. Для 12 значений  $T$  при разных  $\eta$  и  $\psi$  записывались величины ускорений во времени.

При этом в зависимости от характера акселерограмм машинный шаг времени уменьшался до 0,001 от шага табулирования. На рис. 2

показаны два случая изменения ускорения во времени. Из рис. 2 видно, что кривые ускорения сглаживаются по отношению к акселерограмме.

Имея значения ускорений и смещений в точках перехода от одной зоны к другой имеем возможность построить индикаторные кривые „восстанавливающая сила-перемещение“. Нами получено 1056 таких кривых (не считая случаи  $\alpha \neq 0$ ), из них 22 приведены на рис. 3.

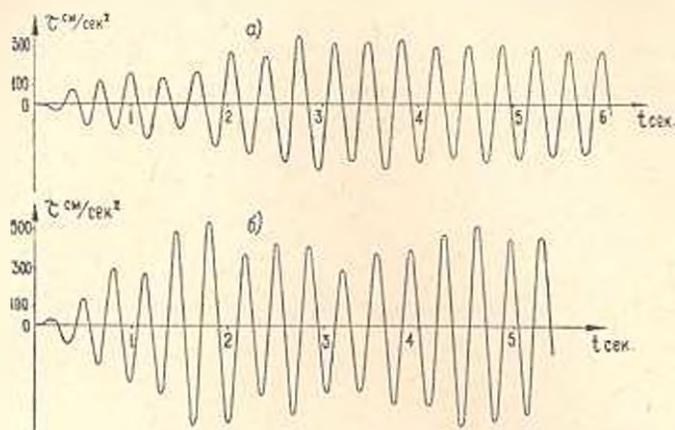


Рис. 2. Изменение ускорения во времени при  $T = 0,35$  сек.,  $\eta = 0,5$ :  
а) при землетрясении № 1; б) при землетрясении № 2

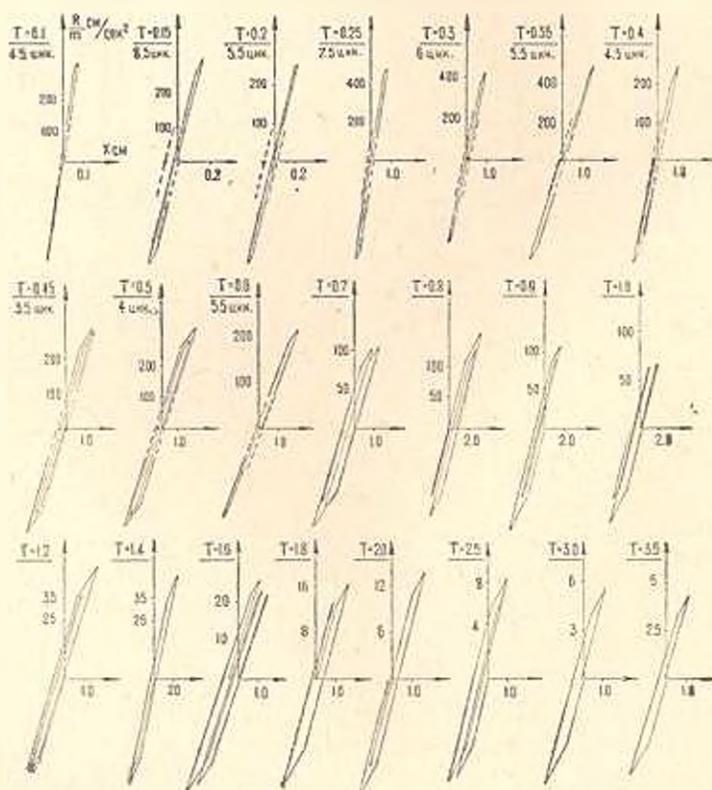


Рис. 3. Индикаторные кривые „восстанавливающая сила-перемещение“ при землетрясении № 2, при  $\eta = 0,5$ .

