

ИНЖЕНЕРНАЯ СЕЙСМОЛОГИЯ

Б. К. КАРАПЕТЯН, Н. К. КАРАПЕТЯН

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СПЕКТРАЛЬНОГО СОСТАВА КОЛЕБАНИЙ
ПОЧВЫ ПРИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИИ

Исследование спектрального состава колебаний почвы необходимо как при изучении землетрясений, так и для оценки поведения сооружений, которые по-разному будут реагировать на землетрясения, имеющие различный спектр.

Поэтому, наряду с изучением спектральной реакции сооружений, при землетрясении (в нашем случае определение кривых приведенных сейсмических ускорений [1]) следует также изучать спектральный состав колебаний почвы.

Имея спектральный состав колебаний почвы, определяя спектральную кривую реакций сооружений и характеристики, учитывающие передачу сейсмического возмущения от грунта фундаменту сооружений (взаимодействие между фундаментом сооружения и его основанием), можно получить правильную картину поведения сооружений при землетрясении.

Практическое значение изучения спектрального состава колебаний почвы заключается и в том, что имея преобладающие периоды колебаний почвы, в случае проектирования некоторых сооружений, прецизионных установок и ряда других конструкций, обладающих значительным затуханием, создается возможность выбрать периоды свободных колебаний указанных сооружений таким образом, чтобы избежать существенного нарастания амплитуды колебаний.

Настоящая работа посвящена определению спектрального состава колебаний почвы при землетрясении. Делается попытка показать, что для этой цели можно использовать спектральные кривые, получаемые с помощью электро-аналога.

Получение спектральных кривых с помощью электро-аналога является весьма целесообразным, так как создается возможность по акселерограмме землетрясения получить спектральное реагирование сооружений, имеющих различные периоды колебаний и декременты затухания. Для поставленной нами задачи наиболее интересными являются спектральные кривые при нулевом затухании.

Фактическим материалом для настоящей работы послужили спектральные кривые для некоторых сильных землетрясений, происшедших в США, полученные Г. В. Хаузнером, Р. Р. Маргелем и И. Л. Алфордом с помощью электро-аналога [2]. Рассмотрены все 28 спек-

тральных кривых с нулевым затуханием. Спектральные кривые были получены по записям акселерографов, в большинстве случаев установленных в основании здания, поэтому в акселерограммах записывалось также влияние массы и жесткости здания на смещение грунта. Таким образом, фактически получался спектр колебаний не грунта, а основания сооружения, то есть с учетом влияния взаимодействия между фундаментом сооружения и его основанием. Возможно, в некоторых случаях это даже выгодно. При этом следует иметь еще в виду то обстоятельство, что в Калифорнийских зданиях взаимодействие играет меньшую роль, вследствие того, что грунты являются относительно плотными, а здания — относительно гибкими [3].

Основные характеристики землетрясений, спектральные кривые которых подвергнуты измни анализу, приведены в таблице 1. При составлении этой таблицы нами использованы данные, имеющиеся в статье Хаузнера и др. [2], в работе Гутенберга и Рихтера [4], а также в статье Канаи [5].

Каждая спектральная кривая детально рассматривалась и определялись все величины пиков-ускорений и соответствующие им периоды колебаний. Поскольку запись в каждом случае представлена двумя горизонтальными составляющими, то было произведено их сравнение. Выяснилось, что периоды с пиковым значением ускорений на обеих кривых не всегда совпадают, что можно приписать некоторой неточности рассматриваемых спектральных кривых. Поэтому были взяты те значения периодов колебаний, которые имелись на обеих составляющих, а величина ускорений определялась как результирующая ускорений отдельных составляющих. Последнее, если подойти строго, не совсем правильно, ибо значения сложных ускорений не совпадают по времени. Но это допущение мы принимаем, оговариваясь, что берутся наименеевыгоднейшие сочетания ускорений, полученных по двум составляющим горизонтальных колебаний.

Таким путем, на основании имеющихся 28 спектральных кривых были вновь построены 14 спектральных кривых, которые приведены на рис. 1—5. Номера кривых на этих фигурах соответствуют порядковым номерам в таблице 1. Максимальные значения ускорений, определенные по этим спектральным кривым, приведены в той же таблице.

