

СТРОИТЕЛЬНАЯ МЕХАНИКА

С. С. ДАРБИНЯН

О СПЕКТРЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ ПРИ РАСЧЕТЕ СООРУЖЕНИЙ НА СЕЙСМОСТОЙКОСТЬ С УЧЕТОМ ПЛАСТИЧЕСКИХ ДЕФОРМАЦИЙ

В статье рассматривается вопрос анализа спектров перемещений при расчете сооружений на сейсмические воздействия с учетом упруго-пластических деформаций. Исследуются колебания системы с одной степенью свободы по акселерограммам четырех реальных землетрясений, оцениваемых в 7 и 8 баллов. Задача решается с помощью электронно-вычислительной машины*. Упруго-пластические свойства системы принимаются по закону линейного упрочнения (рис. 1). Перемещения системы для разных зон упруго-пластического нагружения и разгрузки в общем случае определяются формулой [1]:

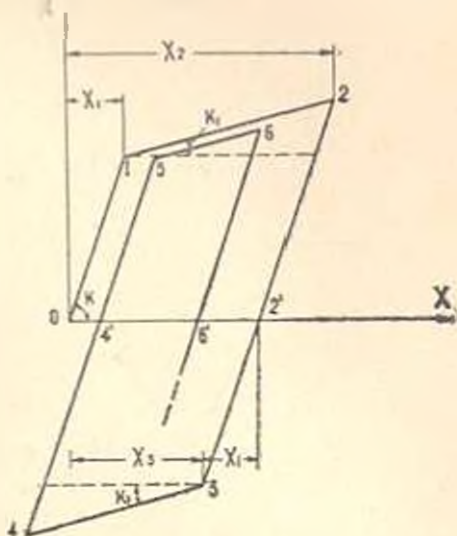


Рис. 1. Диаграмма „сила-перемещение“.

$$x_{k, k+1} = \left| x_k \cos p_k (t - t_k) + \frac{1}{p_k} \left(\beta_k \dot{x}_k + \frac{2}{2} p_k x_k \right) \sin p_k (t - t_k) \right| e^{-\frac{\gamma}{2} p_k (t - t_k)} - \frac{1}{p_k} \int_{t_k}^t \left\{ \dot{x}_0(z) + \left(\frac{\partial \sigma}{\partial T} \right)^2 \left[(1 - \beta_k) \beta_k x_k - (1 - \beta_k) \bar{x}_k - \beta_k \bar{x}_{k-1} \right] \right\} e^{-\frac{\gamma}{2} p_k (t - z)} \sin p_k (t - z) dz, \quad (1)$$

где $\beta_k = 0$, $\beta_{k+1} = 1$, $\bar{x}_k = 0$ при $k < 2$.

* Приведенные в статье результаты являются продолжением решения задачи данной в [1], поэтому здесь не будем останавливаться на подробностях постановки и метода решения. Рассматривается случай нулевого затухания. Здесь приняты обозначения [1].

На печатающей установке машины записывались значения упруго-пластических перемещений во всех точках перехода (точки 1, 2, 3, 4... рис. 1). Перемещения в нечетных точках определялись формулой

$$x_{k+1} = \bar{x}_k + (-1)^{k/2} x_2 \quad (k=2, 4, 6 \dots). \quad (2)$$

Для 12 значений периода собственных колебаний определялись величины смещений во времени, которые дали возможность построить их графики в функции от времени. Нами получено 336 таких графиков, три из которых при $\alpha=0$, $\tau_1=0,5$, $T=0,4$ для землетрясения № 2 приведены на рис. 2.

На этих графиках пунктиром показаны новые оси координат, относительно которых система начинает упругие колебания. Из отдель-

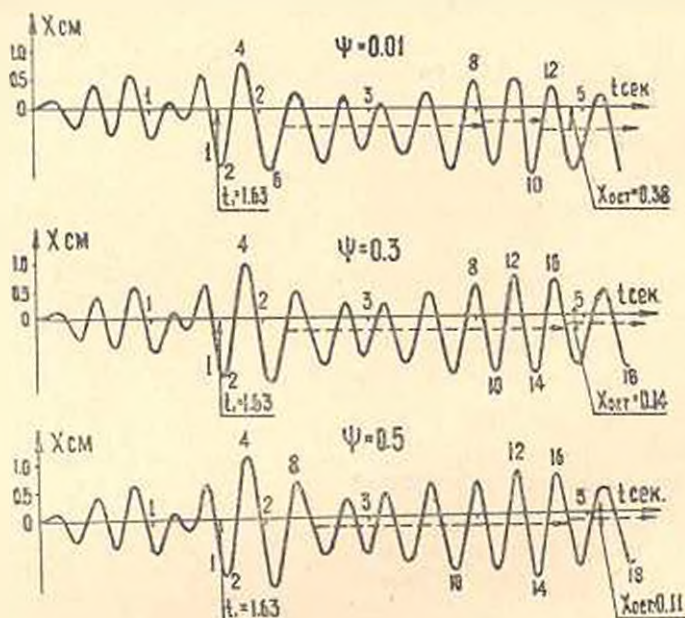


Рис. 2. Графики изменения перемещений во времени при землетрясении № 2, при $\tau_1=0,5$, $T=0,4$.

ных случаях они меняются в 2—3 раза. Такое явление происходит по следующей причине. В зависимости от закона колебания почвы система совершает либо упруго-пластические, либо упругие колебания, и поэтому она колеблется относительно новых положений равновесия. Из этих графиков видно, что изменения перемещений в сооружении приближается к гармоническому закону. Имея величины перемещений в точках перехода диаграммы, определялись их максимальные значения и строились спектры максимальных перемещений. Такие значения для землетрясений № 1 и № 2 приведены в табл. 1. Для сопоставления полученных результатов с упругими решениями были найдены также значения максимальных перемещений в предположении чисто упругой работы рассматриваемой системы. Значения x_{up}^m для разных T приведены в табл. 2.