В большинстве случаев получается большое количество циклов нагрузки и разгрузки, однако они полностью на графиках не показаны во избежание усложнения чертежа. Но там, где не приведены все циклы, указано их количество. На этих индикаторных кривых пунктирами показаны предельные области расширения петель гистерезиса, т. е. даны их границы слева и справа. Жирной точкой обозначено новое начало координат, относительно которого система продолжает упругие колебания. Число циклов получается больше при малых значениях  $\eta$  и больших значениях  $\psi$ . Для очень гибких сооружений получается меньшее количество циклов. Иногда даже один или два

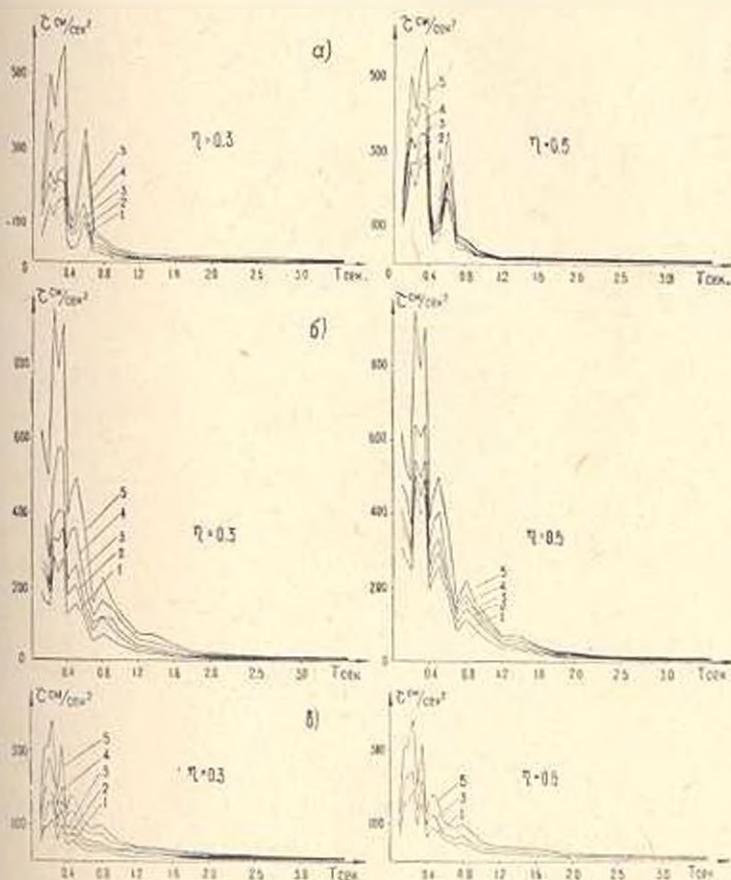


Рис. 4. Спектры максимальных ускорений: 1— $\psi=0,01$ ; 2— $\psi=0,3$ ; 3— $\psi=0,5$ ; 4— $\psi=0,8$ ; 5— $\psi=1,00$ ; а) При землетрясении № 1, б) При землетрясении № 2; и) При землетрясении № 3.

цикла. Кроме этого с увеличением  $\eta$  увеличивается площадь петли гистерезиса.

На основании величин ускорений в точках перехода диаграммы (рис. 1) находим их максимальные значения для разных периодов собственных колебаний. Эти значения для четырех землетрясений приведены в таблицах 2—5. С помощью этих таблиц построены спек-

