

С. В. ПУЧКОВ

СПЕКТРЫ УСКОРЕНИЙ И СКОРОСТЕЙ СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ, ОТНЕСЕННЫХ К РАЗЛИЧНЫМ ГРУНТАМ

В работе на основе теории предельной силы землетрясений дается методика построения спектров ускорений и скоростей для различных грунтов при различной силе землетрясения.

Инструментальные исследования по сейсмическому микрорайонированию территории Туркмении, начатые в 1951 г. в Арало-Каспийской экспедиции Института физики Земли АН СССР, в настоящее время приобрели широкий размах. Достаточно отметить, что во многих научных учреждениях, которые имеют отношение к изучению сейсмических явлений, занимаются проблемой микросейсморайонирования. Наряду с этим, успешно продолжается работа по инженерному анализу последствий многочисленных сильных землетрясений, происшедших на земном шаре в различное время.

В итоге проведенной работы можно выделить два сравнительно общих вывода относительно влияния различных грунтовых условий на интенсивность сейсмических колебаний при землетрясениях:

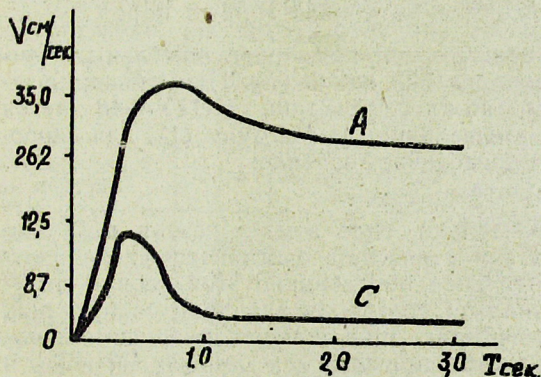
1. Приращение силы сотрясений на поверхности в зависимости от грунтовых условий в основном находится в пределах 2—3 баллов.

2. Изменение балльности для сходных грунтов как при слабых, так и сильных землетрясениях оказывается приблизительно одинаковым.

Последнее подтверждается при рассмотрении фиг. 1, где приведены спектры скоростей, полученные для сильного и слабого землетрясений.

При этом сильное землетрясение было записано на эпицентральной дистанции 40 км, а слабое—16 км приборами без затухания. Графики показывают, что максимумы скоростей приходятся на близкие периоды колебаний грунта.

Эти выводы позволяют составить обобщенную табл. 1 приращения балльности в зависимости от различных грунтовых условий и использовать



Фиг. 1. Спектры скоростей сильного (А) и слабого (С) землетрясений (без затухания).

ее для построения шкалы балльности землетрясений, отнесенной к различным грунтам. Такая таблица составлена на основе инструментальных наблюдений при слабых землетрясениях. Полученные данные, сопоставленные с приращением балльности за счет грунтовых условий при сильных землетрясениях, оказались достаточно близкими.

Приведенные в табл. 1 данные, относящиеся к слоям с приблизительно плоскопараллельными напластованиями при наименьшей мощности слоя, равной глубине залегания фундамента плюс 2—3 м, и уровне грунтовых вод глубже 5 м. Таблица дает среднюю величину приращения балльности, которую можно наблюдать в большинстве случаев. Она может оказать существенную помощь при сравнении сейсмических свойств грунтов, когда требуется произвести выбор площадки для строительства. Однако, если конкретные геологические условия территории, где предполагается вести строительство, значительно отличаются от тех, которые характеризуются табл. 1, то можно составить равносильную ей таблицу приращения балльности для грунтов, имеющих распространение в данном районе. Для этого необходимо произвести инструментальное сейсмическое микрорайонирование этого района.

Имея таблицу приращения интенсивности сейсмических колебаний за счет грунтовых условий, можно перейти к построению шкалы балльности землетрясений, отнесенной к различным грунтам. Она является дальнейшим развитием идеи теории предельной силы землетрясений на скальных породах [1].

В этой теории показывается, что скорость колебаний частиц на поверхности скальных пород при сильных землетрясениях не превосходит величины отношения предельного значения потока сейсмической энергии к предельному разрушающему напряжению материала горных пород. Аналитически это выражается следующим образом:

$$v \leq \frac{F}{\sigma_R}, \quad (1)$$

где v —скорость колебаний частиц, F —поток энергии при землетрясении и σ_R —предельное напряжение материала горных пород.

