

УДК 699.84

СТРОИТЕЛЬНАЯ МЕХАНИКА

С. С. Дарбинян

О снижении сейсмического эффекта в сооружениях

(Представлено академиком АН Армянской ССР А. Г. Назаровым 10/II 1969)

Известно, что учет упруго-пластических свойств материала конструкций при их расчете на сейсмические воздействия приводит к существенному уменьшению сейсмических нагрузок (¹⁻³). С другой стороны, перемещения при упругих и упруго-пластических деформациях относительно мало отличаются друг от друга (⁴). Для теоретического исследования этого вопроса рассмотрим колебания системы с одной степенью свободы в виде стержня с нижним заделанным и верхним свободным концами. Предположим, что упруго-пластические свойства системы характеризуются законом линейного упрочнения (¹). Тогда дифференциальное уравнение движения для разных зон нагружения и разгрузки запишется следующим образом:

$$\frac{d^2x}{dt^2} + \frac{2\pi}{T} \alpha \frac{dx}{dt} + \left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 \left[(1 - \beta_k) x + \lambda \beta_k x_k - (1 - \beta_k) \bar{x}_k - \beta_k \bar{x}_{k-1} \right] = - \frac{d^2x_0}{dt^2}, \quad (1)$$

где

$$x_k = \bar{x}_{k-1} + (-1)^{\frac{k-1}{2}} \cdot x_1, \quad k = 1, 3, 5, \dots$$

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

k — обозначает точку перехода из одной зоны к другой на диаграмме сила — перемещение*.

Интегрирование (¹) с условиями сшивания в точках перехода разных зон осуществлялось численным методом с помощью ЭЦВМ в ИГИС АН АрмССР. В качестве внешнего воздействия $x_0^*(t)$ брались акселе-

* Здесь приняты обозначения (⁵).

рограммы прошлых землетрясений интенсивностью 7—8 баллов (6). На рис. 1 показаны использованные акселерограммы землетрясений, где стрелками указаны те участки, которые табулировались для решения задачи.