Г. В. Хаузнер, Р. Р. Мартел и Н. Л. Алфорд считают, что по полученным ими спектральным кривым с нулевым затуханием трудно прийти к определенным выводам о колебании грунта [2]. По их мнению, вид спектров, за исключением некоторых, не зависит от местности, но ним не получается определенных преобладающих периодов для данной местности. Однако, анализ полученных нами спектральных кривых позволяет наметить определенную зависимость преобладающих периодов от местности, эпицентрального расстояния и т. д.

Если сравнить спектральные кривые 1 и 2 (рис. 1), соответствующие записям одного и того же землетрясения 11.III 1933 г. станциями в Лос-Анжелосе и Верноне, то можно заметить, что кривая 1 име-

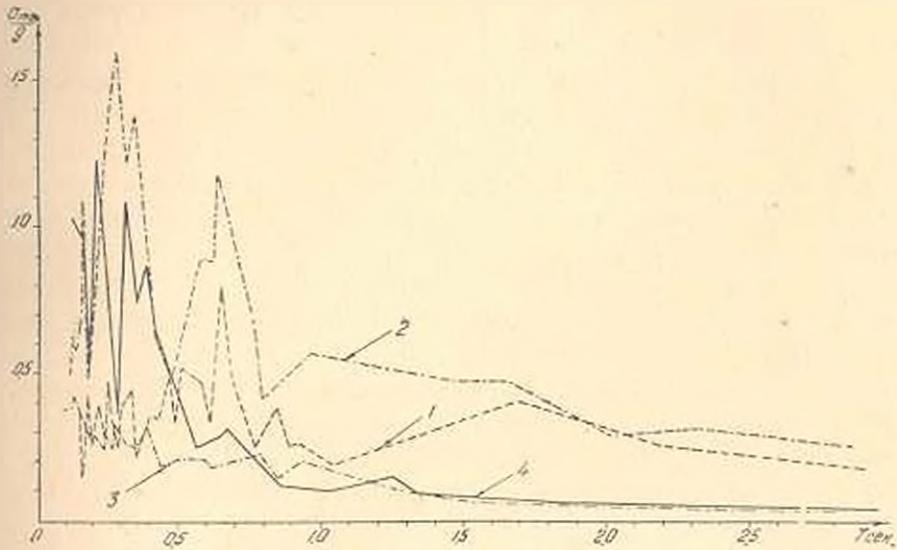


Рис. 1.

ет большее количество пиков, чем кривая 2, то есть для Лос-Анжелоса получается более „плотный“ спектр, чем для Вернона. При сравнении спектральных кривых 3 и 4 (рис. 1), соответствующих записям землетрясения 2.X 1933 г. в Лос-Анжелосе и Верноне, опять-таки для Лос-Анжелоса получается более „плотный“ спектр, чем для

Таблица 1

№ п/п	Дата землетрясения	Координаты эпицентра		Глубина, л	Место записи	Эпицентр, расст. в км	Максимальн. ускорения в долях g	
		по X	по Y				по спектру	по акселерографу
1	11.III 1933	33.6	118.0	6.25	Лос-Анжелос, метро	55	0.80	0.09
2	11.III 1933	33.6	118.0	6.25	Вернон, Калиф.	48	1.60	0.23
3	2.X 1933	33.8	118.1	5.4	Лос-Анжелос, метро	37	0.42	0.09
4	2.X 1933	33.8	118.1	5.4	Вернон, Калиф.	31	1.23	0.15
5	30.XII 1931	32.0	115.0	6.5	Эль-Центро, Калиф.	61	4.46	0.33
6	31.X 1935	46.5	112.0	6.0	Хелина, Монтанз	—	1.65	0.21
7	12.IX 1938	40.0	125.0	5.5	Ферридале, Калиф.	65	1.87	0.18
8	19.V 1940	32.7	115.0	6.7	Эль-Центро, Калиф.	22	6.40	0.40
9	9.II 1941	40.0	125.0	6.6	Ферридале, Калиф.	86	1.04	0.09
10	1.VII 1941	34.4	119.6	5.9	Санта Барбара, Калиф.	—	2.70	0.33
11	3.X 1941	40.0	125.0	6.4	Ферридале, Калиф.	67	3.14	0.18
12	9.II 1949	—	—	—	Ховистер, Калиф.	—	2.76	0.26
13	13.IV 1949	47.25	122.5	7.0	Олимпия, Вашингтон	—	6.50	0.36
14	13.IV 1949	47.25	122.5	7.0	Спета, Вашингтон	—	1.64	0.10

