

ИНЖЕНЕРНАЯ СЕЙСМОЛОГИЯ

Б. К. КАРАПЕТЯН

ВЫБОР СПЕКТРАЛЬНОЙ КРИВОЙ ДЛЯ РАСЧЕТА ЗДАНИЙ
И СООРУЖЕНИЙ НА СЕЙСМИЧЕСКУЮ НАГРУЗКУ*

Расчет зданий и сооружений на сейсмическую нагрузку встречает известные затруднения вследствие отсутствия достоверных сведений о законе действия сейсмических сил. Поэтому не удивительно, что до настоящего времени в ряде случаев расчет производится по статической теории Омори [1].

Дальнейшее развитие расчета пришло к динамической теории сейсмостойкости К. С. Завриева, в которой учитывается совместное действие свободных и вынужденных колебаний, возникающих в зданиях и сооружениях при землетрясениях [2].

Новым в теории сейсмостойкости является предложенный А. Г. Назаровым инструментальный метод определения сейсмической нагрузки, заключающийся в представлении зданий и сооружений моделированными по периоду свободных колебаний и декременту затухания с помощью серии маятников, имеющих различные периоды колебаний и декременты затухания, присущие зданиям и сооружениям. По максимальным относительным перемещениям маятников строится спектральная кривая зависимости приведенных сейсмических ускорений от периода свободных колебаний, которая служит основой при производстве расчета зданий и сооружений в этой местности [3, 4].

Спектральные кривые получены также М. А. Био путем интегрирования акселерограмм сильных колебаний почвы с помощью механического интегратора [5], а также Г. В. Хаузнером, Р. Р. Мартелем и Дж. Л. О.фордом с помощью интегратора, основанного на электро-механической аналогии [6], И. Л. Корчинским [7] и С. В. Медведевым [8], в основном, в результате приближенного интегрирования сейсмограмм слабых и сильных землетрясений.

Отметим, что предложенный А. Г. Назаровым метод выгодно отличается от упомянутых тем, что при этом спектральная кривая получается путем непосредственного измерения приведенных сейсмических ускорений, а не в результате дополнительных механических или электрических преобразований.

Спектральные кривые М. А. Био получил без учета рассеяния

* Из материалов к проекту "Положения по строительству в сейсмических районах.

энергии (затухания) для ряда сильных землетрясений. Проведя огибающую спектральных кривых, Био получает так называемый „стандартный спектр ускорения“, который на участке $T > 0,2$ сек. выражается гиперболой

$$A = \frac{0,2g}{T}$$

Эта величина, по-видимому, сильно преувеличена, она в действительности должна быть меньше из-за затухания колебаний конструкции, взаимодействия между фундаментом здания и основанием и т. д. Что касается участка $0 < T < 0,2$ сек., то здесь Био принимает ускорение, изменяющимся по линейному закону, причем при $T = 0$, $A = 0,2g$. Принятые им величины ускорений на этом участке не заслуживают доверия, ибо записи, которые анализировались, были получены с помощью акселерографа, имеющего собственный период колебаний 0,1 сек. Собственно этот отрезок спектра сам Био не считает достоверным.

Спектральная кривая, полученная Био, обладает двумя основными недостатками: первое, она построена при условии отсутствия затухания, в то время как здания и сооружения обладают довольно большим коэффициентом затухания, который сильно меняет спектральную кривую; второе, спектральная кривая на участке периодов колебаний $0 < T < 0,2$ сек. не реальна (рис. 1).

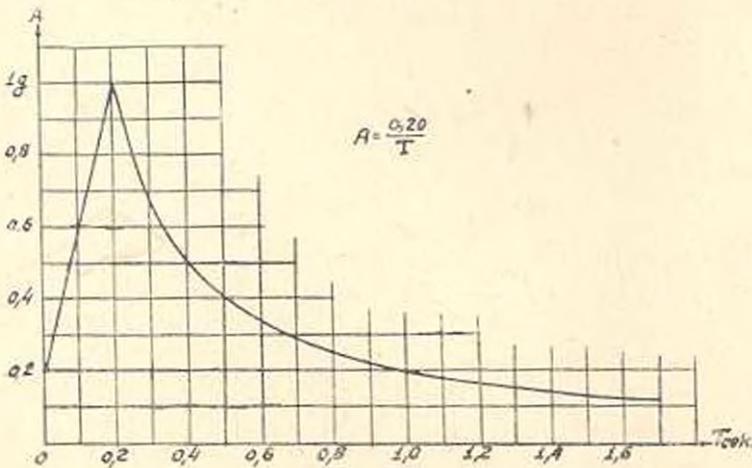


Рис. 1.

