

Н. К. КАРАПЕТЯН

ОБ УЧЕТЕ СЕЙСМОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ ПРИ СОСТАВЛЕНИИ ШКАЛЫ БАЛЛЬНОСТИ

Учет сейсмологических характеристик землетрясений при составлении новой шкалы балльности нами предлагается осуществлять комплексно, путем одновременного получения амплитудных и энергетических спектров сейсмических волн при землетрясениях, а также спектров приведенных сейсмических ускорений и установления их соответствия. Анализ указанных спектров необходимо производить, характеризуя их несколькими параметрами, так как сейсмический эффект зависит от ряда факторов, имеющих разный вес. В настоящее время неизвестно, какой из параметров является решающим при оценке сейсмического воздействия, поэтому исследование спектров следует проводить по ряду факторов, одновременно выясняя, какие из этих параметров являются наиболее важными.

При этом амплитудные спектры землетрясений необходимо характеризовать:

- 1) величиной преобладающего периода $T_{\max}$, т. е. периода колебаний, имеющих максимальное значение спектральной плотности амплитуды $\Phi_{\max}$,
- 2) шириной спектра, т. е. диапазоном периодов, соответствующих $2/3$ максимального значения спектральной плотности амплитуды $\Phi_{\max}$,
- 3) величиной S , численно равной площади, заключенной между кривой зависимости спектральной плотности амплитуды от круговой частоты, осью абсцисс и ординатами, соответствующими принятым начальному и конечному значениям периодов колебаний,
- 4) максимальной величиной спектральной плотности амплитуды,
- 5) моментом вступления преобладающего периода $T_{\max}$ и его присутствия в колебательном процессе в течение всего времени сейсмических колебаний.

Последнее очень существенно при изучении сейсмического воздействия, так как необходимо знание не только преобладающего периода, но и того, как долго сейсмическое колебание этого периода имеет максимальную амплитуду, ибо кратковременное и длительное действие колебаний преобладающего периода будут оказывать различное сейсмическое воздействие.

Следовательно, наряду с амплитудными спектрами необходимо получение спектров сейсмических колебаний во времени, т. е. зависимости спектральной плотности амплитуды от времени колебаний.

Необходимо установить корреляционную зависимость преобладающего периода $T_{\max}$, ширины спектра, величин $\Phi_{\max}$ и S , а также спектра во времени от эпицентрального расстояния, глубины очага, силы землетрясения и механизма очага.

Амплитудные спектры сейсмических колебаний должны быть получены отдельно для всех волн, отмечаемых на сейсмограммах.

В задачу получения амплитудного спектра землетрясений должно входить: 1) получение спектра очага; 2) получение спектров сейсмических колебаний для различных геологических структур; 3) получение спектров сейсмических колебаний для различных грунтов в месте наблюдения.

Энергетические спектры сейсмических колебаний, т. е. графики зависимости спектральной плотности энергии от периода (или от круговой частоты), необходимо характеризовать: 1) максимальной величиной спектральной плотности энергии $J_{\max}$; 2) соответствующим ей значением периода $T_{\max J}$; 3) шириной энергетического спектра на уровне $2/3$ от максимального значения спектральной плотности энергии; 4) величиной J , пропорциональной плотности потока энергии сейсмических волн, которая численно равна площади, заключенной между кривой зависимости спектральной плотности энергии от круговой частоты, осью абсцисс и ординатами, соответствующими принятым начальному и конечному значениям круговой частоты. Кроме перечисленного, представляет интерес определение: а) максимального значения величины, пропорциональной плотности потока энергии $J_{s\max}$, численно равного площади, заключенной между ординатами, соответствующими ширине энергетического спектра, осью абсцисс и кривой зависимости спектральной плотности энергии от круговой частоты; б) отношения $J_{\max}/J$.

Одновременно с определением амплитудных и энергетических спектров, характеризующих сейсмические колебания грунта, следует определять спектр реакции, т. е. произвести оценку сейсмического воздействия на здания и сооружения при землетрясениях. С этой целью находятся приведенные сейсмические ускорения τ . Как известно, под приведенным сейсмическим ускорением τ принимается такое постоянно действующее в основании сооружения сейсмическое ускорение, которое вызывает в сооружении максимальную деформацию, соответствующую данному землетрясению [1]. Величина приведенного сейсмического ускорения зависит от периода свободных колебаний T и меры рассеяния энергии сооружения, вследствие чего τ определяется для различных значений T и α .

Спектр $\tau(T)$, т. е. график зависимости приведенных сейсмических ускорений τ от T при фиксированных значениях α , представляет собой величину, характеризующую интенсивность землетрясения с инженерной точки зрения. Следовательно, знание величин приведенных сейсмических ускорений, возникающих в сооружениях при землетрясениях различной силы, а также в различных грунтовых, гидрогеологических и геоморфологических условиях может в значительной мере способствовать составлению новой шкалы балльности.

Приведенные сейсмические ускорения можно определить или непосредственно во время землетрясения с помощью маятниковых сейсмометров, моделирующих здания и сооружения, или же аналитическим путем, используя записи сейсмических колебаний почвы во времени при землетрясениях. При втором способе значения τ определяются как в зависимости от T и α , так и от времени t . Имеется возможность получения τ как по слабым, так и по очень сильным землетрясениям. При определении $\tau(T, \alpha, t)$ расчетным путем анализ можно проводить, рассматривая весь процесс колебаний в целом и по отдельным волнам, при широком диапазоне значений T и α . Желательно получение для одних и тех же пунктов величин приведенных сейсмических ускорений одновре-

менно инструментальным методом с помощью многомаятниковых сейсмометров и аналитическим методом, путем вычисления τ по записи колебаний почвы во времени.

Кроме спектров $\tau(T)$ представляет интерес построение графиков зависимости максимальных значений приведенных сейсмических ускорений $\tau_{\max}$ от меры рассеяния энергии сооружения T , а также построения значений периода свободных колебаний сооружения T , а также построения кривых зависимости τ от времени при принятых фиксированных значениях T и α . Максимальные значения приведенных сейсмических ускорений, найденные из спектров во времени t , наступают в определенных моменты времени $\tau(t)$. При этом для различных сооружений, имеющих неодинаковые периоды свободных колебаний, этот момент времени различный. Однако, начиная с какого-то значения T , величина $\tau_{\max}$ не меняется, т. е. для периодов больше этого значения T величина $\tau_{\max}$ остается постоянной.