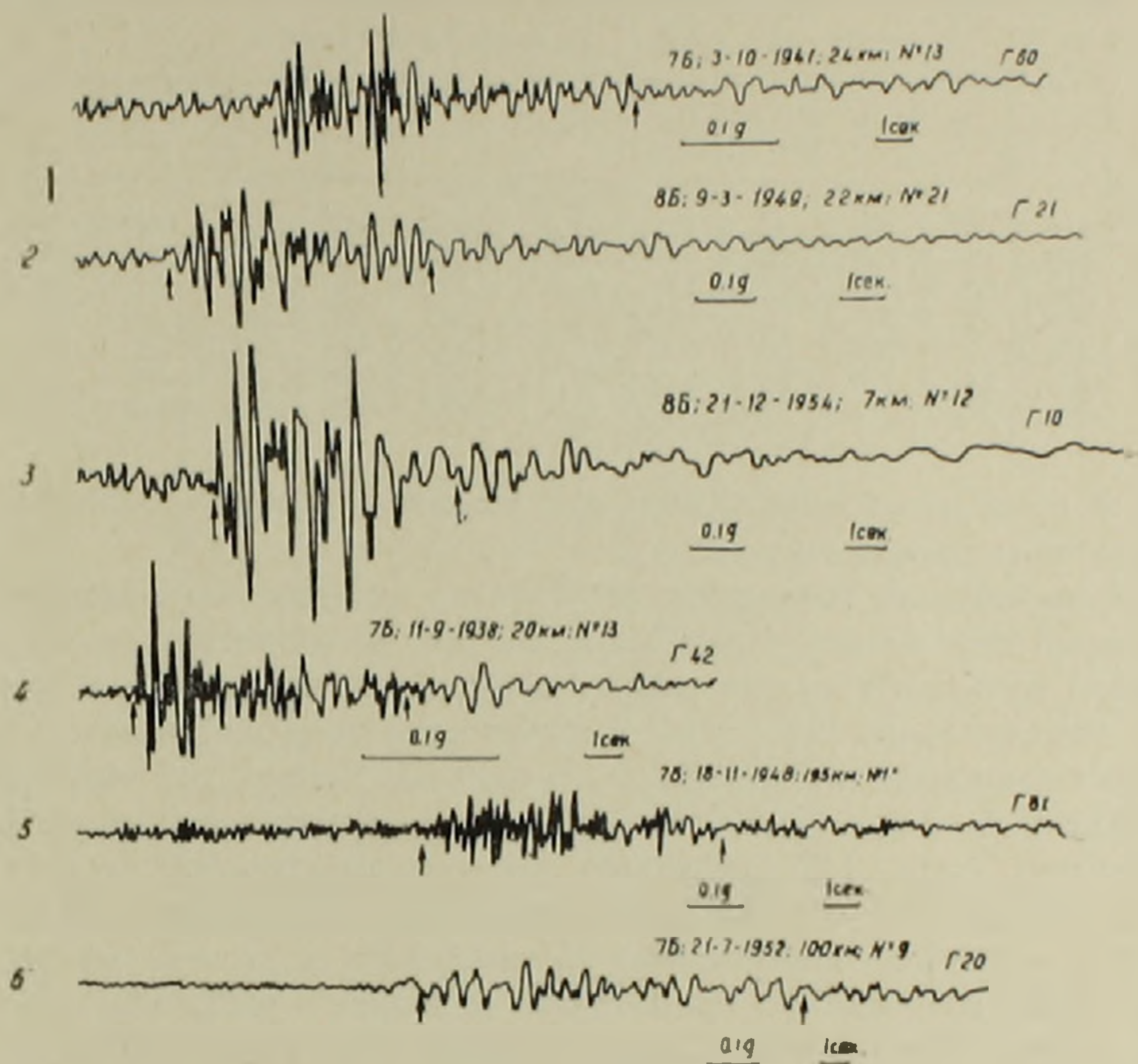


Рис. 1. Акселерограммы землетрясений

Сначала нами была решена упругая задача для всех шести землетрясений при коэффициенте затухания $\alpha=0,1$ и при разных значениях периода собственных колебаний T . Получены максимальные значения перемещений $x_{\text{упр}}^{\text{max}}$ (в см) и ускорений $\ddot{x}_{\text{упр}}^{\text{max}}$ (в см/сек²), которые сведены к табл. 1. Из таблицы видно, что при землетрясении № 6 для всех периодов собственных колебаний перемещения меньше, чем при остальных землетрясениях. Значит, если примем значения максимальных перемещений для землетрясения № 6, как отвечающие пределу упругости, то при воздействии остальных пяти землетрясений в рассматриваемой системе появятся пластические деформации. Таким образом, перемещения, соответствующие началу появления пластических деформаций (предел упругости), принимают значения $x_{\text{упр}}^{\text{max}}$, приведенные в последнем столбце табл. 1. Отметим, что пределы упругости для разных периодов собственных колебаний T будут разными.

После этого была решена упруго-пластическая задача при коэффициенте упрочнения $\lambda=0,5$ и при идеальной диаграмме Прандтля ($\sigma =$

Максимальные значения ускорений и перемещений при упругом расчете

T	$\ddot{x}_{\text{упр}}^{\text{max}}$						$x_{\text{упр}}^{\text{max}}$					
	Номера землетрясений											
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
0,05	117,0	189,4	339,0	93,4	112,2	54,1	0,007	0,012	0,022	0,006	0,007	0,003
0,1	153,8	205,2	384,0	125,9	144,6	58,7	0,039	0,052	0,097	0,032	0,037	0,015
0,15	266,2	264,6	421,8	215,9	160,0	68,1	0,152	0,151	0,240	0,123	0,091	0,039
0,2	256,2	237,9	576,5	195,5	375,6	73,7	0,260	0,241	0,584	0,198	0,381	0,075
0,25	275,8	278,1	657,3	144,2	292,5	87,3	0,436	0,440	1,041	0,228	0,463	0,138
0,3	245,8	422,8	759,3	218,3	225,9	88,7	0,560	0,964	1,731	0,498	0,515	0,202
0,4	202,2	266,0	758,6	156,0	132,5	97,0	0,820	1,078	3,075	0,632	0,537	0,393

1,0). В итоге получены максимальные ускорения и перемещения, значения которых приведены в табл. 2.