Таблица 1

Значения максимальных упруго-пластических перемещений в см

ψ	Землетрясение № 1												Землетрясение № 2											
	$\eta=0,3$				$\eta=0,5$				$\eta=0,7$				$\eta=0,3$				$\eta=0,5$				$\eta=0,7$			
	0,01	0,3	0,5	0,8	0,01	0,3	0,5	0,8	0,01	0,3	0,5	0,8	0,01	0,3	0,5	0,8	0,01	0,3	0,5	0,8	0,01	0,3	0,5	0,8
0,1	0,29	0,10	0,44	0,04	0,07	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,09	0,12	0,11	0,11	0,13	0,14	0,13	0,13	0,13	0,13	0,14	0,15
0,15	0,18	0,11	0,14	0,15	0,17	0,20	0,17	0,16	0,17	0,19	0,19	0,19	0,31	0,26	0,19	0,24	0,37	0,37	0,26	0,27	0,30	0,28	0,29	0,30
0,2	0,56	0,39	0,33	0,41	0,46	0,44	0,43	0,41	0,43	0,44	0,45	0,46	0,36	1,24	0,96	0,33	0,30	0,32	0,10	0,40	0,40	0,41	0,43	0,48
0,25	0,40	0,47	0,33	0,64	0,66	0,51	0,56	0,87	0,63	0,64	0,65	0,60	0,69	0,67	0,74	0,83	0,83	0,98	0,94	1,09	1,33	1,30	1,28	1,32
0,3	0,82	0,60	0,65	0,83	1,12	1,08	0,93	0,95	1,27	1,21	1,25	1,24	1,18	1,09	1,11	1,41	1,25	1,25	1,31	1,45	1,40	1,43	1,47	1,62
0,35	1,51	1,04	0,92	1,16	1,13	1,16	1,19	1,24	1,57	1,56	1,58	1,59	2,21	1,69	1,65	1,94	2,09	1,70	1,84	1,99	2,81	2,89	2,29	2,48
0,4	0,66	0,76	0,65	0,60	0,64	0,76	0,74	0,71	0,80	0,78	0,78	0,77	1,88	1,35	1,06	1,33	1,19	1,16	1,24	1,38	1,31	1,30	1,35	1,44
0,45	0,89	0,83	0,65	0,51	0,57	0,5	0,89	0,54	0,38	0,55	0,55	0,54	1,33	1,32	1,52	1,90	1,91	1,91	1,97	2,12	2,31	2,19	2,21	2,23
0,5	1,39	1,24	1,15	0,83	0,99	0,90	0,87	0,83	0,99	0,78	0,79	0,74	1,70	1,79	1,94	2,44	2,39	2,34	2,31	2,71	2,85	2,83	2,82	2,88
0,6	1,39	1,47	1,67	2,10	2,12	2,17	2,30	2,63	2,60	2,71	2,78	2,87	2,08	1,77	1,83	2,12	2,00	2,42	2,20	2,59	2,67	3,02	2,88	3,10
0,7	1,46	0,99	0,80	0,96	0,91	1,23	1,13	0,99	1,11	1,07	1,05	1,03	3,24	2,04	1,56	1,69	1,68	1,83	2,18	1,79	1,85	1,74	1,78	1,86
0,8	0,81	0,84	0,89	0,99	1,02	1,02	1,03	1,06	1,08	1,07	1,06	1,11	3,49	2,94	3,15	2,88	3,64	3,48	3,42	3,36	3,27	3,29	3,30	3,31
0,9	0,55	0,57	0,58	0,73	0,77	1,05	0,92	0,83	0,74	0,74	0,71	0,85	3,71	3,51	3,46	3,48	4,17	3,92	3,78	3,62	3,71	3,65	3,62	3,57
1,0	0,76	0,76	0,76	0,77	0,80	0,79	0,75	0,77	0,77	0,78	0,78	0,77	2,24	2,49	2,69	3,02	3,12	3,16	3,19	3,22	3,37	3,43	3,30	3,27
1,2	0,91	0,57	0,58	0,62	0,64	0,64	0,65	0,66	0,67	0,67	0,67	0,67	1,54	1,79	2,19	2,28	2,26	2,23	2,21	2,18	2,18	2,18	2,27	2,44
1,4	0,39	0,41	0,46	0,50	1,19	1,13	1,10	1,05	0,88	1,06	1,05	1,04	3,12	2,56	2,39	2,75	2,12	2,38	2,57	3,34	2,75	2,89	3,02	3,23
1,6	0,46	0,49	0,52	0,58	1,21	1,17	1,15	1,12	1,13	1,12	1,12	1,11	1,44	2,23	2,19	2,11	2,35	2,22	2,75	2,14	2,65	2,71	2,74	2,78
1,8	0,81	0,70	0,64	0,48	0,67	0,67	0,50	0,50	1,12	1,11	1,11	1,10	2,79	1,59	1,62	1,92	1,75	1,73	1,77	1,95	1,86	1,93	1,97	1,99
2,0	1,02	0,95	0,91	0,87	0,84	0,84	0,84	0,83	1,31	1,30	1,30	1,29	1,60	1,61	1,65	1,98	1,66	1,69	1,79	2,08	1,97	2,06	2,12	2,21
2,5	2,43	1,96	1,76	1,63	2,00	1,93	1,90	1,87	1,88	1,87	1,86	1,85	1,97	1,95	1,93	1,82	1,90	1,67	2,10	1,78	1,66	1,66	1,66	1,70
3,0	1,78	1,97	1,94	1,94	1,91	1,90	1,89	1,95	1,88	1,88	1,96	2,07	1,32	1,40	1,46	1,54	1,95	1,84	1,92	1,93	1,93	1,93	1,93	1,93
3,5	3,26	2,92	2,75	2,56	1,97	2,12	2,22	2,36	2,61	2,60	2,59	2,57	1,40	1,11	1,12	1,13	2,07	2,05	2,06	2,06	2,06	2,06	2,06	2,05

Таблица 2

Значение максимальных перемещений при чисто упругом расчете в см

T	Землетрясение № 1	Землетрясение № 2	Землетрясение № 3	Землетрясение № 4
0,1	0,047	0,157	0,131	0,036
0,15	0,211	0,300	0,447	0,175
0,2	0,511	0,496	1,120	0,312
0,25	0,647	1,501	2,407	0,610
0,3	1,224	1,797	2,861	0,428
0,35	1,811	2,814	5,778	1,011
0,4	0,764	1,579	4,266	0,529
0,45	0,527	2,362	10,485	0,917
0,5	0,835	3,233	6,144	1,092
0,6	3,246	3,434	10,330	1,966
0,7	1,012	1,999	10,529	1,067
0,8	1,212	3,630	5,280	1,627
0,9	0,817	3,577	4,910	1,556
1,0	0,770	3,249	4,038	1,309
1,2	0,665	2,515	3,552	1,485
1,4	1,028	3,382	6,523	1,837
1,6	1,102	1,808	11,660	2,158
1,8	1,092	2,054	17,613	2,089
2,0	1,282	2,261	18,453	1,956
2,5	1,848	1,836	20,289	2,149
3,0	2,334	1,921	20,264	2,657
3,5	2,565	2,126	17,809	3,328

Было получено 48 спектров максимальных перемещений, некоторые из которых при землетрясении № 2 показаны на рис. 3. На этом рисунке пунктиром указываются значения максимальных перемещений при чисто упругих колебаниях.