Необходимо исследовать зависимость указанных величин от жесткости сооружений и силы землетрясения с учетом эпицентрального расстояния и глубины залегания очага землетрясения при различных грунтовых условиях и очагах землетрясений, имеющих различный характер.

Предлагаемый способ одновременного сейсмологического и инженерно-сейсмологического изучения землетрясений с целью применения полученных данных для составления новой шкалы балльности нами использован при исследовании повторных толчков Зангезурского землетрясения 9/VI 1968 г.

Землетрясение 9/VI 1968 г. имело магнитуду порядка 5 и в эпицентральной зоне достигало силы 7—8 баллов. Оно сопровождалось многочисленными последующими толчками различной силы. Записи колебаний почвы во времени в эпицентральной зоне при некоторых последующих толчках этого землетрясения были любезно предоставлены нам Д. Н. Рустановичем.

Нами произведен спектральный анализ и определены приведенные сейсмические ускорения по записям смещений колебаний почвы, полученных при пяти последующих толчках Зангезурского землетрясения 9/VI 1968 г., силой от 4 до 6 баллов, на сейсмической станции «Каджаран» [2].

Учитывая, что сейсмограммы, подвергнутые анализу, получены в эпицентральной зоне аппаратурой, которая работала в ждущем режиме, на эпицентральных расстояниях, не превышающих 10 км, запись сейсмических колебаний анализировалась в целом, без разделения на отдельные волны. Все вычислительные работы по определению амплитудных и энергетических спектров, а также приведенных сейсмических ускорений произведены на ЭВМ «Раздан-2» в отделе вычислительной техники Института геофизики и инженерной сейсмологии АН Армянской ССР.

Спектральный анализ смещений колебаний почвы произведен с учетом неперiodичности сейсмических колебаний [3]. Сейсмические колебания представлены в виде интеграла Фурье. Вычисление коэффициентов Фурье производилось методом численного интегрирования при параболической интерполяции по способу Симпсона. При этом, благодаря малому шагу интегрирования (цифровка записей колебаний в трех случаях произведена через каждые 0,0018 сек, а в двух случаях—через каждые 0,0036 сек), получена большая точность результатов. Ошибка в определении спектров не превышает 5%.

Значения спектральных плотностей амплитуды и энергии вычислены с учетом частотной характеристики аппаратуры для периодов от 0,1 до 1 сек через каждые 0,05 сек. По полученным значениям спектральных

плотностей амплитуды и энергии для всех пяти рассмотренных случаев построены амплитудные (рис. 1) и энергетические спектры. Характер амплитудных спектров в общем примерно одинаковый, возрастающий до максимального значения спектральной плотности амплитуды $\Phi_{\max}$ и затем убывающий. Это, по-видимому, вызвано тем обстоятельством, что

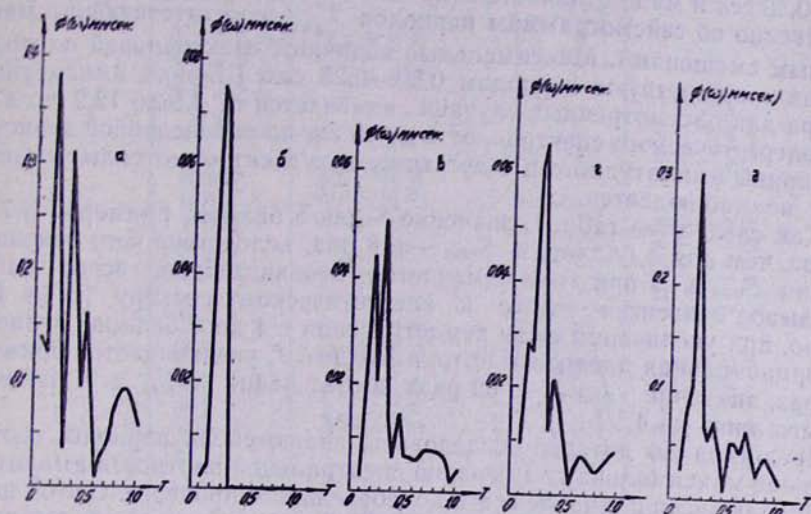


Рис. 1. Амплитудные спектры сейсмических колебаний последующих толчков Зангезурского землетрясения 9/VI 1968 г.: а—15 июня 1968 г.; б—23 июня 1968 г.; в—26 июня 1968 г.; г—23 июля 1968 г.; д—26 июля 1968 г.

во всех случаях использованы записи горизонтальной составляющей С—Ю на сейсмограммах одной и той же станции «Каджаран» при последующих толчках одного и того же землетрясения. Однако, как видно

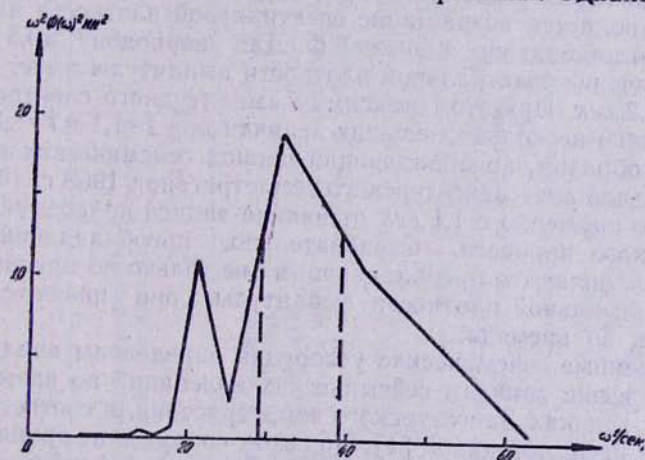


Рис. 2. Энергетический спектр сейсмических колебаний последующего толчка 26/VI 1968 г.