Таблица 2

Значения максимальных ускорений в  $g \cdot \text{сек}^2$  при землетрясении № 1

T	$\eta = 0,3$				$\eta = 0,5$				$\eta = 0,7$			
	$\psi = 0,01$	$\psi = 0,3$	$\psi = 0,5$	$\psi = 0,8$	$\psi = 0,01$	$\psi = 0,3$	$\psi = 0,5$	$\psi = 0,8$	$\psi = 0,01$	$\psi = 0,3$	$\psi = 0,5$	$\psi = 0,8$
0,10	65,0	121,4	121,6	-146,7	95,4	121,9	126,8	152,2	131,8	141,8	149,8	162,7
0,15	-113,3	-170,9	-203,0	-248,7	-186,8	-221,5	-241,0	268,5	260,6	279,1	291,8	325,0
0,20	153,5	205,6	-240,8	-375,3	-259,4	-272,4	-343,8	-393,5	354,9	385,0	405,5	-442,8
0,25	-124,9	189,5	210,2	291,4	206,2	268,8	311,5	368,8	-288,5	-326,2	338,2	-356,5
0,30	169,3	222,1	241,7	340,2	277,2	329,7	349,9	432,0	378,8	431,2	464,6	512,4
0,35	177,2	-214,9	-256,3	-353,9	294,5	323,1	-349,6	-425,4	-409,6	-435,8	-459,8	-508,2
0,40	-58,1	-92,5	-107,4	134,2	95,1	-121,1	-137,1	147,4	-132,5	-150,9	-162,9	-180,2
0,45	-32,1	-74,0	-83,5	-88,8	-52,4	74,5	78,7	-93,3	72,4	-82,6	-89,1	-98,1
0,50	-10,7	-79,1	-101,0	-111,8	-67,0	-89,7	-102,9	-119,5	-92,7	-103,1	-110,3	-121,5
0,60	-107,3	-126,8	-152,3	321,1	-179,3	-198,6	-215,6	-272,6	-250,1	-267,8	-281,9	-306,7
0,70	-25,5	-37,7	48,9	-71,0	-41,0	58,0	65,1	-75,1	-57,5	-67,2	-72,5	-78,6
0,80	-22,8	-33,8	-41,8	57,4	-37,9	-46,1	-51,6	63,6	52,5	56,6	60,8	68,6
0,90	12,1	-17,9	-23,3	-32,3	-20,2	-25,0	-29,3	-33,0	-28,0	-30,4	-32,0	-34,4
1,00	9,4	15,6	-20,0	-26,2	15,4	-20,0	-23,1	-27,5	-21,4	-24,1	-25,9	-28,6
1,20	5,8	9,2	11,3	-14,8	9,2	-11,9	13,7	-16,5	-12,8	-14,5	-15,6	-17,2
1,10	6,2	7,3	8,1	9,6	-10,5	-14,1	-16,3	-19,1	-14,6	-16,5	-17,9	-19,6
1,60	5,1	0,1	6,9	-8,5	-8,8	-11,4	-13,1	-15,5	-12,0	-13,5	-14,6	-16,0
1,80	1,1	5,5	6,0	-7,3	-6,7	-6,7	-6,7	-6,8	-9,4	-10,6	-11,4	-12,6
2,00	3,9	5,6	6,5	7,6	6,3	6,9	7,3	7,8	-8,9	-10,1	-10,8	-11,9
2,50	3,6	6,2	7,4	9,0	-6,0	-7,7	-8,9	-10,6	-8,2	-9,3	-10,0	-11,0
3,00	-3,3	5,6	6,8	8,3	5,2	6,5	7,3	8,4	7,2	7,7	8,1	8,9
3,50	2,6	4,6	5,7	7,1	4,2	5,3	6,0	7,2	-5,8	-6,6	-7,1	-7,8