Анализ полученных спектров показывает, что разница между максимальными перемещениями при чисто упругом и упруго-пластическом решениях незначительна. Разница увеличивается для больших значений T и малых значениях η и ψ . При этом в большинстве случаев $x_{\text{упр}}^{\text{max}} > x_{\text{пл}}^{\text{max}}$. Только для некоторых значений T при землетрясениях 3 и 4 упруго-пластические решения получаются большими по сравнению с упругими. Кроме этого, в местах больших пиков в упругом решении значения упруго-пластических решений резко уменьшаются.

Проведенные исследования показывают, что при упруго-пластическом расчете сооружений нет основания опасаться больших перемещений за счет пластических деформаций. Однако для полного изучения поведения сооружений под сейсмическими воздействиями необходимо определить также величины максимальных пластических и остаточных деформаций.

Дело в том, что во время упруго-пластических колебаний в сооружениях могут появляться такие остаточные деформации, при наличии которых дальнейшая эксплуатация конструкций становится невозможной. С другой стороны, при многократном знакопеременном уп-

руго-пластическом нагружении возможны появления таких пластических деформаций, при которых сооружение выходит из строя, не доходя до конца колебательного процесса. Такое явление может иметь место даже при нулевых остаточных деформациях. Поэтому исследо-

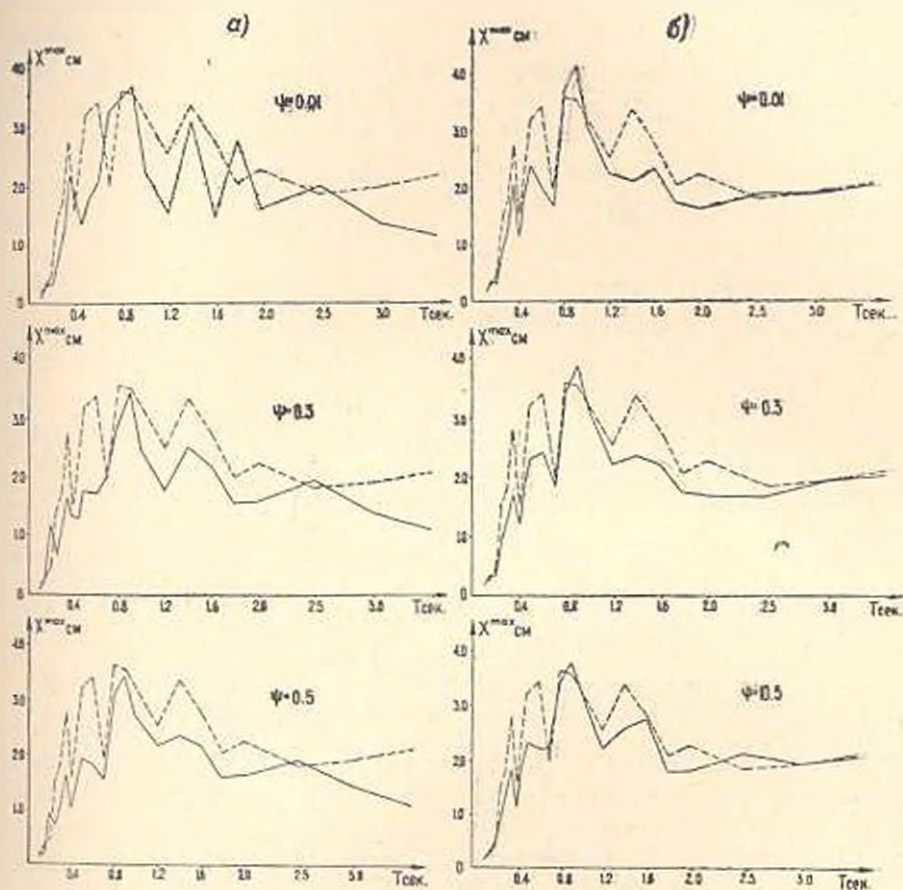


Рис. 3. Спектры максимальных перемещений при землетрясении № 2:
а) при $\eta = 0.3$; б) при $\eta = 0.5$.

вание спектров максимальных и остаточных деформаций представляет интерес. С этой целью программа вычислений была составлена таким образом, чтобы после каждого полуцикла колебаний имелась бы возможность получить величину остаточной деформации.

Значения остаточных деформаций вычисляются следующей формулой:

$$\bar{x}_k = (1 - \psi) \sum_{l=1}^{k-2} (x_{2l} - x_{2l-1}), \quad (k = 2, 4, 6 \dots) \quad (3)$$

Имея значения (3) после каждого полуцикла колебаний, можем найти величины максимальных пластических и остаточных деформаций при последнем цикле колебания. Эти значения для четырех землетрясений приведены в табл. 3—6. На рис. 4 показаны спектры

максимальных пластических и остаточных деформаций при $\eta=0,5$ и разных значений ψ , для землетрясений № 2 и № 3. На этих графиках пунктиром обозначены значения максимальных пластических деформаций, а там, где кривые совпадают, показаны только сплошной линией.

Из табл. 4—6 и рис. 4 видно, что для жестких сооружений $T < 0,6$ сек (при землетрясении № 3 $T < 0,5$ сек.) величины остаточ-

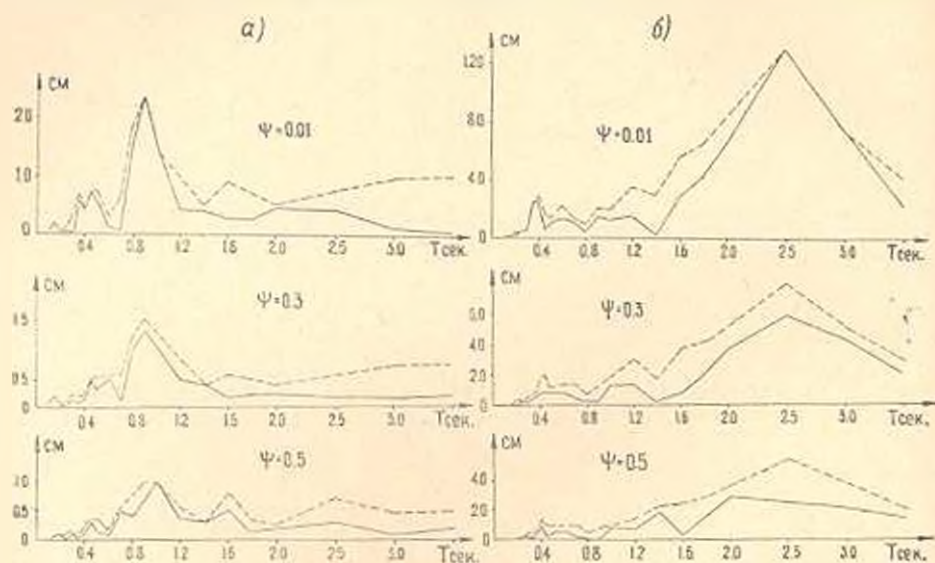


Рис. 4. Спектры максимальных пластических и остаточных деформаций при $\eta = 0,5$: а) при землетрясении № 2; б) при землетрясении № 3.