из рис. 1, каждый амплитудный спектр имеет при этом свои индивидуальные особенности. То же самое можно сказать и о энергетических спектрах. В качестве примера на рис. 2 показан энергетический спектр сейсмических колебаний при землетрясении 26/VI 1968 г.

Величины, характеризующие амплитудные и энергетические спектры, даны соответственно в табл. 1 и 2. Согласно таблицам, при увеличении силы землетрясения на 1 балл (с 4 до 5 баллов) максимальное значение спектральной плотности амплитуды увеличивается в 6 раз, а энергии — в 65 раз. Величина преобладающего периода $T_{\max}$ составляет 0,20—0,30 сек и мало отличается (на 0,01—0,07 сек) от измеренных непосредственно по сейсмограммам периодов $T_{\max}$, соответствующих максимальным смещениям. Максимальные величины спектральной плотности энергии соответствуют периодам 0,20—0,25 сек. Ширина амплитудного спектра для рассмотренных случаев изменяется от 3,8 до 12,2 гц, а ширина энергетического спектра — от 4 до 10 гц, но определенной зависимости ширины амплитудного и энергетического спектров от силы землетрясения не наблюдается.

Как следует из табл. 1, значение S для 5 баллов примерно в 7 раз больше, чем для 4 баллов, а $S_{\max}$ — в 8 раз, вследствие чего отношение величин $S_{\max}$ к S при этом изменяется незначительно, всего на 7%. Этот вывод относится также к энергетическому спектру (табл. 2), а именно, при увеличении силы землетрясения с 4 до 5 баллов величина, пропорциональная плотности потока энергии J , увеличивается примерно в 55 раз, значение $J_{\max}$ — в 62 раза, а отношение $J_{\max}$ к J изменяется всего лишь на 4,5%.

Представляло интерес исследовать, являются ли периоды, соответствующие максимальному значению спектральной плотности амплитуды, преобладающими в течение всего колебательного процесса. С этой целью по сейсмограмме землетрясения 26/VI 1968 г. были построены амплитудные спектры во времени, т. е. зависимости спектральной плотности амплитуды Φ от времени t для определенного периода сейсмических колебаний. Амплитудные спектры во времени построены для периодов сейсмических колебаний $T=0,1$ — $1,0$ сек (рис. 3). Из этого рисунка видно, что амплитудные спектры для периодов $T=0,20$; $0,25$ и $0,30$ сек резко отличаются от спектров для других значений периодов сейсмических колебаний. На спектрах указанных периодов, начиная с $t=1,1$ сек от начала записи, наблюдается возрастание спектральной плотности амплитуды и имеют место наибольшие значения Φ . Для периодов $T \geq 0,5$ сек максимальное значение спектральной плотности амплитуды имеет место всегда при $t=1,2$ сек. При этом максимум амплитудного спектра имеет два побочных пика несколько меньших величин при $t=1,1$ и $t=1,3$ сек.

Таким образом, преобладающий период сейсмических колебаний в эпицентральной зоне Зангезурского землетрясения 1968 г. (0,2—0,3 сек) имеет место примерно с 1,1 сек от начала записи колебаний и до конца колебательного процесса. Следовательно, преобладающие периоды 0,20—0,30 сек являются преобладающими не только по максимальной величине спектральной плотности амплитуды, они являются преобладающими и во времени.

Приведенные сейсмические ускорения определены аналитически по указанным выше записям сейсмических колебаний во времени при последующих толчках Зангезурского землетрясения, в соответствии с разработанной нами методикой [4]. При этом сооружение принято как упругая система с одной степенью свободы. Приведенное сейсмическое ускорение $\tau(T, \alpha, t)$ вычислено по формуле:

$$\tau(T, \alpha, t) = \frac{2\pi}{T} \int_0^t y_0^*(\xi) e^{-\frac{\alpha\pi}{T}(t-\xi)} \sin \frac{2\pi}{T}(t-\xi) d\xi. \quad (1)$$

Таблица 1

Результаты анализа амплитудных спектров

№ п/п	Дата и время возникновения землетрясения (число, месяц, год, час, мин)	Сила землетрясения в баллах	$\Phi_{\max}$	$T_{\max}$	$T'_{\max}$	$T_{\max}^{\text{пр}}$	Ширина амплитудного спектра ($\omega_1 - \omega_2$) <i>гц</i>	Площадь амплитудного спектра S	Площадь максимального амплитудного спектра $S_{\max}$	$\frac{S_{\max}}{S} \cdot 100 \%$
1	15/VI 1968г., 3ч. 21 мин.	5	0,386	0,20	0,21	0,20	24,4—36,6	9,860	4,000	40,6
2	23/VI 1968г., 4ч. 40 мин.	4—5	0,075	0,25	0,26	0,25	19,5—28,8	1,002	0,601	60,0
3	26/VI 1968г., 2ч. 08 мин.	4—5	0,050	0,30	0,23	0,30	19,6—23,4	1,172	0,158	13,5
4	23/VII 1968г., 16ч. 52 мин.	4	0,064	0,30	0,24	0,25	19,7—28,3	1,454	0,488	33,6
5	26/VII 1968г., 23ч. 22 мин.	5—6	0,308	0,25	0,26	0,25	23,4—28,3	4,954	1,290	26,0

Таблица 2

Результаты анализа энергических спектров

№ п/п	Дата и время возникновения землетрясения (число, месяц, год, час, мин.)	Сила землетрясения в баллах	$J_{\max}$	$T_{\max J}$	Ширина энергетического спектра ($\omega_1 - \omega_2$) <i>гц</i>	J	$J_{\max}$	$\frac{J_{\max}}{J} \cdot 100 \%$
1	15/VI 1968г., 3ч. 21 мин.	5	146,471	0,20	28,2—35,7	2702,816	916,0	33,9
2	23/VI 1968г., 4ч. 40 мин.	4—5	3,545	0,25	21,2—28,2	34,160	19,880	58,2
3	26/VI 1968г., 2ч. 08 мин.	4—5	1,910	0,20	29,1—39,1	37,380	15,560	41,6
4	23/VII 1968г., 16ч. 52 мин.	4	2,238	0,25	20,6—28,0	49,883	14,680	29,4
5	26/VII 1968г., 23ч. 22 мин.	5—6	59,949	0,25	23,6—27,6	649,200	201,600	31,1