Вернона. Надо полагать, что каждая местность характеризуется определенной „плотностью“ спектра.

Для Вернона, согласно кривой 2, имеется два резко выраженных преобладающих периода: 0,3 и 0,64 сек, а для Лос-Анжелоса (кривая 1)—один преобладающий период 0,66 сек. Значения результирующих максимальных ускорений равны соответственно: 1,6 и 0,8 *g*. При этом эти местности находятся от эпицентра, соответственно, на расстоянии 48 и 55 км.

По записям землетрясения 2.X 1933 г. для тех же районов (Лос-Анжелоса и Вернона) спектральные кривые 3 и 4 получились совершенно другого характера, а именно, убывающие кривые с меньшим количеством пиков. Преобладающий период для Лос-Анжелоса, согласно кривой 4, равен 0,13 сек, а для Вернона (кривая 4)—0,22 сек, с двумя побочными максимумами при 0,13 и 0,32 сек. Результирующие величины максимальных ускорений соответственно равны 0,42 и 1,23 *g*, а эпицентральные расстояния—37 и 31 км. Возможно, наличие нескольких преобладающих периодов объясняется влиянием периода очага землетрясения, различного преобразования по пути от очага до места записи и „собственного“ периода местности, где произведена запись.

Следует отметить, что землетрясение 1.III 1933 г. было более сильное ($M=6,25$), чем землетрясение 2.X 1933 г. ($M=5,4$). Значения максимальных ускорений получились для Вернона в два и более раза больше по сравнению с Лос-Анжелосом. Таким образом, увеличение силы землетрясения примерно на 1 балл приводит к увеличению максимальных ускорений в 2 и более раза при не очень большой разнице в эпицентральных расстояниях (порядка 17 км), что соответствует соотношению между ускорениями, принятому в сейсмических шкалах.

Сравним спектральные кривые 13 и 14 (рис. 2), полученные для Олимпии и Сизтла (штат Вашингтона) по записям одного и того же очень сильного землетрясения 13.IV 1949 г. Эпицентральные расстояния их примерно одинаковые. Преобладающий период для Олимпии—0,21 сек, а для Сизтла—0,23 сек. Результирующие величины максимальных ускорений, соответственно, равны 6,5 и 1,64 *g*. В спектре для Олимпии (кривая 13) наблюдается преобладание высоких частот, а в спектре для Сизтла—низких частот. Хаузиер объясняет это фильтрацией высоких частот в рыхлых грунтах в месте расположения приборов в Сизтле [6]. При этом интенсивность в Олимпии получилась в 4 раза больше. На этом примере ясно видно, как сказывается влияние грунтовых условий на величину интенсивности землетрясения. Сравнивая второй максимальный пик на кривой 14 (Сизтл) при периоде 0,87 сек, который, видимо, обусловлен наличием рыхлого грунта, с значением максимального ускорения соответствующего этому периоду на кривой 13 (Олимпия) замечаем, что они имеют одинаковую величину. Отсюда можно заключить, что при скальных грунтах (кривая