Сопоставление полученных результатов для упругого и упруго-пластической деформации показывают, что учет пластических свойств материала приводит к существенному уменьшению максимальных ускорений. Максимальные ускорения (сейсмические нагрузки) сильно уменьшаются для идеально-пластических систем, для которых это уменьшение доходит до 6—8 раз. Анализ полученных результатов максимальных перемещений (табл. 1,2) показывает, что учет пластических свойств системы не приводит к появлению недопустимых перемещений. Правда, в некоторых случаях перемещения увеличиваются в десятки раз, но по абсолютной величине они относительно не велики и допустимы для данной системы. Так, например, при $T=0,05$ сек для землетрясений № 2 и № 3 перемещения увеличиваются в 20 и 100 раз, однако их абсолютные значения 0,25 и 1,97 см не очень велики. Большие перемещения получились при землетрясении № 3, но их тоже можно считать приемлемыми. Дело в том, что это землетрясение по своей интенсивности близко к 9 баллам и, видимо, принятые значения предела упругости очень низкие, из-за этого и были получены относительно большие перемещения. Отметим, что с увеличением периода собственных колебаний разница между упругим и упруго-пластическим решениями уменьшается и даже во многих случаях перемещения $x_{\text{упр}}^{\text{max}}$ получаются больше, чем $x_{\text{пл}}^{\text{max}}$ как, например, для землетрясения № 1 при $T \geq 0,2$ сек.

Таким образом, расчет по упруго-пластической схеме рассматриваемой системы не вызывает опасений в смысле появления деформаций, которые могли бы быть причиной обрушения.

При решении рассматриваемого типа задач следует обратить внимание на проблему определения предельных допустимых остаточных деформаций, так как при расчете сооружений по упруго-пластической схеме появление остаточных деформаций неизбежно и они могут достигнуть таких величин, которые недопустимы для данного сооружения. Ис-

Таблица 2

Величины ускорений и перемещений при упруго-пластическом расчете

λ	$\left \frac{\ddot{x}}{g} \right _{\text{п.л.}}^{\text{max}}$						$ x_{\text{п.л.}}^{\text{max}} $									
	0,5					1,0	0,5					1,0				
T	Номера землетрясений					для всех землетрясе- ний	Номера землетрясений									
	1	2	3	4	5		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
0,05	126,6	154,1	338,7	105,9	94,0	54,1	0,013	0,024	0,033	0,017	0,011	0,053	0,246	1,976	0,057	0,115
0,1	120,0	153,1	374,0	97,4	121,1	58,7	0,041	0,097	0,167	0,034	0,061	0,109	0,501	2,978	0,092	0,178
0,15	177,8	191,7	373,6	163,4	139,0	68,1	0,175	0,223	0,485	0,139	0,123	0,226	0,460	3,342	0,262	0,315
0,2	151,2	192,1	427,9	153,2	172,0	73,7	0,203	0,298	0,810	0,235	0,246	0,215	0,364	3,651	0,340	0,449
0,25	188,3	192,1	501,2	114,2	152,4	87,3	0,385	0,548	1,154	0,203	0,313	0,278	0,570	3,568	0,220	0,344
0,3	148,0	236,5	474,3	133,8	137,6	88,7	0,476	0,713	1,541	0,355	0,396	0,438	0,620	3,217	0,326	0,510
0,4	138,4	162,9	446,1	124,2	117,9	97,0	0,695	0,832	2,705	0,614	0,563	0,669	0,972	3,071	0,740	0,599