Предельная величина потока энергии при разрушительных землетрясениях имеет значение порядка 600 кг/см. сек. Наименьший предел прочности скальных пород по классификации НИТУ-6-48 дается равным 50 кг/см². Подставляя эти величины в формулу (1), для скорости колебаний частиц получаем предельное значение:

$$v \leq 12 \text{ см/сек}, \quad (2)$$

которое соответствует, приблизительно, силе землетрясения в 7 баллов. Это имеет место для всех землетрясений, очаги которых находятся в земной коре. Экспериментальное обоснование этой теории получено на основе инженерного анализа поведения зданий и сооружений, расположенных на различных грунтах, при сильных разрушительных землетрясениях. Фактические данные приведены в работах [2] и [3], в которых показано, что на скальных породах сила разрушительных землетрясений бывает порядка 7 баллов, а на рыхлых грунтах она может увеличиваться на 2—3 балла.

По многочисленным исследованиям сейсмического эффекта взрывов на сооружения установлено, что при скорости колебаний частиц 12—14 см/сек. в кирпичных зданиях и сооружениях трескается и обваливается штукатурка, падают печные трубы, а иногда появляются мелкие трещины в капитальных стенах.

Инструментальное измерение балльности на различных грунтах при сильных землетрясениях представляет собой очень редкое явление. Только в последнее время Нейману [4] в Калифорнии удалось записать ускорения 10 сильных землетрясений на различных грунтах. По его материалам получается, что наибольшая интенсивность, измеренная на граните при сильных землетрясениях в Hелепа 31 октября 1935 г., Elcentro 18 мая 1940 г. и Olimpia 13 апреля 1949 г. была 7,2 балла при периоде 0,3 сек. и 6,7 балла при периоде 0,3 сек. и 6,7 балла при периоде 2 сек. и больше. При этом период 0,3 сек на различных расстояниях от эпицентра всегда соответствовал максимальному измеренному ускорению.

Таким образом, всестороннее исследование рассматриваемой проблемы приводит к убеждению, что на скальных породах сила землетрясения бывает около 7 баллов.

При принятии логарифмического закона изменения предельной скорости колебаний частиц с изменением балльности получаем величины скоростей, соответствующие каждому баллу, приведенные в табл. 2. Для сравнения в этой же таблице даны предельные значения скоростей колебания частиц по Нейману.

Таблица 2

Балл	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
Скорость колебаний частиц в см/сек	100	50	25	12	6	3	1,5	0,75	0,38	0,2
Скорость колебаний частиц по Нейману	72	36	18	9	4,5	2,25	1,13	0,56	0,28	0,14

Приращения балльности в табл. 1 даны по отношению к скальным породам — известнякам, балльность которых принята за единицу. В соответствии с выводами теории можно принять ее равной семи и, следовательно, рассчитать величину абсолютного балла для каждого из рассмотренных грунтов путем простого прибавления приращения балльности к семи. Полученные данные приведены в табл. 3.

Таблица 3

Наименование породы	Балл	Скорость колебаний частиц в см/сек
Известняки	7,0	12
Песчаники	7,6	20
Галечники	8,0	24
Глины	8,3	31
Суглинки	9,0	50
Супеси	9,4	68
Пески (рыхлые)	10,0	100

В табл. 3 дана максимальная балльность для наиболее распространенных грунтов. Повышение балльности возможно для водонасыщенных и торфянистых грунтов.

Для геологических условий, значительно отличающихся от тех, которые характеризуются табл. 1, можно составить другую шкалу балльности по формуле.

$$B = 7 + \Delta B, \quad (3)$$

где ΔB — приращение балльности.

Многолетние инструментальные наблюдения и заключения о последствиях разрушительных землетрясений показывают, что на территории СССР землетрясений силой более 10 баллов не установлено. Следовательно, предложенная шкала балльности землетрясений, отнесенная к различным грунтам, является в достаточной степени реальной. Данная шкала относится к нормальным землетрясениям с глубокой очага в земной коре. Описательная часть шкалы оставлена такой же, как и в ныне действующей шкале [5].

До сих пор карта сейсмического районирования не могла дать ясного ответа на вопрос, к каким грунтам относится балльность, указанная внутри каждой изосейсты. Применение шкалы балльности по грунтам устраняет это затруднение. Наличие шкалы балльности, отнесенной к различным грунтам, доводит до минимума необходимость проведения сейсмического микрорайонирования, так как предлагаемая шкала для каждого грунта дает определенную величину сейсмического балла.