ных деформаций весьма малы, притом они всегда остаются меньше максимальных пластических деформаций. Поэтому жесткие сооружения можно рассчитывать с учетом упруго-пластических деформаций без опасения в отношении появления недопустимых деформаций при их дальнейшей эксплуатации. Для очень гибких сооружений значения максимальных пластических и остаточных деформаций совпадают.

Значения остаточных деформаций уменьшаются при увеличении коэффициента пластичности η и коэффициента упрочнения ψ . В отдельных случаях в спектрах остаточных деформаций имеют место большие пики (например, для землетрясения № 2 в интервале $0,8 < T < 1,1$ сек, а для землетрясения № 3 при больших значениях T). Если сравнивать спектры ускорения [1] с спектрами перемещений, то везде пики на них получаются для разных значений периода собственных колебаний, при этом на спектрах перемещений пики сдвигаются в сторону больших T .

Из приведенных данных видно, что в отдельных случаях в сооружениях и в особенности гибких следует ожидать появления больших остаточных деформаций, которые могут быть причиной разрушения или причиной невозможности дальнейшей эксплуатации сооружений.

ПА-7453

Таблица 3

Значения максимальных пластических ($\chi_{\text{пл}}^{\text{max}}$) и остаточных ($\chi_{\text{ост}}$) деформаций при землетрясении № 1 в см

T	ψ	$\eta = 0,3$								$\eta = 0,5$								$\eta = 0,7$							
		0,01		0,3		0,5		0,8		0,01		0,3		0,5		0,8		0,01		0,3		0,5		0,8	
		$\chi_{\text{пл}}^{\text{max}}$	$\chi_{\text{ост}}$	$\chi_{\text{пл}}^{\text{max}}$	$\chi_{\text{ост}}$	$\chi_{\text{пл}}^{\text{max}}$	$\chi_{\text{ост}}$	$\chi_{\text{пл}}^{\text{max}}$	$\chi_{\text{ост}}$	$\chi_{\text{пл}}^{\text{max}}$	$\chi_{\text{ост}}$	$\chi_{\text{пл}}^{\text{max}}$	$\chi_{\text{ост}}$	$\chi_{\text{пл}}^{\text{max}}$	$\chi_{\text{ост}}$	$\chi_{\text{пл}}^{\text{max}}$	$\chi_{\text{ост}}$	$\chi_{\text{пл}}^{\text{max}}$	$\chi_{\text{ост}}$	$\chi_{\text{пл}}^{\text{max}}$	$\chi_{\text{ост}}$	$\chi_{\text{пл}}^{\text{max}}$	$\chi_{\text{ост}}$	$\chi_{\text{пл}}^{\text{max}}$	$\chi_{\text{ост}}$
		$\chi_{\text{пл}}^{\text{max}}$	$\chi_{\text{ост}}$	$\chi_{\text{пл}}^{\text{max}}$	$\chi_{\text{ост}}$	$\chi_{\text{пл}}^{\text{max}}$	$\chi_{\text{ост}}$	$\chi_{\text{пл}}^{\text{max}}$	$\chi_{\text{ост}}$	$\chi_{\text{пл}}^{\text{max}}$	$\chi_{\text{ост}}$	$\chi_{\text{пл}}^{\text{max}}$	$\chi_{\text{ост}}$	$\chi_{\text{пл}}^{\text{max}}$	$\chi_{\text{ост}}$	$\chi_{\text{пл}}^{\text{max}}$	$\chi_{\text{ост}}$	$\chi_{\text{пл}}^{\text{max}}$	$\chi_{\text{ост}}$	$\chi_{\text{пл}}^{\text{max}}$	$\chi_{\text{ост}}$	$\chi_{\text{пл}}^{\text{max}}$	$\chi_{\text{ост}}$	$\chi_{\text{пл}}^{\text{max}}$	$\chi_{\text{ост}}$
0,1		0,28	0,10	0,07	0,06	0,01	0,01	0,01	0	0,05	0,04	0,02	0	0,01	0,01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,15		0,11	0,09	0,05	0,04	0,03	0,03	0,01	0,01	0,08	0,05	0,09	0,09	0,05	0,04	0,02	0,01	0,02	0,01	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0
0,2		0,41	0,37	0,18	0	0,10	0,10	0,04	0,02	0,19	0,19	0,13	0,11	0,09	0,09	0,02	0	0,07	0,05	0,05	0,03	0,04	0,03	0,02	0
0,25		0,21	0,04	0,17	0,12	0,11	0,05	0,05	0,03	0,33	0,08	0,09	0,03	0,11	0,08	0,01	0,03	0,20	0,19	0,18	0,18	0,11	0,06	0,06	0
0,3		0,45	0,36	0,29	0,10	0,10	0,02	0,04	0,04	0,50	0,45	0,33	0,22	0,14	0,05	0,06	0	0,41	0,41	0,28	0,20	0,19	0,09	0,07	0,03
0,35		0,96	0,88	0,38	0,24	0,17	0,12	0,08	0,02	0,22	0,20	0,16	0,03	0,13	0,05	0,07	0,01	0,25	0,25	0,21	0,13	0,15	0,07	0,06	0,02
0,4		0,52	0,52	0,39	0,38	0,22	0,15	0,06	0,01	0,26	0,26	0,28	0,21	0,18	0,09	0,06	0,01	0,26	0,26	0,17	0,12	0,12	0,05	0,04	0,01
0,45		0,73	0,04	0,46	0,25	0,27	0,19	0,07	0,04	1,31	1,31	0,21	0,11	0,10	0,02	0,10	0,07	0,19	0,13	0,13	0,08	0,09	0,07	0,05	0,03
0,4		1,13	1,11	0,75	0,60	0,51	0,40	0,15	0,12	1,55	1,46	0,33	0,16	0,22	0,12	0,15	0,14	0,40	0,40	0,15	0,15	0,10	0,07	0,05	0,05
0,6		0,42	0,27	0,32	0,14	0,28	0,08	0,18	0,01	0,48	0,32	0,36	0,16	0,29	0,09	0,13	0,01	0,32	0,15	0,27	0,07	0,20	0,03	0,09	0
0,7		1,15	1,08	0,36	0,36	0,19	0	0,07	0,02	0,40	0,22	0,40	0,22	0,32	0,13	0,11	0,05	0,39	0,39	0,23	0,23	0,15	0,12	0,05	0,02
0,8		0,44	0,41	0,30	0,05	0,21	0,08	0,07	0,03	0,41	0,31	0,27	0,08	0,19	0,07	0,07	0,03	0,22	0,07	0,15	0,01	0,11	0,03	0,05	0,04
0,9		0,30	0,15	0,21	0,17	0,15	0,07	0,11	0,11	0,30	0,08	0,51	0,50	0,32	0,31	0,16	0,16	0,17	0,07	0,12	0,09	0,08	0,08	0,08	0,08
1,0		0,52	0,05	0,36	0,04	0,26	0,01	0,16	0,13	0,41	0,06	0,28	0,11	0,26	0,13	0,08	0,08	0,24	0,24	0,17	0,17	0,12	0,12	0,05	0,05
1,2		0,70	0,70	0,26	0,15	0,19	0,15	0,08	0,06	0,30	0,12	0,21	0,09	0,15	0,07	0,06	0,02	0,21	0,03	0,14	0,04	0,10	0,04	0,04	0,02
1,4		0,08	0,06	0,07	0,04	0,06	0,04	0,03	0,03	0,67	0,67	0,43	0,43	0,29	0,29	0,11	0,11	0,36	0,36	0,24	0,24	0,17	0,17	0,06	0,06
1,6		0,13	0,02	0,10	0,02	0,07	0	0,03	0,01	0,65	0,63	0,44	0,44	0,30	0,30	0,11	0,11	0,36	0,36	0,25	0,25	0,17	0,17	0,07	0,07
1,8		0,48	0,48	0,25	0,13	0,14	0,01	0,05	0,05	0,13	0,13	0,09	0,09	0,01	0,01	0	0	0,35	0,35	0,24	0,24	0,17	0,17	0,07	0,07
2,0		0,62	0,62	0,38	0,33	0,25	0,14	0,08	0,01	0,20	0,20	0,13	0,10	0,09	0,05	0,03	0,01	0,41	0,41	0,28	0,28	0,20	0,20	0,08	0,08
2,5		1,85	1,85	0,98	0,98	0,60	0,60	0,21	0,21	1,03	0,46	0,70	0,33	0,49	0,23	0,19	0,07	0,58	0,58	0,40	0,38	0,29	0,23	0,11	0,07
3,0		1,08	1,08	0,89	0,15	0,62	0,23	0,24	0,06	0,74	0,37	0,51	0,21	0,36	0,13	0,14	0,04	0,24	0,13	0,17	0,12	0,12	0,10	0,05	0,05
3,5		2,47	2,47	1,40	1,40	0,98	0,98	0,35	0,35	0,68	0,68	0,48	0,48	0,34	0,34	0,14	0,14	0,81	0,81	0,56	0,45	0,40	0,24	0,16	0,05

