

## НАУЧНЫЕ ЗАМЕТКИ

Н. К. КАРАПЕТЯН

## К МЕТОДИКЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СПЕКТРАЛЬНОГО СОСТАВА КОЛЕБАНИЙ ПОЧВЫ ПУТЕМ ГАРМОНИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

Исследования спектрального состава колебаний почвы советскими и зарубежными учеными проводились двумя методами: графо-аналитическим и инструментальным. Эти работы показали важность и необходимость изучения спектрального состава колебаний почвы. Несмотря на многочисленные исследования, проведенные в этой области, нет однозначных ответов на такие вопросы, как зависит ли спектральный состав колебаний почвы от грунтовых условий данной местности, от условий возбуждения, от эпицентрального расстояния, от глубины и мощности очага. Недостаточно исследован также вопрос о наличии в спектре одного или нескольких пиков (преобладающих периодов) и факторов влияющих на пикообразование и их сглаживание в спектре колебаний. Знание преобладающих периодов в спектре сейсмических волн имеет также большое практическое значение для решения вопросов сейсмостойкого строительства. Особый интерес представляет сравнение спектральных кривых землетрясений, взрывов и микросейсм в одной и той же местности.

Предлагаемая нами методика определения спектрального состава колебаний почвы путем гармонического анализа заключается в следующем. Анализируемая кривая (будь то акселерограмма или сейсмограмма землетрясения, запись микросейсм или взрывов) увеличивается примерно в 10—12 раз. Затем срединная линия кривой делится на ряд участков вертикальными линиями, проходящими через характерные пики кривой. Каждый такой участок подвергается гармоническому анализу.

Как известно, гармоническим анализом называется процесс разложения данной функции в ряд Фурье:

$$f(x) = \frac{a_0}{2} + \sum_{k=1}^{\infty} (a_k \cos kx + b_k \sin kx),$$

где  $a_0$ ,  $a_k$ ,  $b_k$  — коэффициенты Фурье функции  $f(x)$ . Нами при расчетах применен способ, приложенный Лёманом [1]. Для получения более длинных периодов необходимо произвести последовательное укрупнение участков рассматриваемой кривой и подвергнуть эти участки также гармоническому анализу. Полученные значения периодов и

5. Изв. ТН. № 4



соответствующие им значения ускорений или смещений сводятся в таблицу. Способ Лёмана дает возможность получения десяти гармоник, но нами берутся только первые пять гармоник как наиболее достоверные. Затем, по полученным данным строится спектральная кривая, а также график частота случаев—период для разложения данной кривой. Изложенная методика определения спектрального состава колебаний почвы дает дискретные значения периодов и соответствующих им значений ускорений или смещений, что правильно для периодических функций. Сейсмические же колебания представляют собой непериодическую функцию с переменной амплитудой и периодом, имеющим сплошной спектр с преобладанием определенных периодов. Таким образом, в нашем случае больше подходило бы представление колебаний в виде интеграла Фурье. Однако нужно полагать, что в первом приближении данная методика дает возможность судить о характерных чертах частотного состава колебаний почвы данного района. Предложенная методика была использована нами для определения спектрального состава колебаний почвы при некоторых сильных калифорнийских землетрясениях по акселерограммам, любезно предоставленным нам С. В. Медведевым. Были отобраны восемь акселерограмм шести землетрясений силой 7 и 8 баллов с наиболее четкой записью. Данные об этих землетрясениях приведены в табл. 1. Акселерограммы записаны на сейсмических станциях, расположенных в разных пунктах с различными грунтовыми условиями. Записи ускорений произведены акселерографами с прямой оптической регистрацией на фотобумаге [2]. На записях отсутствует первое вступление, так как барабан регистрира начинает свое движение от пускового устройства, включающегося при начале колебания грунта. Частотная характеристика приборов такова [3], что увеличение ускорения колебания грунта для диапазона периодов примерно от 0,1 сек и более является постоянным.

По максимальным значениям ускорений для каждого периода построены спектральные кривые. На рис. 1 *a* представлена спектральная кривая восьмибального землетрясения 9. III. 1949 г. При этом по оси абсцисс отложены значения периодов, а по оси ординат—средняя амплитуда гармоники  $r = \sqrt{a_k^2 + b_k^2}$ , выраженная в долях *g*. Полученные спектры представлены не в обычном виде линейных спектров (вертикальных прямых параллельных оси ускорений), а в виде ломаных линий, соединяющих концы этих вертикалей. Такое чисто условное представление сейсмических спектров способствует лучшему прослеживанию характера изменения интенсивности колебаний от периода и выявлению преобладающих периодов. Для наглядности ординаты на графиках не приведены. Пунктирными линиями соединены точки, значения которых получены по укрупненным участкам.

В табл. 1 приведены величины пиков-ускорений и соответствующие им значения периодов для спектра ускорений почвы, полученные нами, а также для спектра ускорений реакции здания, полученные