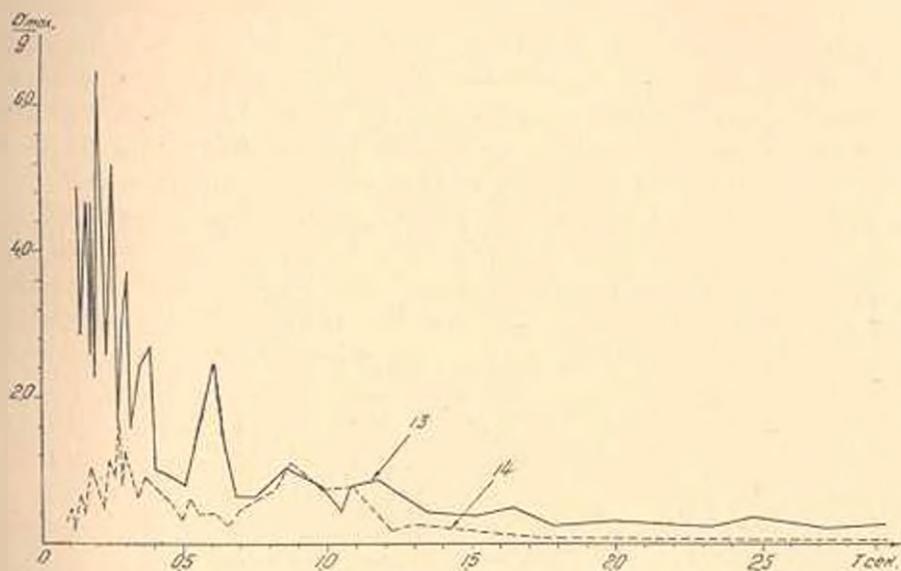


Рис. 2.

13 для Олимпии) спектральная кривая падает очень круто с увеличением периода колебаний.

По спектральным кривым 5 и 8 для ЭльЦентро (рис. 3), полученным по записям двух землетрясений примерно одинаковой интенсивности в очаге, получается почти одинаковый преобладающий период колебаний, равный $\sim 0,25$ сек. Характер спектральных кривых 5 и 8 также примерно одинаковый. Хотя эпицентральные расстояния для этих землетрясений отличались почти в три раза, интенсивность их в месте записи различалась на 40%.

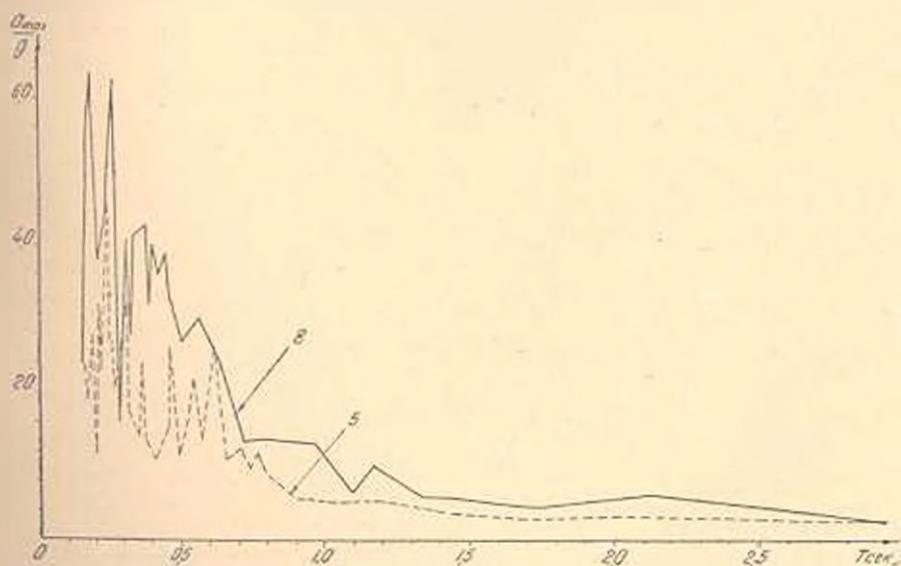


Рис. 3.