Таблица 4

Значения максимальных пластических ($x_{\text{пл}}^{\text{max}}$) и остаточных ($x_{\text{ост}}$) деформаций при землетрясении № 2 в с.м

T	ψ	$\eta=0,3$								$\eta=0,5$								$\eta=0,7$							
		0,01		0,3		0,5		0,8		0,01		0,3		0,5		0,8		0,01		0,3		0,5		0,8	
		$x_{\text{пл}}^{\text{max}}$	$x_{\text{ост}}$	$x_{\text{пл}}^{\text{max}}$	$x_{\text{ост}}$	$x_{\text{пл}}^{\text{max}}$	$x_{\text{ост}}$	$x_{\text{пл}}^{\text{max}}$	$x_{\text{ост}}$	$x_{\text{пл}}^{\text{max}}$	$x_{\text{ост}}$	$x_{\text{пл}}^{\text{max}}$	$x_{\text{ост}}$	$x_{\text{пл}}^{\text{max}}$	$x_{\text{ост}}$	$x_{\text{пл}}^{\text{max}}$	$x_{\text{ост}}$	$x_{\text{пл}}^{\text{max}}$	$x_{\text{ост}}$	$x_{\text{пл}}^{\text{max}}$	$x_{\text{ост}}$	$x_{\text{пл}}^{\text{max}}$	$x_{\text{ост}}$	$x_{\text{пл}}^{\text{max}}$	$x_{\text{ост}}$
0,1		0,01 0		0,07 0,07	0,05 0,05	0,02 0,02		0,05 0,01		0,06 0,06	0,04 0,04	0,01 0,01		0,02	0	0,01	0	0,01	0	0,01	0	0,01	0	0,01	0
0,15		0,22 0,01		0,15 0,11	0,05 0,05	0,06 0,06		0,22 0,20		0,21 0,21	0,08 0,08	0,01 0,01		0,09	0,09	0,01	0,01	0,03	0,01	0,03	0,01	0,01	0	0,01	0
0,2		0,21 0,20		0,09 0,04	0,01 0,01	0,06 0,04		0,05 0,01		0,05 0,03	0,11 0,11	0,01 0,01		0,05	0,05	0,04	0,01	0,03	0,02	0,04	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
0,25		0,24 0,11		0,18 0,14	0,11 0,09	0,09 0,04		0,11 0,01		0,16 0,03	0,13 0,01	0,07 0,03		0,27	0,18	0,20	0,10	0,14	0,05	0,05	0,05	0,03	0,03	0,03	0,03
0,3		0,64 0,31		0,15 0,09	0,22 0,02	0,10 0,03		0,31 0,02		0,19 0,17	0,18 0,10	0,10 0,01		0,14	0,11	0,11	0,11	0,12	0,12	0,07	0,02	0,07	0,02	0,02	0,02
0,35		1,36 1,31		0,59 0,22	0,10 0,10	0,18 0,01		0,67 0,61		0,18 0,06	0,15 0,02	0,10 0,01		0,84	0,81	0,54	0,11	0,12	0,04	0,07	0,01	0,07	0,01	0,01	0,01
0,4		1,10 1,09		0,61 0,11	0,26 0,17	0,10 0,01		0,40 0,38		0,23 0,16	0,20 0,11	0,05 0,05		0,20	0,10	0,14	0,09	0,10	0,05	0,09	0,06	0,09	0,06	0,06	0,06
0,45		0,6 0,62		0,35 0,18	0,28 0	0,14 0,03		0,73 0,69		0,19 0,16	0,36 0,31	0,17 0,06		0,65	0,65	0,40	0,10	0,28	0,27	0,12	0,10	0,12	0,10	0,10	0,10
0,5		0,40 0,30		0,50 0,11	0,30 0,12	0,17 0,03		0,70 0,57		0,50 0,28	0,34 0,16	0,16 0,01		0,58	0,21	0,40	0,13	0,28	0,21	0,11	0,02	0,11	0,02	0,02	0,02
0,6		1,05 1,01		0,53 0,21	0,19 0,14	0,17 0,04		0,28 0,10		0,55 0,54	0,18 0,07	0,11 0,01		0,26	0,21	0,49	0,39	0,18	0,13	0,09	0,02	0,09	0,02	0,02	0,02
0,7		2,17 2,37		1,09 0,88	0,11 0,38	0,25 0,03		0,67 0,03		0,44 0,03	0,57 0,50	0,12 0,10		0,41	0,44	0,20	0,15	0,08	0,08	0,09	0,02	0,09	0,02	0,02	0,02
0,8		2,39 2,39		1,19 1,46	1,24 0,52	0,13 0,25		1,80 1,14		1,15 0,97	0,78 0,11	0,29 0,01		0,72	0,57	0,50	0,01	0,16	0,03	0,14	0,01	0,14	0,01	0,01	0,01
0,9		2,61 2,61		1,77 1,61	1,24 0,86	0,49 0,42		2,35 2,33		1,48 1,29	0,99 0,68	0,37 0,28		1,20	1,20	0,80	0,67	0,55	0,42	0,21	0,15	0,21	0,15	0,15	0,15
1,0		1,25 1,25		0,98 0,98	1,08 1,08	0,42 0,2		1,18 1,18		1,03 1,03	0,99 0,99	0,36 0,31		1,08	1,08	0,74	0,74	0,51	0,51	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27
1,2		0,76 0,18		0,79 0,75	0,71 0,41	0,36 0,30		0,98 0,43		0,80 0,46	0,85 0,35	0,24 0,16		0,40	0,19	0,28	0,18	0,20	0,13	0,08	0,03	0,08	0,03	0,03	0,03
1,4		2,19 2,01		1,27 0,50	0,60 0,42	0,39 0,39		0,54 0,42		0,37 0,37	0,29 0,29	0,30 0,30		0,37	0,37	0,32	0,32	0,26	0,26	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13
1,6		0,51 0,50		1,05 0,84	0,73 0,41	0,31 0,01		0,94 0,39		0,56 0,17	0,81 0,52	0,31 0,10		0,68	0,68	0,49	0,49	0,35	0,35	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14
1,8		0,91 0,85		0,62 0,42	0,45 0,05	0,16 0,11		0,71 0,27		0,49 0,22	0,35 0,16	0,14 0,12		0,42	0,42	0,29	0,29	0,20	0,20	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07
2,0		0,92 0,91		0,61 0,43	0,44 0,29	0,18 0,12		0,52 0,48		0,37 0,21	0,27 0,20	0,11 0,10		0,38	0,38	0,30	0,30	0,22	0,22	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
2,5		1,40 1,40		1,00 1,00	0,75 0,75	0,16 0,16		0,75 0,16		0,53 0,18	0,74 0,32	0,25 0,08		0,37	0,16	0,26	0,01	0,19	0,01	0,07	0,02	0,07	0,02	0,02	0,02
3,0		0,74 0,74		0,51 0,51	0,40 0,40	0,17 0,17		0,98 0,13		0,69 0,16	0,48 0,12	0,19 0,06		0,58	0,52	0,11	0,18	0,29	0,14	0,12	0,06	0,12	0,06	0,06	0,06
3,5		0,46 0,16		0,32 0,42	0,23 0,23	0,09 0,09		1,00 0,05		0,70 0,18	0,50 0,23	0,20 0,15		0,56	0,88	0,40	0,38	0,28	0,28	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11