В Калифорнийских нормах спектральная кривая S на участке $0,25 < T < 0,75$ сек., опять-таки в результате анализа незатухающих колебаний, представлена в виде гиперболы

$$S = \frac{0,25}{T}$$

а на участках $0 < T < 0,25$ и $T > 0,75$ сек. приняты постоянные значения S (см. рис. 2).

Горизонтальная сила определяется из выражения

$$V = SkW = \frac{0,25}{T} kW,$$

где k — постоянный коэффициент, принимающий следующие значения:
 $k = 0,06$ для обычных зданий и $k = 0,10$ для остальных видов сооружений (гибких).

Таким образом, расчетный спектр Калифорнийских норм обладает тем же недостатком — он построен для случая нулевого затухания. Что же касается участков спектральной кривой $0 < T < 0,25$ сек. и $T > 0,75$ сек., то здесь постоянные значения получены не на основании исследований, а просто приняты.

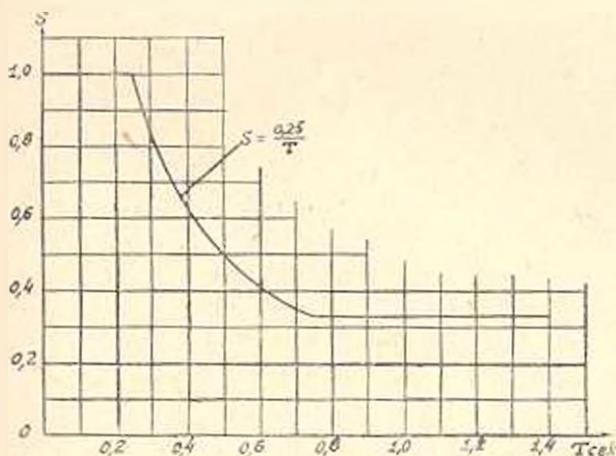


Рис. 2.

Г. В. Хаузер, Р. Р. Мартел и Дж. Л. Олфорд, в результате интегрирования на основе электро-механической аналогии 28 акселерограмм, получили 80 спектральных кривых при различных затуханиях. Спектральные кривые при нулевом затухании согласуются с полученной Бю „стандартной кривой“, а при наличии затухания они сильно отличаются. На рис. 3 приведена наиболее характерная с точки зрения авторов кривая при двух различных значениях затухания. Хаузер находит, что при изменении коэффициента затухания от $n = 0,2$ до $n = 0,4$ происходит уменьшение интенсивности примерно на 30% [9].

Участки спектральных кривых, полученные авторами для малых периодов, не реальны опять-таки из-за того, что акселерографы имели недостаточно большую частоту колебаний.

Спектральные кривые С. В. Медведевым построены на основании обработки записей сейсмических станций. Колебания при землетрясении представлены в виде „спектра действия“ — χ , который выражается через смещение x_0 маятника, имеющего период свободных колебаний $T_0 = 0,25$ сек. и логарифмический декремент затухания $\lambda = 0,5$ и через два коэффициента: $\psi(T)$ — спектральный коэффициент, характе-

ризирующий спектральные особенности землетрясения и $\epsilon(\lambda)$ — коэффициент демпфирования.

Здесь неясными остаются определения, данные величинам, входящим в спектр действия

$$z = x_0 \psi \epsilon,$$

а именно автор определяет их как характеризующие землетрясения, в то время как они, на наш взгляд, являются величинами, характеризующими поведение здания и сооружений при данном землетрясении. Что касается смещения x_0 , то и оно вряд ли может четко характеризовать силу землетрясения.