Сравним спектральные кривые 7 и 11 (рис. 4), полученные для Фердале при двух землетрясениях (12.IX 1938 и 3.X 1941 г.) из одного и того же очага (то есть при одинаковых эпицентральных расстояниях), но различной силы. Интенсивность в очаге в одном случае $M=5,5$, а в другом — $M=6,4$. Характер кривых получился примерно одинаковый: имеется по три преобладающих периода при 0,18, 0,3—0,32 и 0,41—0,43 сек. Максимальное ускорение для кривой 7 равно 1,87 g при периоде 0,18 сек, а для кривой 11 максимальное уско-

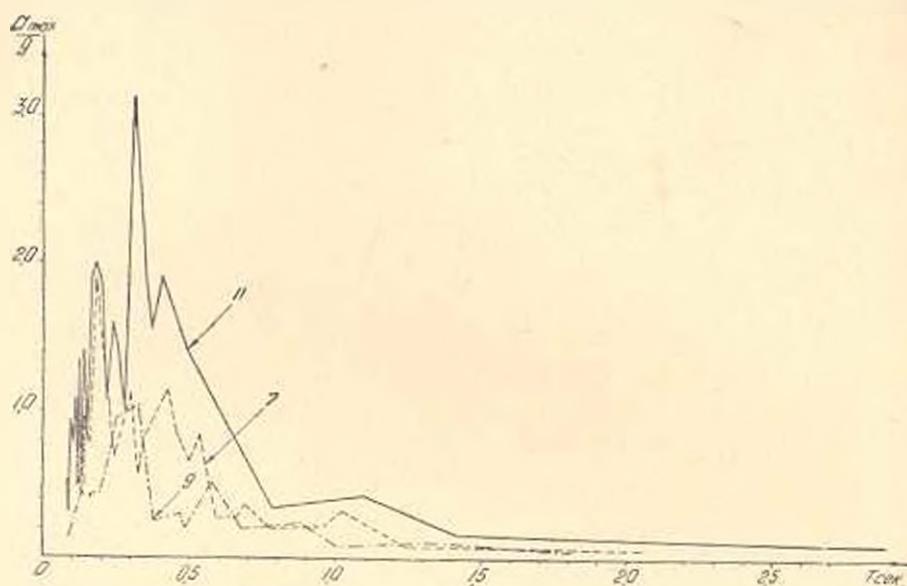


Рис. 4.

рение имеет место при 0,32 сек и равно 3,14 g. Если рассмотреть еще кривую 9 (рис. 4), опять-таки для Фердале при землетрясении 9.II 1941 г., которое имеет примерно такую же интенсивность в очаге

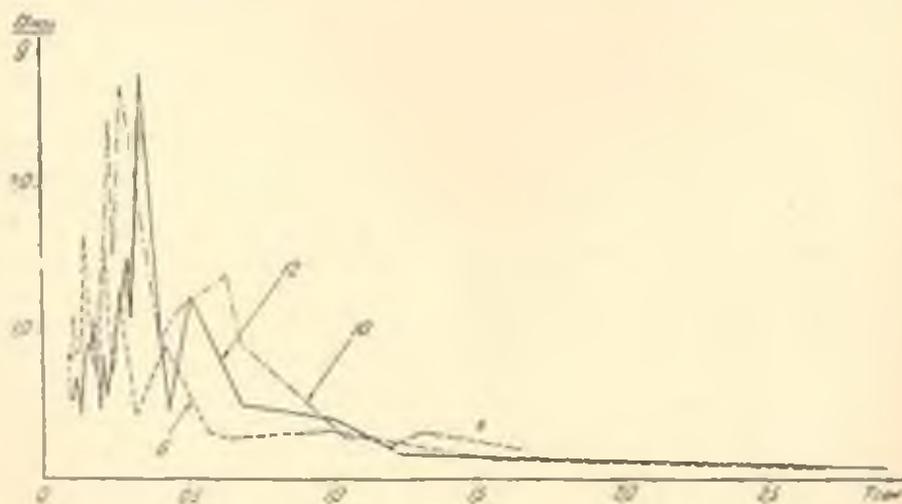


Рис. 5.

($M=6,6$), что и при землетрясении 3.X 1941 г. (кривая 11), то можно заметить, что увеличение эпицентрального расстояния на 30% приводит к уменьшению интенсивности в три раза, то есть получается совершенно обратная картина по сравнению с Эль-Центро. Преобладающий период для кривой 9 равен 0,3 сек., то-есть примерно такой же, что и для кривой 11.