Таблица 3

Значения максимальных ускорений в см/сек<sup>2</sup> при землетрясении № 2

T	$\eta = 0,3$				$\eta = 0,5$				$\eta = 0,7$			
	$\psi = 0,01$	$\psi = 0,3$	$\psi = 0,5$	$\psi = 0,8$	$\psi = 0,01$	$\psi = 0,3$	$\psi = 0,5$	$\psi = 0,8$	$\psi = 0,01$	$\psi = 0,3$	$\psi = 0,5$	$\psi = 0,8$
0,10	188,8	253,9	279,6	358,7	313,2	372,2	413,4	482,8	438,9	476,6	505,1	553,0
0,15	160,4	232,4	254,1	372,0	265,4	335,1	356,5	440,9	371,9	413,9	446,4	495,5
0,20	148,4	277,8	209,3	273,1	246,5	273,1	304,0	363,9	343,6	367,3	393,1	440,0
0,25	287,0	335,0	375,7	480,4	476,2	508,6	543,6	641,4	665,3	695,2	720,6	811,8
0,30	238,7	322,3	404,7	578,4	396,4	446,8	496,3	601,9	553,6	581,2	603,1	682,7
0,35	275,1	353,6	402,6	567,6	456,3	497,3	543,4	640,5	637,0	693,4	699,5	785,1
0,40	119,4	176,6	217,8	304,9	196,2	230,2	262,5	322,1	273,7	296,1	314,8	346,3
0,45	140,3	193,2	242,1	350,4	231,3	276,0	313,9	383,6	322,9	357,0	380,4	414,9
0,50	155,1	207,9	259,1	359,0	257,2	298,8	335,7	405,4	358,6	384,5	401,4	445,9
0,60	113,8	136,1	158,3	222,0	189,2	205,2	221,8	257,5	264,5	278,0	296,0	320,0
0,70	49,6	76,1	99,5	121,6	81,4	102,6	129,5	131,8	113,4	125,9	131,5	146,2
0,80	68,9	113,2	117,8	161,5	113,3	144,1	163,0	188,9	157,4	171,5	181,2	197,5
0,90	53,4	84,9	108,1	145,7	88,0	118,5	135,9	143,3	122,7	138,9	149,2	163,5
1,00	39,1	59,1	76,3	106,0	61,8	84,2	97,3	116,0	90,3	102,4	110,2	121,3
1,20	21,3	32,0	39,9	56,9	35,2	43,1	48,7	60,0	49,0	54,2	58,3	65,1
1,40	20,7	28,1	33,0	47,5	34,3	40,5	45,8	55,1	47,8	51,9	55,6	62,6
1,60	14,2	18,1	23,0	32,8	21,8	26,5	29,9	36,8	30,4	34,2	36,8	40,7
1,80	7,7	11,8	14,5	18,3	12,6	16,6	19,1	22,9	17,6	20,0	21,6	23,4
2,00	6,8	9,9	12,0	18,3	11,2	14,0	15,7	19,5	15,7	17,4	18,7	20,8
2,50	3,6	6,0	7,5	10,5	5,9	7,2	8,6	10,1	8,1	8,8	9,4	10,6
3,00	2,6	3,8	4,6	6,0	4,3	5,5	6,3	7,6	5,9	6,7	7,2	7,9
3,50	2,1	2,6	2,9	3,6	3,5	4,1	5,0	6,0	4,8	5,3	5,7	6,3