Таблица 5

Значения максимальных пластических ($\chi_{\text{пл}}^{\text{max}}$) и остаточных ($\chi_{\text{ост}}$) деформаций при землетрясении № 3 в см

T	ψ	$\eta=0,3$								$\eta=0,5$								$\eta=0,7$							
		0,01		0,3		0,5		0,8		0,01		0,3		0,5		0,8		0,01		0,3		0,5		0,8	
		$\chi_{\text{пл}}^{\text{max}}$	$\chi_{\text{ост}}$	$\chi_{\text{пл}}^{\text{max}}$	$\chi_{\text{ост}}$	$\chi_{\text{пл}}^{\text{max}}$	$\chi_{\text{ост}}$	$\chi_{\text{пл}}^{\text{max}}$	$\chi_{\text{ост}}$	$\chi_{\text{пл}}^{\text{max}}$	$\chi_{\text{ост}}$	$\chi_{\text{пл}}^{\text{max}}$	$\chi_{\text{ост}}$	$\chi_{\text{пл}}^{\text{max}}$	$\chi_{\text{ост}}$	$\chi_{\text{пл}}^{\text{max}}$	$\chi_{\text{ост}}$	$\chi_{\text{пл}}^{\text{max}}$	$\chi_{\text{ост}}$	$\chi_{\text{пл}}^{\text{max}}$	$\chi_{\text{ост}}$	$\chi_{\text{пл}}^{\text{max}}$	$\chi_{\text{ост}}$	$\chi_{\text{пл}}^{\text{max}}$	$\chi_{\text{ост}}$
0,1		1,08	1,07	0,11	0,09	0,16	0,12	0,02	0,01	0,19	0,16	0,01	0	0,04	0,03	0,01	0,01	0,05	0,05	0,03	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01
0,15		0,71	0,68	0,12	0,03	0,18	0,11	0,03	0,03	0,21	0,15	0,12	0,04	0,08	0,02	0,03	0,01	0,07	0,03	0,04	0,03	0,03	0,03	0,02	0,01
0,2		0,70	0,50	0,64	0,59	0,38	0,34	0,03	0,07	0,36	0,12	0,26	0	0,18	0,16	0,07	0,02	0,20	0,17	0,05	0,02	0,05	0,03	0,06	0,05
0,25		0,81	0,21	0,41	0,09	0,73	0,67	0,14	0,05	0,36	0,31	0,27	0,27	0,23	0,22	0,13	0,06	0,32	0,04	0,24	0,11	0,18	0,11	0,07	0,02
9,3		0,63	0,21	1,54	1,18	1,61	0,80	0,26	0,17	0,78	0,62	0,44	0,25	0,41	0,34	0,18	0,11	0,35	0,06	0,24	0,01	0,17	0,06	0,08	0,07
0,35		1,61	1,02	0,91	0,38	0,70	0,19	0,29	0,13	2,44	2,14	0,63	0,47	0,51	0,22	0,29	0,06	1,54	1,43	0,89	0,74	0,63	0,48	0,27	0,20
0,4		2,80	0,90	1,17	0,61	0,90	0,21	0,36	0,03	3,02	2,61	1,63	1,03	1,39	0,83	0,14	0,04	0,89	0,74	0,89	0,89	0,60	0,57	0,25	0,14
0,45		1,25	0,54	1,30	0,27	0,85	0,09	0,48	0,22	1,87	0,64	1,89	0,95	1,00	0,15	0,47	0,01	1,05	0,38	0,87	0,29	0,68	0,39	0,30	0,12
0,5		2,01	0,17	2,87	2,08	1,05	0,51	0,37	0,14	1,39	1,21	1,11	0,99	0,87	0,49	0,39	0,26	1,73	1,73	1,19	1,19	0,84	0,66	0,33	0,23
0,6		3,67	3,62	1,08	0,07	1,07	0,21	0,55	0,37	2,29	1,51	1,51	0,87	1,01	0,62	0,48	0,39	1,33	0,52	0,91	0,17	0,64	0,03	0,28	0,10
0,7		2,96	1,98	2,03	0,91	1,51	0,50	0,67	0,33	1,36	1,24	1,58	0,51	1,10	0,24	0,41	0,18	1,66	1,23	1,14	0,67	0,80	0,47	0,34	0,11
0,8		5,13	4,76	1,93	1,36	1,21	0,58	0,41	0,12	1,02	0,54	0,72	0,23	0,51	0,10	0,22	0,02	1,18	0,81	0,82	0,29	0,58	0,16	0,23	0,08
0,9		4,33	1,91	2,97	2,80	1,58	0,32	0,54	0,13	2,09	1,57	1,29	0,25	0,85	0,09	0,31	0	0,57	0,57	0,52	0,52	0,41	0,41	0,19	0,17
1,0		5,03	0,05	1,49	0,13	0,72	0,20	0,63	0,09	2,01	1,33	1,90	1,59	1,01	0,91	0,36	0,08	1,43	1,43	0,96	0,78	0,66	0,39	0,25	0,05
1,2		14,76	14,74	2,65	0,65	2,67	0,93	0,40	0,12	3,54	1,88	3,12	1,48	1,54	0,77	0,27	0,14	2,29	1,68	1,09	0,85	0,53	0,48	0,16	0,07
1,4		8,79	7,33	3,35	1,52	2,00	0,82	0,79	0,18	2,95	0,17	1,84	0,19	2,30	1,93	0,59	0,33	2,21	2,21	1,38	1,38	0,91	0,91	0,47	0,47
1,6		5,24	2,43	3,51	0,71	2,45	1,10	0,91	0,63	5,78	2,99	3,73	0,85	2,53	0,18	0,91	0,12	3,15	1,54	2,11	0,50	1,46	0,04	0,56	0,10
1,8		6,90	4,29	4,74	2,85	3,97	1,97	1,29	0,96	6,51	4,23	4,21	2,12	2,89	1,53	1,03	0,79	1,84	0,80	1,28	0,48	0,90	0,13	0,36	0,12
2,0		11,68	11,68	5,19	1,59	3,72	2,25	1,49	1,43	8,26	6,49	5,40	3,81	3,69	2,88	1,38	1,35	3,20	2,40	2,20	1,57	1,54	1,24	0,64	0,64
2,5		6,40	6,10	6,01	3,73	4,66	1,14	2,26	0,15	12,89	12,89	8,22	6,05	5,50	2,65	2,00	0,26	6,10	5,91	4,13	2,62	2,87	1,15	1,10	0,08
3,0		7,38	1,22	4,90	1,45	3,36	0,23	1,45	0,50	7,35	7,35	5,37	1,43	3,91	2,20	1,64	0,30	6,37	6,37	4,43	4,28	3,13	2,42	1,23	0,59
3,5		8,83	27,3	5,96	0,22	4,13	0,61	1,58	0,66	4,22	2,06	3,00	2,00	2,09	1,68	0,83	0,82	4,40	4,40	3,13	3,13	2,24	2,24	0,90	0,90