Значения $x_{ост}$ (в см) для разных землетрясений

T	Номера землетрясений									
	1		2		3		4		5	
	λ		λ		λ		λ		λ	
	0,5	1,0	0,5	1,0	0,5	1,0	0,5	1,0	0,5	1,0
0,05	0,0018	0,0087	0,0133	0,2143	0,0099	0,8998	0,0035	0,0530	0,0048	0,0306
0,1	0,0037	0,0913	0,0708	0,4751	0,0572	1,3950	0,0028	0,0645	0,0388	0,0886
0,15	0,0609	0,1675	0,1137	0,4001	0,3488	1,4716	0,0383	0,2230	0,0117	0,1090
0,2	0,0568	0,0095	0,1086	0,1595	0,2254	1,6575	0,0070	0,1581	0,0248	0,3307
0,25	0,0295	0,1355	0,2767	0,2208	0,2042	1,4290	0,0130	0,0816	0,0142	0,0451
0,3	0,0817	0,0868	0,1873	0,2037	0,0621	0,7124	0,0238	0,0021	0,0349	0,2952
0,4	0,1177	0,2755	0,0917	0,2917	0,2796	0,3493	0,0819	0,3471	0,0519	0,2056

ходя из этого, нами были определены также значения остаточных деформаций, которые сведены к табл. 3. Анализ этих данных показывает, что величины остаточных деформаций в большинстве случаев невелики.

Резюмируя изложенное, приходим к заключению, что учет упруго-пластической деформации систем с одной степенью свободы приводит к сильному уменьшению величины сейсмических нагрузок. При этом получают такие упруго-пластические перемещения и остаточные деформации, которые в большинстве случаев допустимы для данной системы. Полученные результаты дают основание при проектировании рассматриваемого типа сооружений предусматривать такие искусственные конструктивные элементы, которые создают возможность появления пластических шарниров.

Возникновение таких шарниров может резко понизить сейсмический эффект, т. е. уменьшить силы инерции в сооружении без существенного ущерба для общей сопротивляемости сооружения.

Отметим, что рассматриваемый здесь вопрос был изучен также на примере воздействия 13-и землетрясений интенсивностью в 7 баллов, в итоге были получены аналогичные результаты ⁽⁶⁾.

Здесь мы не останавливались на проблемах установления предельных допустимых остаточных деформаций, а также явлениях типа усталостных, вызванных пластическими деформациями, требующими специальных исследований.

Институт геофизики и инженерной сейсмологии
Академии наук Армянской ССР

Կառուցվածքներում սեյսմիկ էֆեկտի իջեցման մասին

Հսկվածում ուսումնասիրվում է արհեստականորեն սյուստիկ դեֆորմացիաների առաջացնելու միջոցով սեյսմիկ ուժերի փոքրացման հարցը, հնդրի լուծումը իրականացվում է սեյսմիկ ուժերի ազդեցության տակ գտնվող մեկ ազատության աստիճան ունեցող սխեմայի տատանումների դեպքում:

Հաշվումները ցույց են տալիս, որ առաձգա-պլաստիկ դեֆորմացիաների հաշվառումը բերում է սեյսմիկ ուժերի որոշակի փոքրացմանը, ընդ որում առանց դեֆորմացիաների դժուար փոփոխման: Ստացված արդյունքները հնարավորություն են տալիս եզրակացնելու, որ կառուցվածքների նախադժման ժամանակ կարելի է նախատեսել այնպիսի կոնստրուկտիվ էլեմենտներ, որոնք առաջացնեն պլաստիկ դեֆորմացիաներ, դրանով իսկ փոքրացնելով սեյսմիկ էֆեկտը այդ կառուցվածքներում:

Л И Т Е Р А Т У Р А — Դ Ր Ա Կ Ա Ն Ո Ւ Թ Յ Ո Ւ Ն

- ¹ Ս. Ս. Դարբինյան, «Известия АН АрмССР» (серия техн. наук), т. 19, № 3 (1966).
- ² Э. Е. Хачиян, «Известия АН АрмССР» (серия техн. наук), т. XVII, № 4 (1964).
- ³ Г. Н. Харцивадзе и др., Сейсмостойкое строительство за рубежом. Госстройиздат, М., 1962.
- ⁴ Ս. Ս. Դարբինյան, «Известия АН АрмССР» (серия техн. наук), т. XIX, № 6 (1966).
- ⁵ А. Г. Назаров, Р. О. Амасян, Ս. Ս. Դարբինյան, ДАН АрмССР, т. XVII, № 5 (1968).
- ⁶ С. В. Медведев, Тр. Института физики Земли АН СССР, № 10 (177), 1960.