Рассматривая спектральные кривые на рис. 5 для Хелины (кривая 6), для Санта-Барбары (кривая 10) и для Холлистера (кривая 12), замечаем, что они все имеют примерно одинаковый характер (до преобладающего периода возрастающий, а затем быстро убывающий с увеличением периода), но существенно разнятся по частотному спектру. Так, например, кривая 6 содержит меньше частот, чем кривая 10. Для Хелины преобладающий период равен, 15 сек, для Санта-Барбары — 0,28 сек, а для Холлистера — 0,34 сек.

Из изложенного явствует, что материал полученный с помощью электро-аналога с успехом может быть использован для получения спектральных кривых колебаний почвы и определения по ним ряда закономерностей в зависимости от различных факторов.

Армянский НИИ

стройматериалов и сооружений

Поступило 25.I 1960

Բ. Կ. ԿԱՐԱՊԵՏՅԱՆ, Ն. Կ. ԿԱՐԱՊԵՏՅԱՆ

ԲՆԱՀՈՂԻ ՏԱՏԱՆՄԱՆ ՄՈՆԻՏՐՈՒ ԿԱԶՄԻ ՈՐՈՇՈՒՄԸ
ԵՐԿՐԱՇԱՐԺԻ ԴԻՊԻՈՍԻ

Ա մ փ ո փ ո չ

Բնահողի տատանման սպեկտրայ կողմի տատանախրոմիտունը անհրաժեշտ է ինչպես երկրաշարժերի հետազոտման, այնպես և շինքերի կառույցի զնահատման համար: Շինքերը զանազան սպեկտրներ ունեցող երկրաշարժերին տարբեր ձևով են վերաբերվում: Երկրաշարժի զեպրում բնահողի տատանման սպեկտրայ կազմի վերլուծման համար օգտագործված է Հատգերի և տրիշների կողմից ԱՄՆ-ում սեյի ունեցած երկրաշարժերին վերաբերող էրկտրաանալոգի միջոցով ստացված փաստական նյութը (սպեկտրայ կորերը գրասկան մարման զեպրում [2]): Գոյություն ունեցող 28 սպեկտրայ կորերի հիման վրա նորից կառուցվել են 14 սպեկտրայ կորեր, որոնք բերված են դժ. 1—5: Այդ կորերից սրջված արագացումների մաքսիմալ արժեքները բերված են 1 աղյուսակում: Արտեղ տրված են նաև այն երկրաշարժերի հիմնական բնաթագրերը, որոնց սպեկտրայ կորերը մեր կողմից վերլուծման են ենթարկվել: Աղյուսակ 1-ը կազմելիս օգտագործվել են նաև [1, 5, 6] աշխատանքներում եղած տվյալները:

Էրկտրաանալոգի օգնությամբ բնահողի տատանման սպեկտրայ կազմի որոշումը գրասկան մարում ունեցող սպեկտրայ կորերի ստացման միջոցով

հանդիսանում է միանգամայն էֆեկտիվ և դանակ: Ունեցած տվյալների հիման վրա փորձ է արված որոշել բնահողի տատանման սպեկտրալ կազմի կախումը էպիկենտրոնային հեռավորությունից, երկրաշարժի ուժից, զրունտային պարմաններից և այլն:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. *A. Г. Назаров*. Метод инженерного анализа сейсмических сил (издание второе, исправленное и дополненное), Ереван. Издательство Академии наук Армянской ССР, 1959.
2. *G. W. Housner, R. R. Martel and Y. I. Alford*. Spectrum Analysis of Strong Motion Earthquakes, Bulletin of the Seismological Society of America, April 1953, vol. 43, № 2.
3. *G. W. Housner*. Soil Effects in Western United States, Personal communication, Dec. 1956, № 10.
4. *B. Gutenberg and C. F. Richter*, Seismicity of the Earth and associated Phenomena. Seismological Laboratory, California Institute of Technology, 1951.
5. *K. Kanai*. A Study of Strong Earthquake Motions, Bulletin of the Earthquake Research Institute, 1958, vol. 36.
6. *G. W. Housner*. Geotechnical Properties of Destructive Earthquakes, Geotechnique, Dec. 1954.