Таблица 4

Значения максимальных ускорения в см/сек<sup>2</sup> при землетрясении № 3

T	$\eta = 0,3$				$\eta = 0,5$				$\eta = 0,7$			
	$\psi = 0,01$	$\psi = 0,3$	$\psi = 0,5$	$\psi = 0,8$	$\psi = 0,01$	$\psi = 0,3$	$\psi = 0,5$	$\psi = 0,8$	$\psi = 0,01$	$\psi = 0,3$	$\psi = 0,5$	$\psi = 0,8$
0,10	198,1	-324,5	-420,9	-177,2	261,1	-372,5	-436,6	-476,5	-367,3	-417,0	-446,3	-484,9
0,15	218,6	326,9	395,3	-536,8	394,6	-462,6	516,5	618,3	-550,4	-608,4	-654,3	-729,3
0,20	341,0	568,3	615,0	766,2	-555,8	643,8	-692,1	804,5	778,8	820,2	860,9	971,0
0,25	461,7	596,1	-732,3	-940,4	761,1	-864,0	-981,7	-1227,7	1071,1	-1155,1	-1253,0	-1427,3
0,30	-383,1	-608,0	-774,6	-891,0	-630,9	-720,2	783,9	923,6	-881,6	-929,6	-983,1	-1105,6
0,35	569,6	781,8	864,5	1173,1	938,7	1094,9	1229,7	1456,6	1310,4	1439,4	1523,5	1645,9
0,40	-323,1	-537,0	-694,1	-815,4	-532,3	-659,8	-750,1	-845,7	-740,6	-802,2	-842,2	-998,9
0,45	617,5	775,0	905,3	1236,4	-1028,9	-1151,6	-1259,8	-1571,3	-1435,9	-1544,9	-1629,6	-1835,2
0,50	294,3	417,7	520,3	729,9	-487,9	592,4	682,8	814,9	681,0	768,8	827,2	913,1
0,60	-317,8	-471,7	558,6	-791,3	-569,0	643,6	714,2	-874,0	794,7	-837,4	-880,6	971,6
0,70	256,0	322,3	-384,2	-558,5	-426,1	-480,4	-536,3	645,3	-594,4	-632,5	-657,6	-728,1
0,80	-100,1	-155,3	-183,3	247,5	-163,6	192,5	218,7	266,6	229,0	251,4	266,5	-296,0
0,90	74,1	119,7	143,3	-193,3	121,4	147,3	-166,1	-209,6	-169,2	-186,1	-200,4	-223,8
1,00	50,6	-85,0	-102,5	133,0	81,6	91,3	123,5	116,7	113,6	129,2	139,1	152,8
1,20	35,0	82,6	-85,0	88,0	50,0	-70,7	-80,9	-85,1	-68,5	-76,6	-81,0	-89,1
1,40	-12,6	88,7	109,4	126,6	66,8	94,1	108,0	122,4	92,5	105,9	113,6	124,1
1,60	56,3	95,5	119,4	-156,1	92,5	118,9	135,0	-160,3	128,5	142,0	150,5	-168,3
1,80	65,6	98,9	120,5	-163,3	108,1	129,4	-142,8	-176,3	-150,4	-161,9	-171,6	-188,8
2,00	56,1	85,8	106,5	-140,6	91,9	113,9	127,4	-151,1	127,7	136,9	-141,6	162,5
2,50	39,2	64,5	83,0	110,1	64,9	86,3	98,8	114,6	90,0	100,8	107,8	117,1
3,00	27,1	11,1	53,4	74,2	44,9	57,2	66,0	79,7	62,5	70,6	75,9	83,8
3,50	-17,5	-25,1	32,5	46,1	28,9	35,5	40,9	49,9	40,3	45,0	48,3	53,2