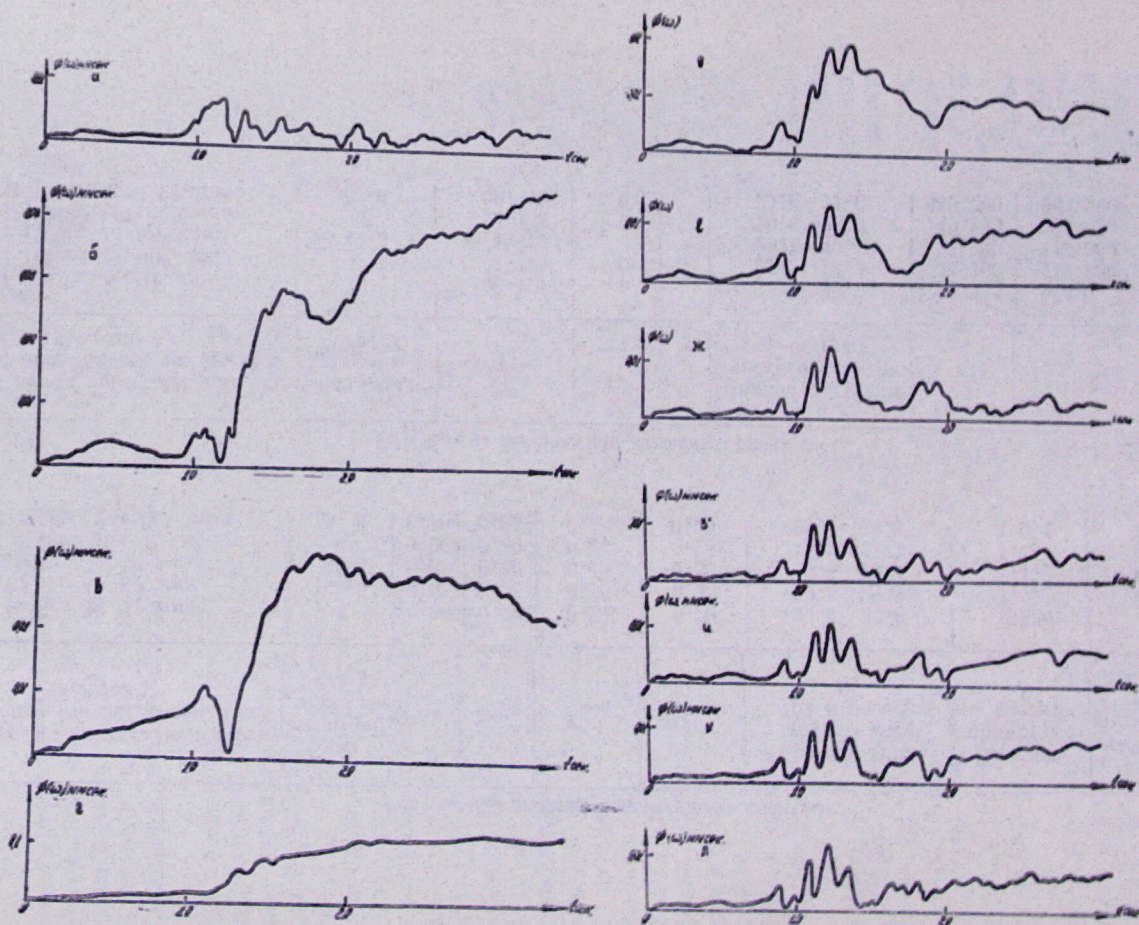


Рис. 3. Амплитудные спектры во времени сейсмических колебаний при последующем толчке 26 июня 1968 г. для периодов: а—0,1 сек; б—0,2 сек; в—0,25 сек; г—0,3 сек; д—0,4 сек; е—0,5 сек; ж—0,6 сек; з—0,7 сек; и—0,8 сек; й—0,9 сек; к—1,0 сек; л—1,2 сек; м—1,5 сек; н—2,0 сек; о—2,5 сек; п—3,0 сек; р—4,0 сек; с—5,0 сек; т—6,0 сек; у—8,0 сек; ф—10,0 сек; х—15,0 сек; ц—20,0 сек; ч—30,0 сек; ш—40,0 сек; щ—50,0 сек; ъ—60,0 сек; ы—80,0 сек; ь—100,0 сек; э—150,0 сек; ю—200,0 сек; я—300,0 сек.

Ускорение почвы $y_0(\xi)$ определено из сейсмограмм двукратным дифференцированием. Для вычисления $\tau(T, \alpha, t)$ нами использован метод численного интегрирования. Табулирование записей производилось с малым шагом: 0,0018 сек в трех случаях и 0,0036 сек в двух случаях. Благодаря этому достигнута необходимая точность результатов. Величины приведенных сейсмических ускорений определены в зависимости от времени t для значений периодов свободных колебаний сооружений

$T=0,05; 0,10; 0,15; 0,20; 0,25; 0,30;$
 $0,40; 0,60; 0,80; 1,00; 1,60; 2,50;$

и меры рассеяния энергии сооружений $\alpha=0 \quad 0,05; 0,1; 0,2$.

Таким образом по каждой записи колебаний грунта определены значения $\tau(T, \alpha, t)$ для 48 случаев при разных комбинациях T и α [5].

Для всех рассмотренных записей составлены таблицы максимальных значений приведенных сейсмических ускорений $\tau_{\max}$ при фиксированных T и α и моментов времени $t_{\max}$, соответствующих этим максимумам. В качестве примера приведена табл. 3, составленная указанным способом для последующего толчка 26/VI 1968 г.