Шкала балльности, представленная табл. 3, рассчитана на землетрясения силой 7 и выше баллов. Имея сведения по инженерной геологии о распространении различных грунтов, а также прогноз места и силы землетрясения на скальных породах, с помощью этой шкалы можно провести сейсмическое районирование, которое будет отвечать реальным условиям распределения силы сотрясений при землетрясениях.

Для землетрясений, сила которых на скале ожидается меньше 7 баллов, скажем 5, нужно приращение балльности за счет грунтовых условий, приведенное в табл. 3, прибавлять не к 7, а к 5. Тогда получается на известняках — 5 баллов, песчаниках — 5,6, галечниках — 6, глинах — 6,3, суглинках — 7,0, супесях — 7,4, песках — 8 баллов. В соответствии с этими данными можно будет провести сейсмическое районирование исследуемой территории. Очевидно, что для этого случая и в формуле (3) вместо 7 надо поставить 5.

Так как песчано-глинистые отложения по своим характеристикам бывают различны, то, обобщая все породы по строительной классификации, можно составить сводную шкалу балльности землетрясений, отнесенную к различным грунтам, приведенную в табл. 4, которая вполне может быть использована для практических целей.

В табл. 3 каждому баллу была приписана предельная скорость колебаний частиц грунта в см/сек. При постоянной максимальной амплитуде для каждой скорости можно считать спектры ускорений в зависимости от периода приходящих колебаний. Такой расчет был произведен для 7, 8, 9 и 10 баллов и периодов колебаний от 0,1 до 1 сек. Эти данные представлены в табл. 5, где ускорения даны в долях g .

Таблица 4

Наименование породы	Балл	Скорость кол. частиц, см/сек
Скальные породы (граниты, известняки, песчаники). Скорость продольных волн $a=5,6-2,1$ км/сек	7	12
Меловые отложения (мергели, галечники и плотные сухие пески и глины). Скорость продольных волн $a=2,1-0,9$ км/сек	8	25
Грунты средней прочности (пески, глины, суглинки). Скорость продольных волн $a=0,9-0,6$ км/сек	8—9	25—50
Грунты слабые (пески, глины, суглинки и супеси). Скорость продольных волн $a=0,6-0,2$ км/сек	9—10	50—100

Таблица 5

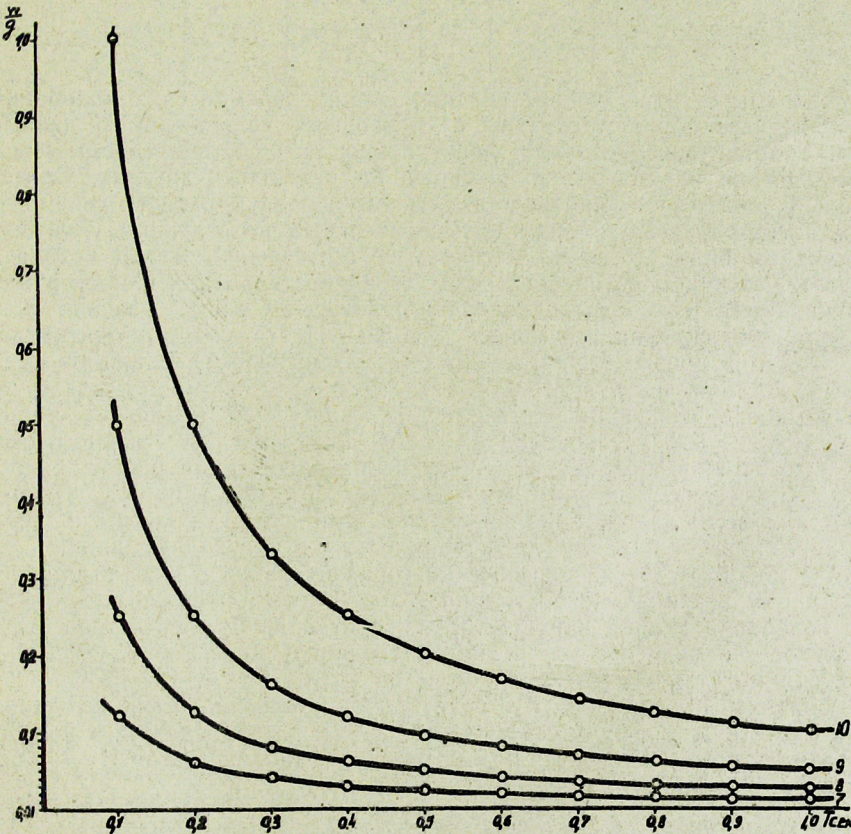
Балл	v см/сек	T сек								
		0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
10	100	1,0	0,5	0,33	0,25	0,2	0,17	0,14	0,12	0,11
9	50	0,5	0,25	0,16	0,12	0,1	0,08	0,07	0,06	0,05
8	25	0,25	0,13	0,08	0,06	0,05	0,04	0,03	0,03	0,03
7	12	0,12	0,06	0,04	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01