Значения максимальных ускорений в  $\text{cm/sec}^2$  при землетрясении № 4

Таблица 5

T	$\eta = 0,3$				$\eta = 0,5$				$\eta = 0,7$			
	$\psi = 0,01$	$\psi = 0,3$	$\psi = 0,5$	$\psi = 0,8$	$\psi = 0,01$	$\psi = 0,3$	$\psi = 0,5$	$\psi = 0,8$	$\psi = 0,01$	$\psi = 0,3$	$\psi = 0,5$	$\psi = 0,8$
0,10	18,6	76,7	82,9	106,7	72,3	87,4	- 96,3	-115,9	- 99,6	-110,1	-116,4	-124,9
0,15	93,7	-105,9	-186,6	203,4	154,7	189,0	214,8	255,0	215,5	242,9	261,4	289,0
0,20	95,2	162,8	209,6	273,1	155,7	197,9	228,2	275,3	216,9	243,4	261,9	289,9
0,25	-117,6	-159,3	179,6	-237,8	193,5	220,4	243,5	-298,6	270,5	-289,0	-307,6	-344,3
0,30	57,0	91,0	-114,0	-147,2	91,9	115,1	138,3	-161,0	-131,7	-146,9	-158,1	-175,6
0,35	99,0	136,2	160,9	202,0	163,7	199,1	223,4	258,9	-229,0	-246,6	261,2	298,3
0,40	10,6	-84,9	-90,4	121,8	-66,4	-90,6	-98,8	125,8	92,1	102,0	109,0	126,8
0,45	54,3	-72,8	-91,4	-138,8	90,3	112,7	129,2	-157,3	125,8	139,0	147,7	160,4
0,50	52,4	75,0	95,1	130,0	86,7	-101,1	113,3	-137,2	-121,0	-129,1	-134,4	-153,6
0,60	32,6	-16,9	-59,6	81,5	53,8	-63,5	-70,9	90,0	-75,1	81,7	87,8	98,8
0,70	26,2	-40,2	-52,8	-74,4	-43,2	-53,9	-62,2	-76,0	60,5	68,2	73,1	80,0
0,80	30,4	-40,2	-49,5	-74,2	-50,5	-60,3	-68,3	-85,2	70,5	78,1	83,5	91,9
0,90	23,1	31,1	38,9	51,7	38,1	44,2	48,1	-59,3	-53,2	-56,9	-60,1	-67,8
1,00	16,1	-28,2	-33,4	-48,3	-26,1	-31,6	-35,4	-44,9	-36,3	-40,2	-43,3	-48,2
1,20	12,7	-23,8	-29,7	-36,8	-20,6	-27,6	-31,9	-37,4	-28,6	-32,5	-35,0	-38,5
1,40	11,4	19,7	21,6	31,9	-18,7	-23,9	-27,2	-32,3	-26,0	-28,7	-30,5	-33,1
1,60	10,2	16,5	17,9	25,2	16,8	20,4	-22,8	-28,7	-23,3	-24,8	-25,9	-27,4
1,80	8,0	13,2	16,4	-20,6	12,9	16,2	-18,3	-21,3	-17,9	-19,5	-20,6	-22,1
2,00	6,1	10,6	13,4	-17,1	9,8	-12,9	-14,9	-17,6	-13,6	-15,4	-16,7	-18,2
2,50	1,3	9,2	11,1	-11,1	6,9	-10,3	-10,1	-11,9	-9,5	-10,6	-11,3	-12,3
3,00	3,9	7,4	9,4	-11,5	6,4	8,7	-10,0	-11,6	-8,8	-10,0	-10,8	-11,9
3,50	4,3	6,4	7,6	-9,6	5,4	7,2	-8,3	-9,8	-7,5	-8,5	-9,2	-10,1

тры максимальных ускорений, некоторые из которых для разных  $\gamma$  и  $\delta$  приведены на рис. 4 и 5. На этих же рисунках показаны спектры ускорений при чисто упругих колебаниях, т. е. когда  $\delta=1,00$ . Из этих графиков видно, что спектры ускорений при упруго-пластическом решении задачи по своим характеристикам идентичны спектрам при упругих колебаниях. Пики в обоих случаях получаются примерно

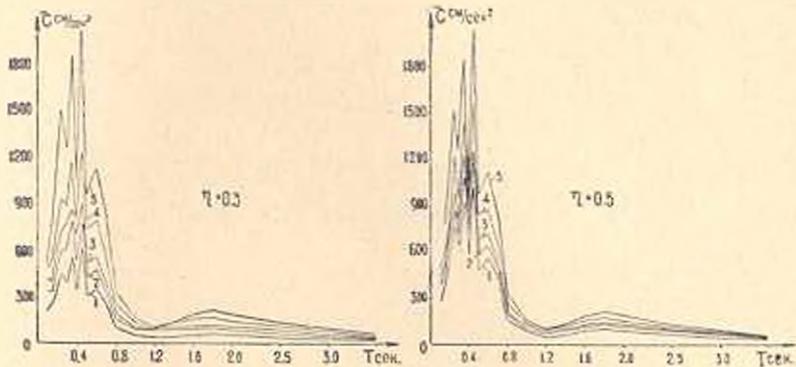


Рис. 5. Спектры максимальных ускорений при землетрясении № 3.

для одного и того же значения периода собственных колебаний. Ускорения имеют большие значения в интервале  $0,2 < T < 0,8$  с резкими изменениями на этом участке.