Согласно графикам зависимости $t_{\max}$ от периода свободных колебаний сооружений T (рис. 4), для наиболее сильных из рассмотренных последующих толчков 15/VI, 23/VI и 26/VII 1968 г., начиная с определенного значения T_0 максимальные значения приведенных сейсмических ускорений для данного T при различных затуханиях получаются одновременно. При этом, чем сильнее последующий толчок, тем меньше величина T_0 . Так, при последующем толчке 26/VII 1968 г. силой 5—6 баллов T_0 равен 0,3 сек, при толчке 15/VI 1968 г. силой 5 баллов T_0 равен 0,6 сек, при толчке 23/VI 1968 г. силой 4—5 баллов $T_0=0,8$ сек. Для периодов свободных колебаний сооружений $T < T_0$ чем больше затухание α , тем ближе к оси абсцисс расположена кривая зависимости $t_{\max}$ от T . Последнее утверждение имеет место почти при всех периодах T на графиках $t_{\max}(T)$ остальных последующих толчков 26/VI и 23/VII 1968 г.

По полученным величинам $\tau_{\max}$ построены спектры приведенных сейсмических ускорений, т. е. графики зависимости максимальных значений приведенных сейсмических ускорений $\tau_{\max}$ от периодов свободных колебаний сооружений при принятых постоянных значениях α . В качестве примера на рис. 5 изображены спектры $\tau(T)$ для землетрясения 23/VII 1968 г. При рассмотрении построенных спектральных кривых обнаружено, что они все убывающего характера и могут быть описаны примерно гиперболой. Однако при некоторых периодах эти кривые имеют отдельные пики. Примечательно то, что в этих пиковых точках особенно сказывается влияние декремента затухания. При $T \gg 1$ сек спектральные кривые, соответствующие различным α , почти сливаются. Следовательно, начиная от $T=1$ сек затухание почти не оказывает влияния на величину $\tau_{\max}$.

Для более четкого представления влияния затухания на величину приведенного сейсмического ускорения построены графики зависимости максимальных значений приведенных сейсмических ускорений от величины меры рассеяния энергии α при фиксированных значениях периода свободных колебаний сооружений T . Согласно этим графикам, с увеличением α величина $\tau_{\max}$ уменьшается, причем уменьшение $\tau_{\max}$ для коротких периодов свободных колебаний сооружений происходит интенсивно и зависимость $\tau_{\max}$ от α имеет криволинейный характер, а при длинных периодах $\tau_{\max}$ почти не зависит от α и зависимость $\tau_{\max}$ от α

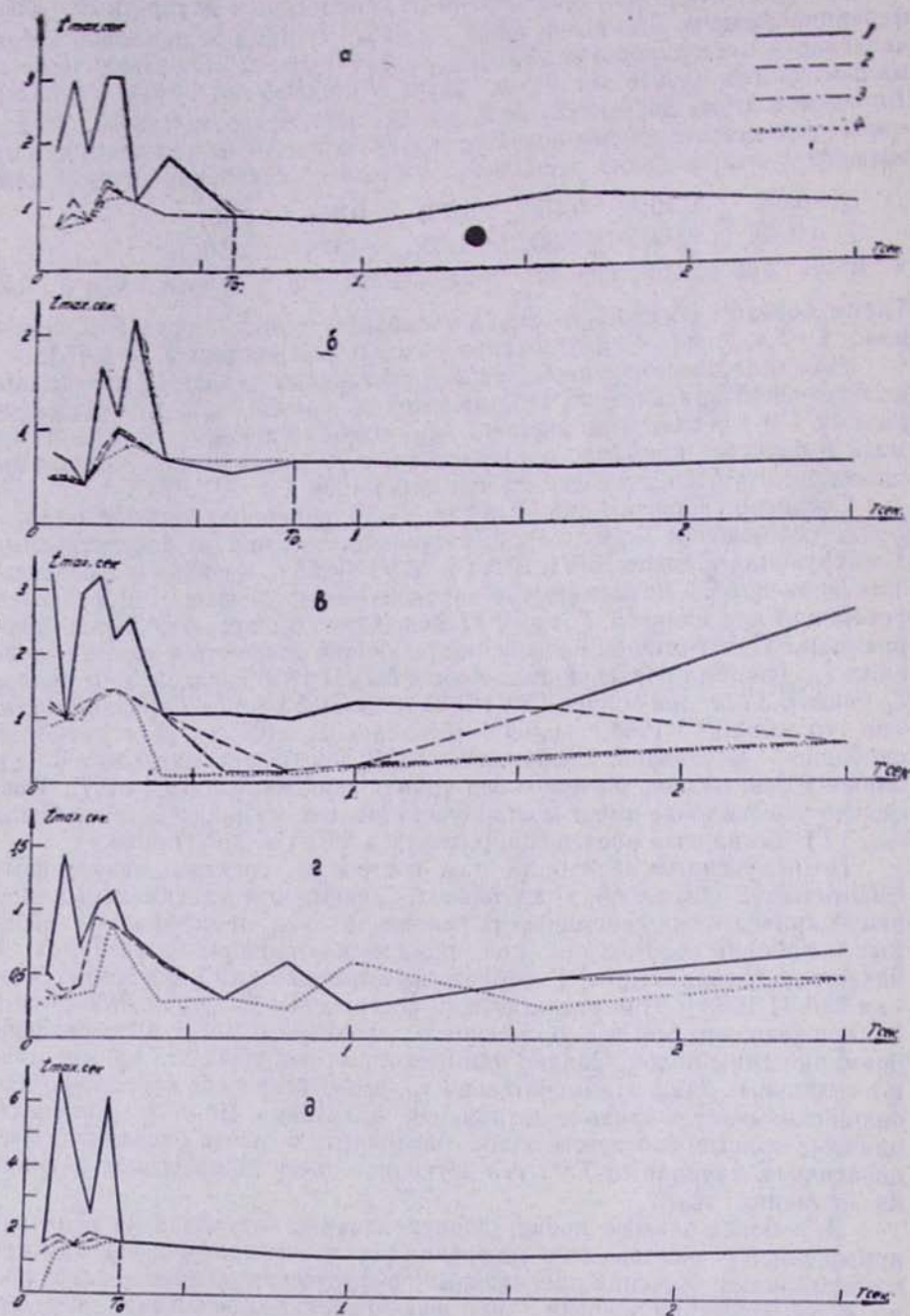


Рис. 4. Графики зависимости $t_{\max}$ от периода свободных колебаний сооружений T для последующих толчков Зангезурского землетрясения 9/VI 1968 г.: а—15/VI 1968 г.; б—23/VI 1968 г.; в—26/VI 1968 г.; г—23/VII 1968 г.; д—26/VII 1968 г.; при мере рассеяния энергии сооружений: 1— $\alpha=0$; 2— $\alpha=0,05$; 3— $\alpha=0,1$; 4— $\alpha=0,2$

имеет характер прямой линии, параллельной или же незначительно наклоненной к оси α . На рис. 6 показаны в качестве примера графики зависимости $\tau_{\max}$ от α при толчке 23/VI 1968 г.