По данным табл. 5 были построены графики (фиг. 2), которые представляют собой спектры сильных землетрясений для различных грунтов. Графики удовлетворяют эмпирической формуле:

$$\frac{W}{g} = \frac{0,012}{T} n,$$

где T — период колебаний, а n — принимается равным 1, 2, 4 и 8, 3 соответственно для 7, 8, 9 и 10 баллов.

Следует отметить, что эти графики имеют гиперболический характер. Подобный же закон изменения приведенных ускорений колебаний



Фиг. 2. Спектры ускорений сильных землетрясений для различных грунтов.

грунта при землетрясениях наблюдается и в случае полевых инструментальных измерений. В настоящее время в Армении и Таджикистане проводятся инструментальные измерения приведенных ускорений на различных грунтах при сильных землетрясениях. Для этих целей используются многомаятниковые сейсмометры системы А. Г. Назарова [6]. Они позволяют строить непосредственно спектральные кривые ускорений подобные тем, которые приведены на фиг. 2.

В табл. 6 даны измеренные максимальные ускорения при 4 сильных землетрясениях, происшедших на территории Америки. В частности, сотрясения, вызванные сильными землетрясениями в Helena, S—Barbara и Hollister, по нашей таблице соответствуют 9 баллам, а в районе Ferndale—7 баллам.

Таблица 6

Время	Магнитуда, М	Эпицентр, км	Район, направление	Период, сек	Максимальное ускорение в долях
Октябрь, 31, 1935 г.	6,0	24	Helena, NE	0,4	0,12
Февраль, 9, 1941 г.	6,6	121	Ferndale, NE	0,3	0,05
Июнь, 30, 1941 г.	5,9	24	S—Barbara, NE	0,3	0,16
Март, 9, 1949 г.	5,3	16	Hollister, NE	0,35	0,14

Так как спектры ускорений приходящих сейсмических колебаний определенным образом связаны с грунтовыми условиями, то данные табл. 5 характеризуют собой спектральное воздействие сейсмических колебаний на здания, расположенные на различных грунтах. Следовательно, она имеет непосредственное отношение к расчету сейсмических нагрузок, действующих на строительные конструкции. Поэтому рассмотрим более детально методику ее применения. Будем исходить из того, что наиболее опасным для устойчивости здания или сооружения являются резонансные колебания, которые могут возникнуть в них при прохождении сейсмической волны. Поэтому при проектировании зданий и сооружений в конкретных геологических условиях необходимо устанавливать не только расчетную балльность для конструкции, но и оценить период ее собственных колебаний. Расчетная балльность может быть установлена на основе карт инструментального сейсмического районирования или применения изложенной шкалы балльности. Собственный период колебаний здания определяется эмпирически или вычисляется приблизительно, если известны массы и упругие характеристики элементов здания. Имея эти исходные данные, по табл. 5 можно будет на пересечении горизонтальной строки выбранного балла и вертикального столбца с полученным периодом собственных колебаний здания найти цифру, представляющую расчетное относительное сейсмическое ускорение. Дальнейшие определения сейсмических сил могут идти обычным путем по СНиП П—А, 12—62 [5].

Сравним данные табл. 5 с некоторыми коэффициентами, входящими в расчетную формулу сейсмической силы, которая дается в нормах и правилах по строительству в сейсмических районах (автор И. Л. Корчинский). Эта формула имеет вид:

$$S = K_c \beta \gamma Q, \quad (4)$$

где K_c —сейсмический коэффициент, β —коэффициент динамичности, зависящий от периода свободных колебаний здания или сооружения,

η —коэффициент, зависящий от формы деформации здания или сооружения при его свободных колебаниях и от места расположения груза Q , Q —нагрузка, равная весу здания.