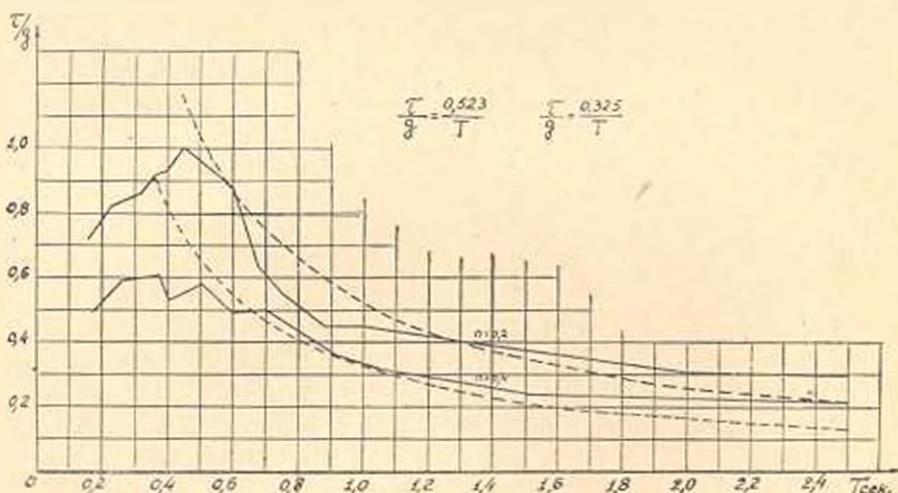


Рис. 3.

В данный момент нас интересуют спектральные коэффициенты ϕ , полученные автором для 80 землетрясений с силой от 3 до 8 баллов. Из по спектрам смещений вычислены спектры скоростей и ускорений и построены соответствующие средние кривые. Если сравнить среднюю кривую ускорений, которая имеет постоянную величину k_0 в интервале периодов $0 < T < 0,5$ сек., а дальше следует по гиперболе

$$k_0 = \frac{0,5}{T},$$

с любой кривой, построенной нами по данным автора (три

такие кривые в качестве примера приведены на рис. 4, причем пунктиром показана принятая автором средняя кривая), то увидим, что они слишком далеки от принятой средней кривой. По представленным автором материалам горизонтальный участок кривой не получается, а, наоборот, на этом участке кривая спадает как и у Бюо, при этом максимальные значения спектральных коэффициентов для отдельных землетрясений получаются при разных периодах.

Из приведенных С. В. Медведским данных [8, табл. 3] видно, что при увеличении декремента затухания в два раза ($k = 0,25 - 0,50$), что соответствует примерно диапазону изменения их значений для

гибких и жестких сооружений. происходит уменьшение коэффициента демпфирования γ на 30—40% [8, табл. 2].

И. Л. Корчинским на основании анализа сейсмограмм и результатов разрушений, вызванных землетрясениями, предложен метод определения сейсмических сил.

Величины горизонтальных сейсмических сил для i -ой формы колебаний определяются по формуле

$$S_k = k_r \gamma_k \beta Q_k,$$

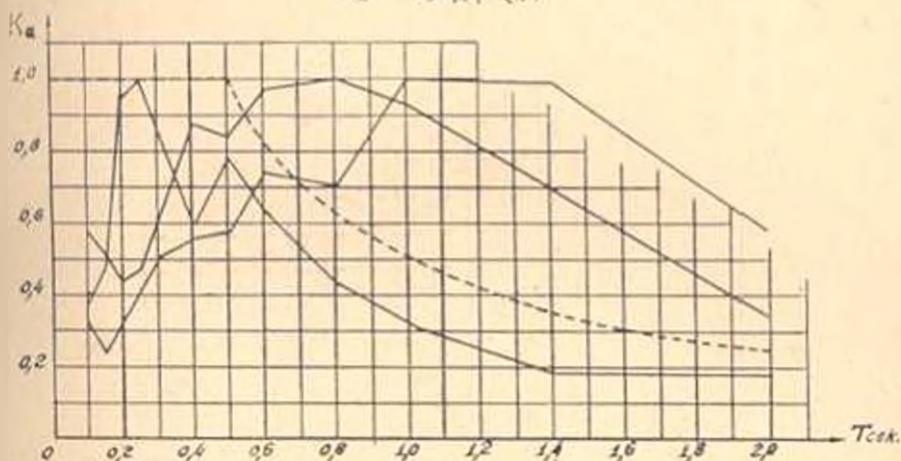


Рис. 4.

где k_r — сейсмический коэффициент, равный для 7 баллов — 1/40, для 8 баллов — 1/20 и для 9 баллов — 1/10;

γ_k — поправка на форму колебаний, зависящая от фундаментальной функции и от положения груза Q_k ;

β — коэффициент динамичности, зависящий от периода свободных колебаний сооружения.

Таким образом, в этой формуле коэффициентом β в некотором отвлеченном масштабе учитывается спектральная кривая. Поэтому мы здесь остановимся только на этом вопросе, а именно на кривой $\beta(T)$.