Преобладающие периоды, определенные из спектров τ (T) и приведенные в табл. 1, имеют значения 0,20—0,30 сек. Проведено сопоставле-

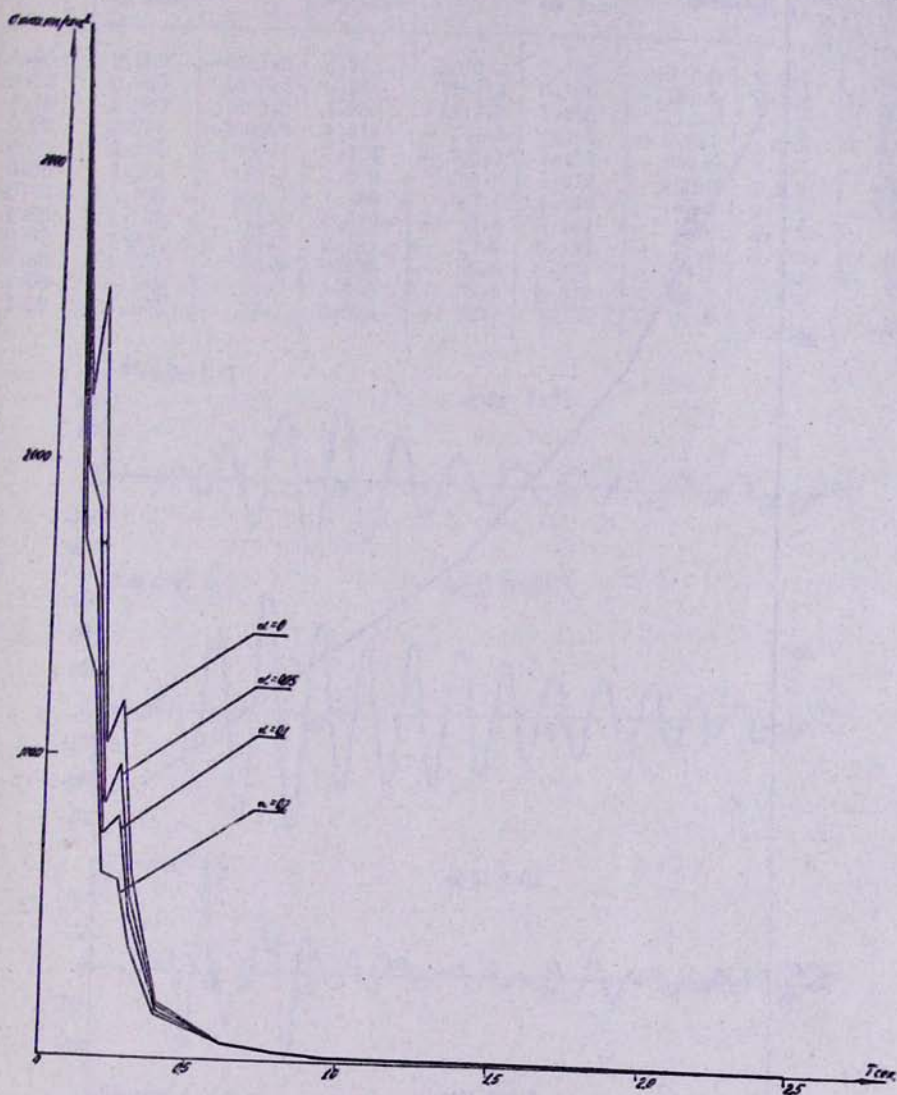


Рис. 5. Спектральные кривые приведенных сейсмических ускорений при различных значениях меры рассеяния энергии сооружений, полученные в результате обработки записи колебаний почвы при последующем толчке 23/VII 1968 г.

ние полученных путем спектрального анализа значений преобладающих периодов сейсмических колебаний грунта $T_{\max}$ с величинами преобладающих периодов сооружений $T_{\max}^{\text{пр}}$, т. е. периодами свободных колебаний сооружения, при которых приведенные сейсмические ускорения имеют максимальное значение. Результаты сопоставления (табл. 1) показы-

вают, что в четырех случаях $T_{\max}^{\text{пр}}$ имеет те же значения, что и $T_{\max}$ только в одном случае имеется разница в 0,05 сек.

Следовательно, в эпицентральной зоне Зангезурского землетрясения 1968 г., в частности в г. Каджаране, здания, имеющие период свободных