В нормах и правилах сейсмический коэффициент K_c принимается по табл. 7.

Таблица 7

Расчетная сейсмичность в баллах	7	8	9
Значение сейсмического коэффициента	0,025	0,05	0,1

В табл. 5 эти значения сейсмического коэффициента соответствуют периоду колебаний 0,5 сек, но в сейсмических районах в основном строят здания

от одного до трех этажей, которые, как известно, имеют периоды свободных колебаний от 0,1 до 0,3 сек. В расчетах для таких зданий по существу надо брать другие сейсмические коэффициенты, которые будут, вообще говоря, отличаться от принятых в строительных нормах и правилах. Эти коэффициенты, рассчитанные для различных периодов, даны в табл. 5.

Сравним значения произведений $K_c \beta$, принятых в нормах, для 7, 8 и 9 баллов с теми значениями $K_s \beta$, которые получаются по табл. 5. Данные расчетов приведены в табл. 8.

Таблица 8

Балл	T	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
9	$K_c \beta$	0,3	0,3	0,3	0,22	0,18	0,15	0,13	0,11	0,10
	$K_s \beta$	1,5	0,75	0,48	0,26	0,18	0,12	0,09	0,07	0,05
8	$K_c \beta$	0,15	0,15	0,15	0,11	0,09	0,07	0,06	0,05	0,05
	$K_s \beta$	0,75	0,39	0,24	0,13	0,09	0,06	0,04	0,03	0,02
7	$K_c \beta$	0,07	0,07	0,07	0,05	0,04	0,04	0,03	0,03	0,02
	$K_s \beta$	0,36	0,18	0,12	0,06	0,04	0,04	0,03	0,01	0,01

Из табл. 8 видно, что для периода 0,5 сек значения произведений $K_c \beta$ и $K_s \beta$ одинаковы. При меньших периодах $K_s \beta$ увеличивается по сравнению с $K_c \beta$, а для периодов, больших, чем 0,5 сек, это произведение становится меньше нормативного. Это указывает на то обстоятельство, что в сейсмических районах для устойчивости жестких зданий требуется принимать больший запас прочности, чем это необходимо для гибких зданий, которые, оказывается, лучше могут переносить сейсмические воздействия. Очевидно, что для жестких зданий высокочастотная компонента сейсмического импульса имеет главное значение, а длиннопериодная его часть играет второстепенную роль. В то же время для гибких зданий они, по-видимому, меняются местами. Поэтому в сейсмоактивных районах необходимо строить невысокие, но гибкие здания.

Отличие, полученных нами сейсмических коэффициентов (табл. 5), состоит в том, что они отнесены не только к определенному баллу и периоду колебаний, но и к определенным грунтовым условиям, тогда как в нормах последние не конкретизируются и характерные особенности сейсмического движения грунта не учитываются.

В последнее время наряду со спектрами ускорений для расчетов сейсмических воздействий на строительные конструкции стали использовать также и спектры скоростей. Однако они не являются какой-то

новой характеристикой сейсмического движения грунта. Известно, что спектры смещений, скоростей и ускорений взаимно зависимы. Зная одну из этих характеристик, можно определить и две остальные. Но спектры скоростей лучше отражают энергию землетрясения в месте наблюдения. Поэтому скорость колебаний частиц удобнее принимать за исходную величину для оценки силы землетрясения.

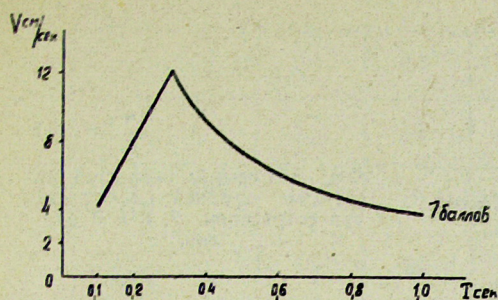
Построим спектры скоростей, исходя из предельной величины скорости колебаний на скальных породах. Как было показано ранее, она равна 12 см/сек. Возникает вопрос, к какому преобладающему периоду надо отнести эту предельную скорость колебаний частиц, чтобы на этой основе построить спектры скоростей для различной интенсивности землетрясений. Нам кажется, что это зависит от соотношения преобладающих периодов спектров скоростей землетрясения и частотной характеристики поверхностного слоя, совершающего колебания под действием этого землетрясения.