И. Л. Корчинским представлен график $\beta(p)$, где p — круговая частота свободных колебаний. Если ее привести к $\beta(T)$, получим кривую, представленную на рис. 5. Откуда видно, что в интервале периодов свободных колебаний $0,14 < T < 0,25$ сек. β линейно увеличивается от 1,5 до 3; далее, в интервале периодов $0,25 < T < 0,63$ сек. β имеет постоянное значение равное 3; для последующих значений периодов меняется по закону гиперболы — $\beta = \frac{1,68}{T}$. Таким образом, для

обычных зданий, периоды свободных колебаний которых примерно меняются от 0,2 до 0,6 сек., получается постоянное значение $\beta = 3$, что, конечно, сомнительно.

Если сравнить эту кривую с кривой, представленной автором в проекте нового Положения по строительству в сейсмических районах

(см. рис. 6), увидим совершенно другую картину, а именно: в ПСП $\beta = 3$ при $0 < T < 0,3$ сек., а далее изменяется по закону $\beta = \frac{0,9}{T}$. Для случая гибких сооружений, обладающих малым затуханием, вычерчена другая кривая с таким же прямолинейным участком и с гиперболическим участком $\beta = \frac{1,5}{T}$. Таким образом, в случае гибкого сооружения β помножается на коэффициент 1,67, что соответствует

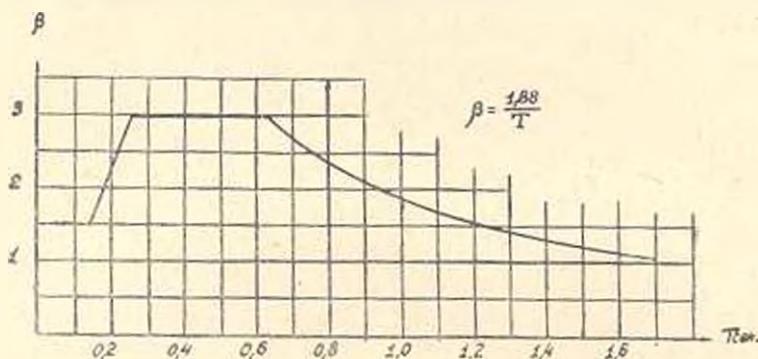


Рис. 5.

Калифорнийским нормам, где берется точно такой же коэффициент. Такое увеличение сейсмической нагрузки для гибких сооружений нам кажется завышенным.

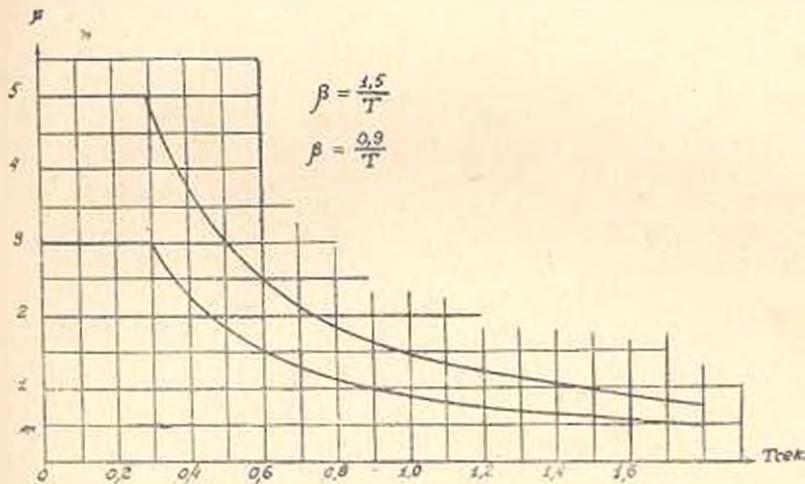
В результате анализа записей большого количества взрывов, а также землетрясений в Тбилиси и Сталинабаде нами построены спектральные кривые $\frac{\tau}{g}(T)$, (где τ — приведенное сейсмическое ускорение). Кривые эти в количестве около 100 штук получены в результате замеров с помощью сейсмометров АИС массовых взрывов, произведенных в различных почвенных условиях и при различном количестве взрывчатки. Все эти кривые приведены к $\frac{\tau}{g} = 1$ по максимальному значению приведенного сейсмического ускорения.

Построив по имеющимся экспериментальным данным гиперболу $\frac{\tau}{g} = \frac{k}{T}$, определялись значения k для различных взрывов. Колебания в значениях k получились в относительно больших пределах. Для одного и того же участка местности колебание это вообще зависит от количества взрывчатки, расстояния от места взрыва и почвенных условий. Найти четкую закономерность в изменении k от перечисленных факторов пока не удалось.