Анализ всех полученных спектров ускорений показывает, что учет упруго-пластических деформаций приводит к уменьшению величины сейсмических сил в среднем на 40—45%, а в отдельных случаях даже больше. Это влияние особенно увеличивается для очень гибких сооружений. Таким образом, при расчете сооружений на сейсмостойкость необходимо учесть пластические свойства сооружений, ибо они приводят к существенному уменьшению сейсмических сил.

Отметим, что все выводы справедливы для случая, когда затухание равно нулю, однако в дальнейшем покажем, что и при  $\alpha \neq 0$  получаются аналогичные результаты.

В обработке результатов вычислений принимал участие Р. Г. Манцелян, которому автор приносит свою благодарность.

ИГИС АН АрмССР

Поступило 15.IV 1966

Ա. Ա. ԿԱՐԵՆՅԱՆ

ԱՌԱՋԿԱՆԱՆՈՒԹՅԱՆ ՍԱՀՄԱՆԻՑ ԿՈՒՐՍ ԴՏՆԱԳԳ ԿԱՌՈՒՅՎԱՆՔՆԵՐՈՒՄ  
ՍԵՅՍՄԵԿ ՈՒՒՆԻՐԻ ՈՐՈՇԵՐԱՆ ՄԱՍԻՆ

Ա. Վ. Ի. Ն. Ի. Ն. Ի. Ն. Ի. Ն.

Հողվածում դիտարկվում են ազատության մեկ աստիճան ունեցող սխեմների առաձգա-պլաստիկական աստատումները  $\gamma$  և  $\delta$  բաղ ուժ ունեցող երկրաշարժերի ազդեցության տակ: Ընդունվում է, որ սխեմների առաձգա-պլաս-

տիվակա՛ն հատկութիւնները լնութագրվում են դժայիկ ամրացման օրենքով (նկ. 2)։ Շարժման դիֆերենցիալ հավասարումները և նրանց լուծումները բռնաավորման և բռնաթափման զոնաների համար կլինեն տարրեր. ըստ դրանք կրարելի է ներկայացնել մեկ ընդհանուր բանաձևով (1)։

Խնդիրը լուծվում է էլեկտրոնային հաշվիչ մեթոճնայի միջոցով, հիմք ընդունելով (1) հավասարումը և սված երկրաշարժերի աքսելերոգրամաները. որոնք յախապես ներկայացվում են աղյուսակի ձևով։ Կատարված հաշվում-ձերի հիման վրա կառուցված են մաքսիմում արագացումների (սեյսմիկ ուճերի) սպեկտրները տարրեր պլաստիկության և ամրացման գործակիցների դեպքում։

Կատարված ուսումնասիրությունները ջույց են տալիս, որ կառուցվածքների սեյսմոկայունութիւն հաշվարկների ժամանակ պլաստիկ դեֆորմացիաների հաշվի առնելը բերում է սեյսմիկ ուճերի զգալի փոքրացման՝ միջին հաշվով մոտավորապես 40—45%։ Առանձին դեպքերում այդ փոքրացման շաիր ավելի մեծ է լինում։ Հետևապես կառուցվածքների հաշվարկի դեպքում անհրաճիշտ է հաշվի առնել նրանց առաճգա-պլաստիկական հատկութիւնները. քանի որ դրանք բերում են սեյսմիկ ուճերի զգալի փոքրացման։

#### Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Дарбиник С. С. К вопросу колебания системы с одной степенью свободы с учетом упруго-пластических деформаций. Известия АН Армянской ССР (серия ТН), т. XII, № 1, 1959.
2. Дарбиник С. С. Сдвиговые колебания системы со многими степенями свободы за пределами упругости. Известия АН Армянской ССР (серия ТН), т. XIII, № 1, 1960.
3. Хачиян Э. Е. Расчет сооружений на сейсмостойкость по акселерограммам сильных землетрясений. Известия АН Армянской ССР (серия ТН), т. XV, № 3, 1962.
4. Хачиян Э. Е. Расчет сооружений на сейсмостойкость с учетом упруго-пластических деформаций. Известия АН Армянской ССР (серия ТН), т. XVII, № 1, 1964.