Опыт показывает, что частотная характеристика слоя определяется его материалом [7]. Для плотных скальных пород она пиковая, а для слабых и рыхлых грунтов частотная характеристика оказывается значительно выположенной. В то время, как на скальных породах в спектре колебаний резко выделяется один преобладающий период, лежащий между 0,2—0,3 сек, на рыхлых отложениях обычно оказывается целая совокупность периодов, примерно от 0,4 до 0,6 сек, каждый из которых может быть преобладающим. Все зависит от того, какой из периодов ближе к основному тону спектра колебаний самого землетрясения. Поэтому, максимумы спектров скоростей на поверхности слоя рыхлых отложений могут приходиться на различные периоды этой совокупности. Как правило, эти максимумы смещаются в сторону больших значений периодов. В соответствии с этим для обобщенной шкалы балльности (табл. 5) мы и получим спектры скоростей колебаний частиц. Для первой группы этой таблицы—скальных пород, на которых балльность равна 7, предельную скорость колебаний отнесем, как это принято у Неймана, к преобладающему периоду 0,3 сек. Тогда в согласии с результатами, полученными на основе электромеханической аналогии, скорости колебаний частиц для периодов, меньших 0,3 сек, будут уменьшаться в $\frac{T}{0,3}$, а для больших периодов на $\frac{0,3}{T}$. Здесь T —период, для которого ищется величина скорости колебаний.

Таким образом, составлена табл. 9, в которой для каждого периода приведено соответствующее значение скорости колебаний.

Таблица 9

Балл	T сек	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
7	$v \frac{\text{см}}{\text{сек}}$	4	8	12	9	7,2	6	5,1	4,5	4	3,6



Фиг. 3. Спектры скоростей на скальных породах при сотрясении в 7 баллов.

Предельная скорость колебаний частиц отнесена к преобладающему периоду, равному 0,4 сек, и спектры скоростей построены для сотрясений 7 и 8 баллов. Они приведены в табл. 10 и на фиг. 4.

По этим данным построен график (фиг. 3) спектра скоростей на скальной породе для землетрясения силой 7 баллов. Правая ветвь кривой удовлетворяет эмпирической формуле:

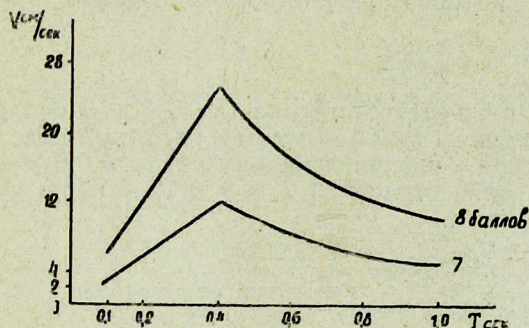
$$v = \frac{3,6}{T},$$

где T —период колебаний.

Подобным же образом построены спектры скоростей для второй группы табл. 5—меловых отложений. Здесь пре-

Таблица 10

Балл	T сек	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
7	$v \frac{см}{сек}$	3	6	9	12	9,6	8	7	6	5,3	4,8
8	$v \frac{см}{сек}$	6,3	12,5	19	25	20	16,7	14,3	12,5	11,1	10,0



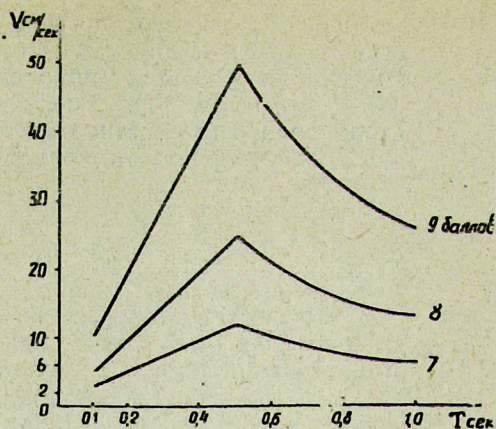
Фиг. 4. Спектры скоростей на меловых отложениях (мергели, галечники, плотные сухие пески и глины) при сотрясении в 7 и 8 баллов.

Для правых ветвей кривых дается эмпирическая формула:

$$v = \frac{4,8}{T} n,$$

где n берется равным 1 и 2,1 соответственно для 7 и 8 баллов.