В случае землетрясений, при большом удалении очага по сравнению с расстояниями между сейсмометрами, расположенными на определенной малой территории, вопрос о зависимости k от расстояния

отпадает. Остаются в основном два фактора, от которых зависит величина k : сила землетрясения и почвенные условия. Безусловно, при этом следует особо исследовать вопрос об уменьшении сейсмического эффекта из-за взаимодействия между фундаментом сооружения и его основанием.

Если проанализировать полученные нами кривые, можно заметить, что они хорошо приближаются к гиперболе. При этом k меняется в пределах от 0,02 до 0,09, т. е. в 4,5 раза. Если учесть, что максимальное значение приведенного сейсмического ускорения получи-



лось для $T = 0,05$ сек. и что оно одновременно является и среднеарифметическим из полученных значений, можем принять

$$\frac{\tau}{g} = \frac{0,05}{T}$$

Таким образом, из анализа рассмотренных работ совершенно ясно следует, что спектральные кривые, в первом приближении, могут быть представлены законом гиперболы. Однако при этом нечеткими остаются два обстоятельства: первое, постоянство значения спектрального коэффициента β на участке малых периодов колебаний; второе, значение величины коэффициента k в выражении гиперболы.

Участок с постоянным значением β в пределах $0 < T < 0,3$ сек. на сегодня, когда для жестких сооружений характер влияния на величину приведенного сейсмического ускорения ряда факторов пока не выяснен, условно может быть принят. В связи с этим не мешало бы достичь того, чтобы вопрос о нормировании и расчете зданий и сооружений в сейсмических районах ставился бы с международной точки зрения, путем установки во всех сейсмических районах земной поверхности идентичной аппаратуры и, по возможности, принятия близких расчетных схем, конечно, после надлежащего обмена мнениями.

Принятие в проекте нового Положения по строительству в сейсмических районах для зданий значения $\beta = \frac{0,9}{T}$ нам представляется завышенным; для этого случая следовало бы брать $\beta = \frac{0,6}{T}$, а для гибких сооружений, имеющих малое затухание, — $\beta = \frac{0,9}{T}$. Тогда в гибких сооружениях будет иметь место увеличение расчетной сейсмической силы на 50%.

Институт стройматериалов
и сооружений АН Армянской ССР

Բ. Կ. ԿԱՐԱՊԵՏՅԱՆ

ՍՊԵՏԱԿԱՆ ԿՈՐԻ ԸՆՏՐՈՒՄԸ ՇԵՆՔԵՐԸ ԵՎ ԿԱՌՈՒՅՎԱԾՔՆԵՐԸ
ՍԵՅՍՄԻԿ ՈՒՃԵՐԻ ԱԶԳԵՑՈՒԹՅԱՆ ՏԱՎ ՀԱՇՎԵԼՈՒ ԴԵՊՊՈՒՄ

Ո Վ Փ Ո Փ Ո Վ

Հողածածկ վերածման և նվթարկում տարրեր հետազոտողների կողմից առաջարկված սպեկտրայ կորերը բերվում են հեղինակի տվյալները, որոնք առաջվել են մասնաշաղկան պայթույթների փորձարկումներից:

Աշխատանքների վերլուծման արդյունք է հանդիսացել դերված մի քանի առաջարկները, սպեկտրայ կորի բնութման համար շենքերը և կառուցվածքները սեյսմիկ ուժերի տղղեցության տակ հաշվելու դեպքում:

ЛИТЕРАТУРА

1. Publications of the Earthquake Investigations Committee in foreign languages, № 4, Tokyo, 1960.
2. Завриен К. С. Динамическая теория сейсмостойкости, Тбилиси, 1936.
3. Назаров А. Г. Известия АН Армянской ССР, № 3, 1917.
4. Назаров А. Г. Метод инженерного анализа сейсмических сил, Ереван, 1956.
5. Haiot M. A. Bull. of the Seism. Soc. of America, vol. 31, № 2, 1941.
6. Housner C. W., Martel R. R. and Alford C. L. Bull. of the Seism. Soc. of America, vol. 43, № 2, 1953.
7. Корчицкий И. Л. Расчет сооружений на сейсмические воздействия, научное сообщение ЦНИПС, № 14, Москва, 1954.
8. Мидваев С. В. Труды Геофизического института № 36, (163), Москва, 1956.
9. Housner C. W. Spectrum Intensities of Strong-Motion Earthquake, Proceedings of the symposium on Earthquake and blast effects on Structure-, Los Angeles, California, Inne, 1952.