Таблица 6

Значения максимальных пластических ($\chi_{пл}^{max}$) и остаточных ($\chi_{ост}$) деформаций при землетрясении № 1 в с.м

T	$\tau = 0,3$								$\tau = 0,5$								$\tau = 0,7$							
	0,01		0,3		0,5		0,8		0,01		0,3		0,5		0,8		0,01		0,3		0,5		0,8	
	$\chi_{пл}^{max}$	$\chi_{ост}$	$\chi_{пл}^{max}$	$\chi_{ост}$	$\chi_{пл}^{max}$	$\chi_{ост}$	$\chi_{пл}^{max}$	$\chi_{ост}$	$\chi_{пл}^{max}$	$\chi_{ост}$	$\chi_{пл}^{max}$	$\chi_{ост}$	$\chi_{пл}^{max}$	$\chi_{ост}$	$\chi_{пл}^{max}$	$\chi_{ост}$	$\chi_{пл}^{max}$	$\chi_{ост}$	$\chi_{пл}^{max}$	$\chi_{ост}$	$\chi_{пл}^{max}$	$\chi_{ост}$	$\chi_{пл}^{max}$	$\chi_{ост}$
0,1	0,13	0,13	0,10	0,09	0,02	0,01	0,02	0	0,02	0,01	0,01	0	0,01	0	0	0	0,01	0,01	0,01	0,01	0	0	0	0
0,15	0,05	0,01	0,05	0,01	0,10	0,09	0,03	0,02	0,06	0,05	0,04	0,03	0,03	0,02	0,01	0	0,01	0,04	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01
0,2	0,27	0,09	0,19	0,11	0,12	0,11	0,03	0,03	0,15	0,15	0,11	0,11	0,05	0,05	0,02	0,02	0,07	0,04	0,05	0,01	0,03	0	0,01	0,01
0,25	0,30	0,21	0,15	0,05	0,08	0,02	0,03	0,01	0,19	0,15	0,12	0,07	0,09	0,04	0,03	0,01	0,08	0,03	0,06	0,02	0,04	0	0,02	0
0,3	0,27	0,11	0,15	0,03	0,10	0,03	0,08	0,07	0,32	0,04	0,23	0,05	0,13	0,04	0,03	0,02	0,08	0,06	0,06	0,01	0,05	0,01	0,02	0,01
0,35	0,37	0,25	0,46	0,44	0,29	0,25	0,05	0,03	0,12	0	0,32	0,31	0,22	0,17	0,06	0,04	0,19	0,07	0,13	0	0,09	0,01	0,04	0,01
0,4	1,15	1,06	0,32	0,23	0,28	0,17	0,05	0,04	0,37	0,37	0,27	0,14	0,18	0,03	0,04	0,02	0,15	0,15	0,08	0,08	0,06	0,05	0,02	0,01
0,45	0,33	0,26	0,28	0,28	0,30	0,30	0,13	0,13	0,52	0,16	0,35	0,35	0,24	0,24	0,10	0,09	0,23	0,20	0,16	0,09	0,11	0,05	0,01	0,01
0,5	0,34	0,34	0,22	0,19	0,15	0,04	0,07	0,03	0,19	0,17	0,12	0,06	0,09	0	0,01	0,02	0,18	0,13	0,12	0,11	0,09	0,08	0,05	0,04
0,6	0,32	0,01	0,20	0,13	0,13	0,11	0,05	0,01	0,13	0,02	0,12	0,07	0,09	0,06	0,07	0,07	0,15	0	0,11	0,04	0,07	0,04	0,03	0,01
0,7	0,24	0,16	0,72	0,63	0,50	0,35	0,19	0,07	0,25	0,25	0,45	0,38	0,31	0,20	0,11	0,04	0,34	0,34	0,23	0,23	0,16	0,16	0,06	0,06
0,8	0,38	0,38	0,31	0,31	0,38	0,18	0,18	0,02	0,47	0,06	0,69	0,55	0,46	0,30	0,18	0,07	0,32	0,32	0,23	0,23	0,17	0,17	0,07	0,07
0,9	0,66	0,40	0,33	0,25	0,19	0,12	0,09	0,09	0,44	0,29	0,12	0,06	0,21	0,07	0,08	0,06	0,12	0,12	0,27	0,27	0,19	0,19	0,08	0,08
1,0	1,41	1,41	0,75	0,54	0,45	0,29	0,14	0,10	0,55	0,39	0,34	0,12	0,22	0,08	0,08	0,04	0,20	0,20	0,16	0,14	0,13	0,07	0,06	0,01
1,2	1,68	1,68	1,27	1,27	0,72	0,68	0,22	0,12	0,96	0,96	0,62	0,62	0,42	0,37	0,16	0,07	0,50	0,50	0,34	0,34	0,24	0,21	0,09	0,05
1,4	2,21	2,21	1,60	1,00	1,11	1,11	0,47	0,17	0,94	0,94	0,63	0,63	0,13	0,13	0,31	0,31	0,47	0,47	0,32	0,32	0,23	0,23	0,09	0,09
1,6	1,63	1,63	1,36	1,36	1,01	1,01	0,41	0,41	0,86	0,86	0,58	0,58	0,40	0,40	0,34	0,34	0,34	0,34	0,23	0,23	0,17	0,17	0,07	0,06
1,8	2,59	2,59	1,07	0,78	0,72	0,42	0,27	0,11	1,01	1,01	0,67	0,60	0,46	0,35	0,18	0,10	0,47	0,47	0,32	0,32	0,23	0,23	0,09	0,09
2,0	3,15	3,15	1,15	0,97	0,77	0,51	0,29	0,11	1,17	1,17	0,77	0,73	0,53	0,40	0,20	0,10	0,65	0,65	0,44	0,44	0,31	0,30	0,12	0,09
2,5	3,88	3,88	1,92	1,92	1,17	1,17	0,29	0,26	2,23	2,23	1,28	1,28	0,52	0,52	0,20	0,20	0,59	0,59	0,41	0,41	0,29	0,29	0,11	0,11
3,0	4,28	4,28	1,97	1,97	1,28	1,28	0,44	0,44	1,99	1,99	1,27	1,27	0,85	0,85	0,31	0,31	0,98	0,98	0,66	0,66	0,46	0,46	0,18	0,18
3,5	3,93	3,93	2,33	2,33	1,36	1,36	0,50	0,50	1,99	1,99	1,33	1,33	0,91	0,91	0,35	0,35	1,05	1,05	0,73	0,73	0,51	0,51	0,20	0,20