Для третьей группы табл. 5 (средних грунтов) предельная скорость колебаний отнесена к преобладающему периоду 0,5 сек, и спектры скоростей построены для сотрясений 7, 8 и 9 баллов. Они даны в табл. 11 и на фиг. 5.



Фиг. 5. Спектры скоростей на грунтах средней прочности при сотрясении 7, 8 и 9 баллов.

Таблица 11

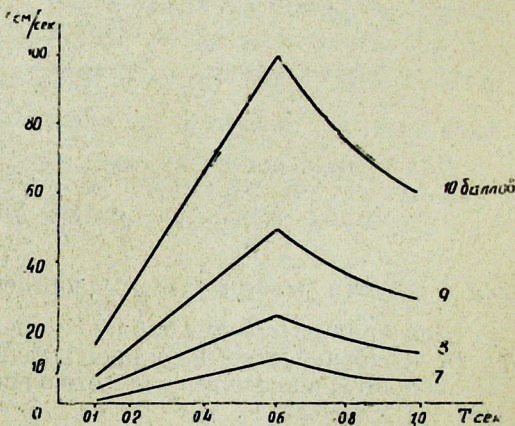
Балл	$T_{сек}$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
7	$v \frac{см}{сек}$	2,4	4,8	7,2	9,6	12	10	8,6	7,5	6,6	6
8	$v \frac{см}{сек}$	5	10	15	20	25	20,1	17,9	15,6	13,9	12,5
9	$v \frac{см}{сек}$	10	20	30	40	50	41,7	35,7	31,2	27,8	25

Эмпирическая формула, которой удовлетворяют правые ветви кривых, имеет вид:

$$v = \frac{6}{T} n,$$

где n берется равным 1, 2,5 и 4,2 соответственно для 7, 8 и 9 баллов.

Наконец, для четвертой группы табл. 5 (слабых грунтов) предельная скорость колебаний отнесена к преобладающему периоду 0,6 сек, и спектры скоростей построены для сотрясений 7, 8, 9 и 10 баллов. Они приведены в табл. 12 и на фиг. 6.



Фиг. 6. Спектры скоростей на слабых грунтах при сотрясении 7, 8, 9 и 10 баллов.

Таблица 12

Балл	T сек	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
7	$v \frac{см}{сек}$	1	4	6	8	10	12	10,3	9	8	7,2
8	$v \frac{см}{сек}$	4,2	8,3	12,5	16,7	20,1	25	21,4	18,8	16,7	15
9	$v \frac{см}{сек}$	8,3	16,7	25	33,3	42	50	43	37,5	33,3	30
10	$v \frac{см}{сек}$	16,7	33,3	50	66,6	83,3	100	86	75	67	60

Правые ветви кривых удовлетворяют эмпирической формуле:

$$v = \frac{7,2}{T} n,$$

где n принимается равным 1, 2, 1, 4, 2 и 8, 3, соответственно для 7, 8, 9 и 10 баллов.

Приводим значения максимальных скоростей колебаний, полученные при двух сильных землетрясениях. Так, при землетрясении 1941 г. в Ferndale максимальная скорость спектра была равна примерно 18 см/сек при периоде 0,4 сек, а при землетрясении в El-Centro в 1940 г. она оказалась равной около 23 см/сек при периоде 0,5 сек.

Приведенные результаты достаточно удовлетворительно согласуются с опытными данными и могут быть использованы для решения конкретных задач инженерной сейсмологии.

ЛИТЕРАТУРА

1. С. В. Пучков. Об основах комплексного метода сейсмического районирования. Изв. АН СССР, сер. геофиз., № 1, 1958.
2. С. В. Пучков. О предельной силе землетрясений на коренных скальных породах. Изв. АН СССР, сер. геофизическая, № 8, 1956.
3. А. Н. Сафарян. К вопросу сейсмичности коренных скальных пород. Тр. Ин-та строительного дела АН Груз. ССР, т. 5, 1955.
4. Neumann. Earthquake, intensity an related ground motion, 1954.
5. Строительные нормы и правила. СН и П, II—А, 12—62.
6. А. Г. Назаров. Метод инженерного анализа сейсмических сил, Ереван, Изд-во АН Армянской ССР, 1959.
7. Қапай, Тапак. On microtremors Bulletin ERY, vol. 39, 1961.

Институт физики Земли
АН СССР.