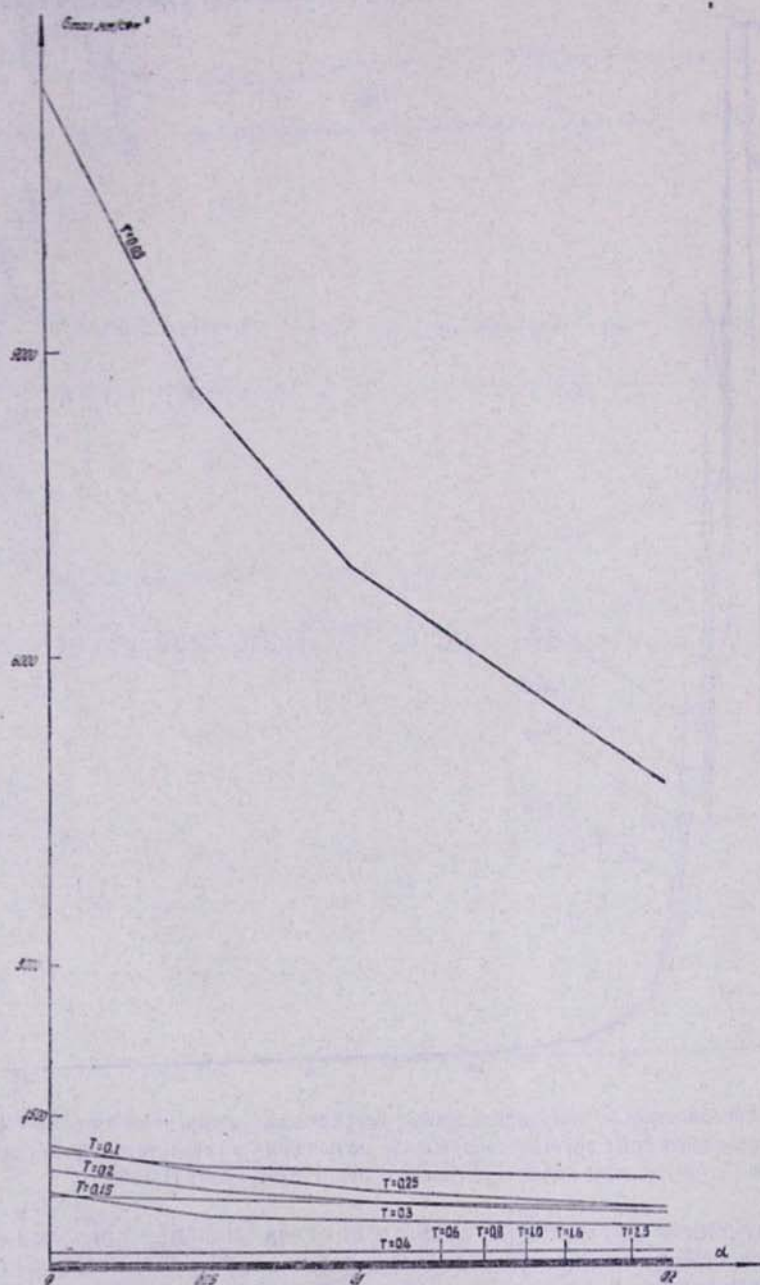


Рис. 6. Графики зависимости приведенных сейсмических ускорений от меры рассеяния энергии сооружений при последующем толчке 23/VI 1968 г.

Максимальные значения приведенных сейсмических ускорений при толчке 26/VI 1968 г.

Таблица 3

T, сек	$\alpha = 0$		$\alpha = 0,05$		$\alpha = 0,1$		$\alpha = 0,2$	
	момент максиму- ма $t_{\max}$	$\tau_{\max}$	момент максиму- ма $t_{\max}$	$\tau_{\max}$	момент максиму- ма $t_{\max}$	$\tau_{\max}$	момент максиму- ма $t_{\max}$	$\tau_{\max}$
0,05	3,269	-8741,8	1,242	5070,0	1,196	-4347,8	0,911	1328,7
0,10	0,986	-1047,4	0,986	-1264,0	0,986	-1191,0	0,986	-960,8
0,15	2,980	-1589,3	1,256	1317,8	1,016	1179,2	1,102	997,3
0,20	3,222	-1509,9	1,418	-764,9	1,415	-628,7	1,296	477,2
0,25	2,243	-396,1	1,454	-360,7	1,454	-369,6	1,451	-320,3
0,30	2,574	548,7	1,379	354,8	1,372	296,0	1,357	230,5
0,40	1,109	235,7	1,109	183,7	1,109	147,9	0,101	-130,6
0,60	1,102	112,6	0,620	98,8	0,162	-95,0	0,158	-8,7
0,80	1,037	-81,6	0,183	-72,6	0,184	-70,1	0,180	-65,5
1,00	1,253	-66,0	0,238	-56,4	0,234	-54,3	0,230	-50,6
1,60	1,159	39,7	1,156	35,8	0,382	-34,1	0,374	-31,7
2,50	3,139	-23,7	0,623	-22,7	0,623	-21,9	0,623	-20,2

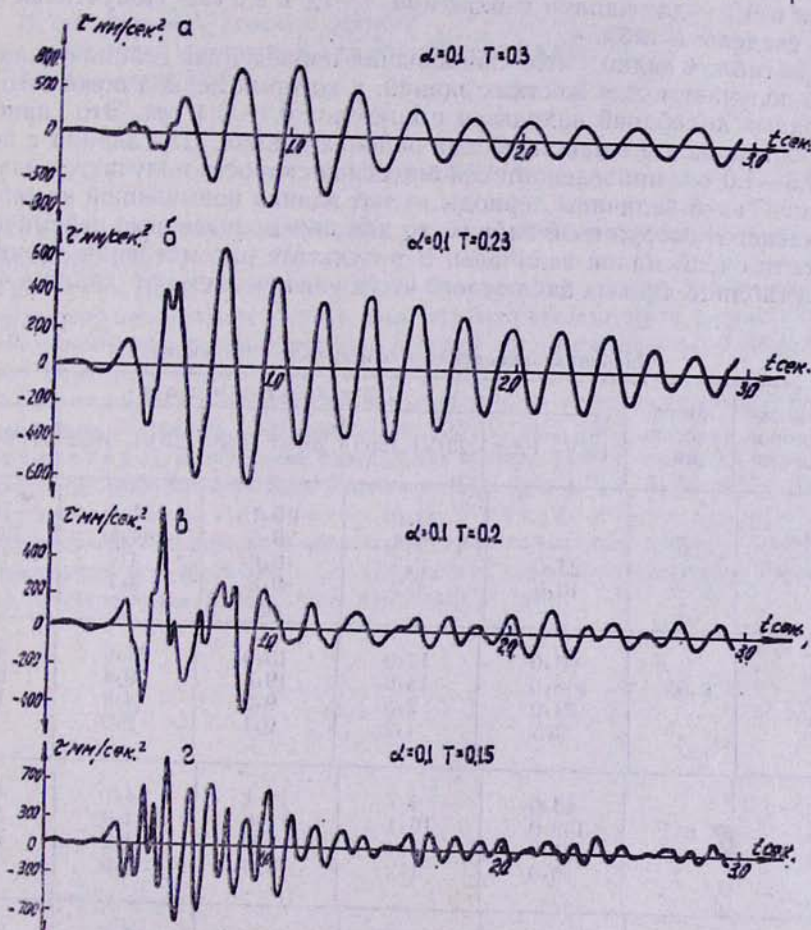


Рис. 7. Графики зависимости приведенных сейсмических ускорений от времени для последующего толчка 23/VI 1968 г. при мере рассеяния энергии сооружений $\alpha=0,1$ и периоде свободных колебаний сооружений: а— $T=0,15$ сек; б— $T=0,2$ сек; в— $T=0,25$ сек; г— $T=0,3$ сек

колебаний в пределах 0,20—0,30 сек, могут иметь большие повреждения благодаря сильному нарастанию сейсмических колебаний вследствие совпадения преобладающего периода колебаний грунта при землетрясениях с периодом свободных колебаний сооружения.