В связи с этим необходимо изучение поведения сооружений за пределами упругости под действием динамических сил.

ИГИС АН Армянской ССР

Поступило 9.IV.1965

Ս. Ս. ԴԱՐԲԻՆԻԱՆ,

ԿԱՌՈՒՑՎԱԾՔՆԵՐԻ ՍԵՅՍՄԱԿԱՅՈՒՆՈՒԹՅԱՆ ՀԱՇՎԱՐԿԻ ԺԱՄԱՆԱԿ
ՏՆՂԱԳՈՒՆՈՒԹՅՈՒՆԻ ՈՓԵԿՏՐԻ ՄԱՍԻՆ, ՊԼԱՍՏԻԿ ԴԵՖՈՐՄԱՑԻԱՆԵՐԻ
ՀԱՇՎԱՌՈՒՄՈՎ

Ա մ փ ո փ ո Վ

Հոդվածում ուսումնասիրվում է 7 և 9 բալ ում ունեցող իրկաշարժների աղղեցության տակ գտնվող մեկ ապատության առտիճան ունեցող սխառնի տատանումները առաձգա-պլաստիկական ղեֆորմացիաների հաշվառումով: Բերված արդյունքները հանդիսանում են [1] աշխատանքի շարունակությունը, այդ պատճառով այստեղ չի տրվում խնդրի ղրվածքի և հաշվուման մեթոդի մանրամասնությունները:

Հետազոտվում է մաքսիմում տեղափոխումների, մաքսիմում պլաստիկ և մնայուն ղեֆորմացիաների սպեկտրները այն ղեպքում, երբ սխառնի մաքսիման զործակիցը հավասար է ղերոյի խնդիրը լուծվում է էլեկտրոնային հաշվիչ մեքենայի միջոցով: Հիմք ընդունելով (1) և (3) հավասարումները, հաշվվում են տեղափոխումների արժեքները նկ-1, պատկերված ղիագրամի անցման կետերում, որոնց հիման վրա որոշվում է մաքսիմում տեղափոխումների, մաքսիմում պլաստիկ ղեֆորմացիաների և մնայուն ղեֆորմացիաների արժեքները սեփական տատանման պարբերության 20 արժեքների համար: Նշված արժեքները բերված են 3—6 աղյուսակներում: Ստացված արդյունքները ցույց են տալիս, որ մաքուր առաձգական և առաձգա-պլաստիկական տատանումների ժամանակ մաքսիմում տեղափոխումները իրարից տարբերվում են շատ քիչ: Կոշտ կառուցվածքների համար մնայուն ղեֆորմացիաները ստացվում են շատ փոքր: Այդ պատճառով այդ տիպի կառուցվածքների առաձգա-պլաստիկական հաշվարկի ժամանակ հարկ չկա վախենալու մեծ ղեֆորմացիաների առաջացման վտանգից: Ճկուն կառուցվածքների համար հնարավոր է այնպիսի մնայուն ղեֆորմացիաների առաջացում, որոնք անթույլատրելի են տվյալ սխառնի նորմալ աշխատանքի համար:

Մանրամասն ղնություն է առնվում տարբեր հաճախականություն ունեցող կառուցվածքներում պլաստիկության հետեանքով առաջացող ղեֆորմացիաների որոշման հարցը:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Дарбинян С. С. К определению сейсмических сил в сооружениях за пределом упругости. «Известия АН Армянской ССР» (серия ТН), т. XIX, № 3, 1966.
2. Дарбинян 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.
3. Хачиян Э. Е. Расчет сооружений на сейсмостойкость с учетом упруго-пластических деформаций. «Известия АН Армянской ССР» (серия ТН), т. XVII, № 4, 1964.