Таблица 1

Дата землетрясения	Координаты эпицентра		Эпицентр. расстояние в км	Балльность по С. В. Медведю	Интенсивность M	Место записи и составляющие	Максимальные ускорения и соответствующие им периоды			
	$\varphi_N^0$	$\lambda_W^0$					По спектру ускорений почвы		по спектру ускорений реакции здания	
							период T сек	ускорение в долях g	период T сек	ускорение в долях g
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
9.III.1949	—	—	22	8	—	Холистер N 89 W	0,259 0,318 0,341 0,376 0,518	0,0756 0,0533 0,1000 0,0507 0,0513	0,158 0,339 0,500 0,668 0,984	0,878 1,326 0,949 0,468 0,375
9.III.1949	—	—	22	8	—	Холистер SO1 W	0,247 0,282 0,318 0,494	0,0521 0,1399 0,0651 0,0520	0,255 0,274 0,339 0,363 0,373 0,511 0,582	0,872 1,016 2,400 1,016 1,208 0,808 0,816
11.IX.1938	40,0	125,0	20	7	5,5	Ферндале N 45 E	0,186 0,216 0,373 0,432	0,0204 0,0171 0,0189 0,0300	0,137 0,168 0,181 0,250 0,287 0,310 0,421	0,660 0,641 1,410 0,711 0,705 0,711 0,631
11.IX.1938	40,0	125,0	20	7	5,5	Ферндале S 45 E	0,136 0,186 0,271 0,373 0,424 0,542	0,0214 0,0243 0,0216 0,0219 0,0394 0,0284	0,139 0,176 0,216 0,295 0,429 0,529 0,879	1,026 1,224 1,275 1,070 0,952 0,590 0,336
3.X.1941	40,0	125,0	24	7	6,4	Ферндале N 45 E	0,114 0,186 0,229 0,286 0,307 0,371 0,700	0,0297 0,0450 0,0464 0,0273 0,0273 0,0391 0,0254	0,160 0,171 0,181 0,195 0,300 0,342 0,395 0,642	1,560 1,560 1,560 1,648 1,248 1,560 1,664 1,096

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
13.IV.1949	47,25	122,5	60	7	7,0	Сиэтл N 88W	0,250	0,0387	0,245	0,830
							0,327	0,0320	0,281	1,500
							0,654	0,0342	0,295	1,218
							0,885	0,0329	0,310	0,930
							0,942	0,0446	0,334	1,269
							0,981	0,0393	0,363	0,990
1,039	0,0413	0,879	0,766							
								0,984	0,628	
								1,105	0,740	
11.III.1933	33,6	118,0	62	7	6,25	Лос-Анже- лос N 89E	0,364	0,0162	0,153	0,363
							0,424	0,0216	0,184	0,414
							0,833	0,0265	0,210	0,341
							0,970	0,0174	0,224	0,368
							1,030	0,0208	0,260	0,464
							1,364	0,0181	0,297	0,370
							1,636	0,0158	0,518	0,339
									0,584	0,445
									0,655	0,502
									0,710	0,401
		1,197	0,315							
		1,410	0,285							
		1,687	0,254							
18.V.1940	32,7	115,0	11	7	6,7	Эль-Центро N — S	0,164	0,0355	0,158	4,528
							0,257	0,0245	0,171	3,792
							0,329	0,0364	0,187	5,032
							0,514	0,0351	0,210	3,600
								0,263	5,160	
								0,479	4,128	
								0,539	3,376	

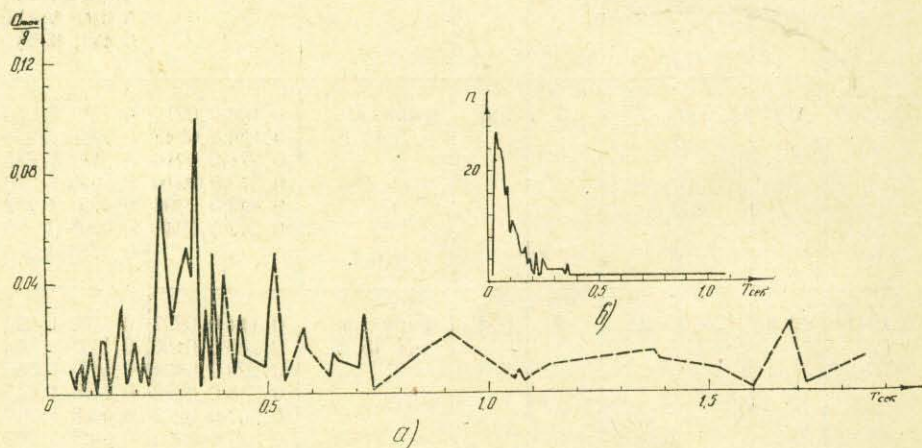


Рис. 1.

Г. В. Хаузнером, Р. Р. Мартемом и И. Л. Алфордом с помощью электро-аналога [4]. При сравнении данных этих двух спектров можно отметить в общем одинаковый характер кривых, а также увеличение числа пиков ускорений для одного и того же землетрясения при переходе от спектра ускорений почвы к спектру ускорений реакции здания.



Из построенных кривых наиболее резко выраженным пиком ускорения обладают спектры колебаний почвы при восьмибальном землетрясении 9.III.1949 г. Для всех рассмотренных спектральных кривых построены графики „частота случаев—период“. Эти графики в первом приближении дают картину количественного распределения периодов при данном землетрясении. На графиках по оси абсцисс отложены значения периодов, а по оси ординат—частота случаев. Наиболее резко выраженными пиками обладают графики „частота случаев—период“ для восьмибального землетрясения 9.III.1949 г. (рис. 1в).

Предлагаемая методика определения спектрального состава колебаний почвы может быть использована при анализе записей землетрясений и взрывов.

#### Л И Т Е Р А Т У Р А

1. *W. Lohman*. Harmonische Analyse zum Selbstunterricht. Berlin, 1921.
2. *С. В. Медведев*. Ускорения колебаний грунта при сильных землетрясениях. Тр. Института физики Земли, № 10 (177), 1960.
3. *G. W. Housner, R. R. Martel, Y. L. Alford*. Spectrum Analysis of Strong Motion Earthquakes. Bulletin of the Seismological Society of America, April, 1953, vol. 43, № 2.