Были также получены значения τ в зависимости от времени t при различных величинах T и α и построены соответствующие кривые. На рис. 7 изображены кривые $\tau(T)$ при $\alpha=0,1$ и $T=0,15; 0,20; 0,25$ и 0,30 сек для толчка 23/VI 1968 г.

На основании полученных величин приведенных сейсмических ускорений определены приведенные сейсмические скорости по формуле

$$V_{\text{ср}} = \frac{\sum_{i=1}^n \tau_i T_i}{2\pi n} \quad (2)$$

При этом определялись $V_{\text{ср}}$ из одиннадцати значений τ при $T=0,1-2,5$ сек, $V_{\text{ж}}$ — для жестких зданий из семи значений τ при $T=0,1-0,4$ сек, $V_{\text{ср}}$ — для зданий средней гибкости при $T=0,6, 0,8$ и 1,0 сек и $V_{\text{г}}$ — для зданий гибких при $T=1,6$ и 2,5 сек. Полученные величины сведены в табл. 4.

Из табл. 4 видно, что наибольшая приведенная сейсмическая скорость получается для жестких зданий, у которых период основного тона свободных колебаний находится в пределах 0,1—0,4 сек. Это наиболее распространенные в сейсмических районах здания. Для зданий с периодом 0,6—1,0 сек приведенная сейсмическая скорость получается намного меньше. Такой величины периоды имеют здания повышенной этажности. Что касается сооружений гибких, то для них приведенные сейсмические скорости очень малой величины. В результате рассмотрения приведенных в таблице данных заключаем, что с увеличением затухания в 4 раза

Таблица 4

Значения приведенных сейсмических скоростей

Приведенные скорости м/сек	Мера рассеяния	Дата толчков				
		15/VI 1968	23/VI 1968	26/VI 1968	23/VII 1968	27/VII 1968
$V_{\text{ср}}$ $V_{\text{ж}}$ $V_{\text{ср}}$ $V_{\text{г}}$	0	— — 23,0 10,0	13,6 23,4 2,5 1,2	19,1 26,5 10,6 9,8	21,9 44,8 4,4 3,1	70,6 122,0 11,1 6,6
$V_{\text{ср}}$ $V_{\text{ж}}$ $V_{\text{ср}}$ $V_{\text{г}}$	0,05	99,0 168,0 22,0 9,5	11,0 18,6 2,5 1,2	15,0 19,8 9,2 9,1	17,9 29,4 4,8 2,9	49,8 84,0 10,5 6,2
$V_{\text{ср}}$ $V_{\text{ж}}$ $V_{\text{ср}}$ $V_{\text{г}}$	0,1	83,0 139,0 21,0 9,0	9,7 16,1 2,4 1,2	14,1 17,6 8,9 8,6	14,7 24,0 4,2 2,6	44,7 75,0 10,0 5,9
$V_{\text{ср}}$ $V_{\text{ж}}$ $V_{\text{ср}}$ $V_{\text{г}}$	0,2	66,0 108,0 20,0 8,3	8,4 13,8 2,4 1,2	11,6 14,4 8,3 8,1	12,7 20,5 4,0 2,5	35,2 58,0 9,2 5,3

среднее значение приведенной сейсмической скорости уменьшается в 1,5 раза. Примерно такая зависимость для $V_{ж}$, а что касается $V_{сг}$ и, особенно, $V_{г}$, то на них увеличение затухания почти не оказывает влияния.

Из пяти последующих толчков, для которых по записи колебаний во времени аналитически были получены величины приведенных сейсмических скоростей, два толчка (23/VI и 27/VII) были также записаны с помощью многомаятниковых сейсмометров. Сравнение величин $V_{ср}$, полученных аналитически и непосредственно с помощью многомаятниковых сейсмометров, показало, что они мало отличаются. Кривые приведенных сейсмических ускорений в обоих случаях имеют одинаковый характер.

Выводы

1. Предложены пути комплексного учета сейсмологических характеристик землетрясений при составлении новой шкалы балльности.

2. На примере последующих толчков Зангезурского землетрясения 9/VI 1968 г. показана эффективность одновременного сейсмологического и инженерно-сейсмологического изучения землетрясений.

Ордена Трудового Красного Знамени

Институт геофизики и инженерной сейсмологии

АН Армянской ССР

ЛИТЕРАТУРА

1. Назаров А. Г. Метод инженерного анализа сейсмических сил. Ереван, Изд. АН АрмССР, 1959.
2. Карапетян Н. К., Мхитарян Л. А. Спектральный анализ сейсмических колебаний при последующих толчках Зангезурского землетрясения 9 июня 1968 г. Сб. «Результаты комплексного изучения Зангезурского землетрясения». Ереван, Изд. АН Арм. ССР, 1973.
3. Карапетян Н. К., Методика определения спектра с учетом неперIODичности сейсмических колебаний. ДАН АрмССР, т. XXXIV, № 2, 1962.
4. Карапетян Н. К. Методика определения приведенных сейсмических ускорений по сейсмограммам землетрясений и взрывов. ДАН АрмССР, т. XLIII, № 5, 1966.
5. Карапетян Б. К., Карапетян Н. К., Мхитарян Л. А. Инструментальное исследование сейсмического воздействия при последующих толчках Зангезурского землетрясения 9 июня 1968 г. Сб. «Результаты комплексного изучения Зангезурского землетрясения». Ереван, Изд. АН АрмССР, 1973.