

Ф. Ф. АПТИКАЕВ

ЗАМЕЧАНИЯ ОБ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ШКАЛЕ

Самые подробные макросейсмические шкалы не в состоянии учесть особенности всех сооружений и строительных материалов. Для инженерного расчета сооружений на действие сейсмических сил необходимы сведения об ожидаемых параметрах сейсмических колебаний. Современные шкалы сейсмической интенсивности наряду с описательной (макросейсмической) частью содержат и числовые характеристики колебаний при землетрясениях различной интенсивности. Однако инструментальные части сейсмических шкал пока несовершенны. В отдельных случаях расхождения между макросейсмической и инструментальной оценками достигает двух баллов. Это можно объяснить тем, что сейсмический эффект определяется многими параметрами, а учитываются обычно лишь амплитуды и периоды сейсмических колебаний. При оценке сейсмического эффекта при взрывах чаще используются амплитуды скорости смещения, а при землетрясениях — амплитуды ускорения. И в том и другом случаях наблюдаются существенные различия в шкалах балльности, предложенных различными исследователями.

В настоящем сообщении излагаются некоторые пути повышения точности инструментальных сейсмических шкал.

1. Прежде всего, источник погрешностей следует искать в неоднородности экспериментального материала, на котором основана шкала. В частности, ошибки возникают при совместной обработке данных, полученных с помощью сейсмографов, велосиграфов и акселерографов (сейсмографом мы будем называть установку, позволяющую записывать смещения грунта). Действительно, при расчете величины ускорения a по значению смещения A часто используется допущение о возможности аппроксимации сейсмического сигнала синусоидой. При таком допущении связь между функцией $F(t)$ и ее производными ищут в виде

$$F'_{\text{макс}}(t) = \frac{2\pi F_{\text{макс}}(t)}{T_0}; \quad F_{\text{макс}}(t) = \frac{F'_{\text{макс}}(t) \cdot T_1}{2\pi}; \quad (1)$$

$$F''_{\text{макс}}(t) = \frac{4\pi^2 F_{\text{макс}}(t)}{T_0^2}; \quad F_{\text{макс}}(t) = \frac{F''_{\text{макс}}(t) \cdot T_2^2}{4\pi^2}, \quad (2)$$

где T_0 , T_1 , T_2 — видимые периоды, соответствующие максимальным значениям функции $F(t)$ и ее производным $F'(t)$ и $F''(t)$ соответственно. Существенно, что и при дифференцировании и при интегрировании по этим формулам результат оказывается заниженным. Допустим, что ошибки в обоих случаях одинаковы, т. е.

$$\frac{F_{расч}}{F} = \frac{F_{расч}}{F^*},$$

тогда из (1) получим

$$\frac{F_{расч}}{F} = \frac{F_{расч}}{F^*} = \sqrt{\frac{T_1}{T_0}}.$$

Аналогично из (2) получим

$$\frac{F_{расч}}{F} = \frac{F_{расч}}{F^*} = \frac{T_2}{T_0}.$$

Таким образом, различие в видимых периодах смещения и его производных может служить критерием погрешности. По данным Дж. Виггинса [6] о максимальных значениях амплитуд смещений, скоростей и ускорений при сильных землетрясениях мы оценили величину таких различий (рис.1). Из рисунка следует, что при дифференцировании реального сейсмического сигнала происходит заметный сдвиг максимума спектра в сторону высоких частот. Прямое сравнение видимых периодов для смещений и ускорений (рис. 2) произведено по материалам Б. Гутенберга и Ч. Рихтера [1]. На графике хорошо видно искажающее влияние короткопериодной аппаратуры для записи смещений сплошной линией, которая, по словам авторов, приближалась к велосиграфу.

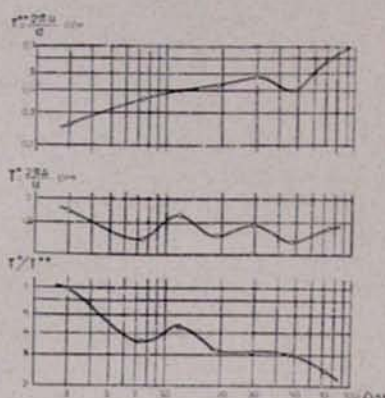


Рис. 1. Периоды колебаний, рассчитанные по данным Дж. Виггинса об амплитудах смещения A , скорости u и ускорения a . Кругами обозначены средние значения

Итак, применение формул вида (1) и (2) к реальным сейсмическим сигналам приводит к занижению результата, причем величина ошибки зависит от формы спектра. Ошибка достигает 25% даже в случае простых по форме колебаний, когда $T_0 \approx T_1$.

Поскольку формулы вида (1) и (2) применяются довольно часто, литературные данные должны использоваться с большой осторожностью. С этих позиций мы рассмотрели инструментальную сейсмическую шкалу С. В. Медведева, построенную по 393 экспериментальным точкам, соответствующим диапазону $I=5-8$ баллов. Для 124 точек приводятся фотокопии акселерограмм. Остальные точки, очевидно, получены по акселерограммам худшего качества и, возможно, определены по записям скоростей и смещений с использованием формул вида (1) и (2).

Оставляя только надежные данные (124 замера, произведенные на акселерограммах), получаем следующие результаты (рис. 3). Разброс данных уменьшился примерно вдвое и за единичными исключениями не превышает 1/4 балла, что соответствует точности описательной части сейсмической шкалы. Уменьшение дисперсии для выборки говорит о том, что совокупность данных, использованных при составлении шкалы, не являлась однородной. Отброшенные данные имеют в среднем меньшие значения, что

также подтверждает неоднородность первоначальных данных. Отметим, что исправленная шкала согласуется с данными Д. Н. Рустановича об ускорениях при сильных землетрясениях.

Шаг шкалы несколько увеличился: приросту интенсивности на один балл согласно исправленной шкале соответствует возрастание ускорения в 2,4 раза. Это значение близко к результатам, полученным Б. Гутенбергом и Ч. Рихтером, И. Ф. Абаркой, С. В. Пучковым и др.

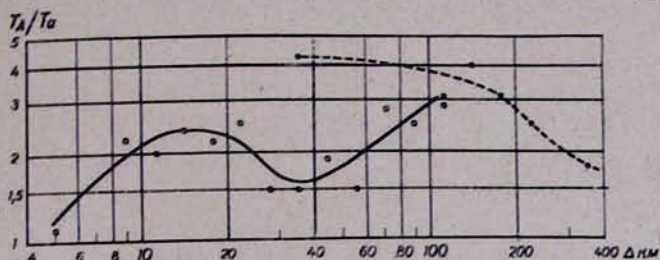


Рис. 2. Соотношение периодов смещений и ускорений по данным Б. Гутенберга и Ч. Рихтера (обработка наша). Светлыми и заштрихованными кружками обозначены средние значения, причем, светлым кружкам соответствуют случаи использования для записи смещений короткопериодной аппаратуры

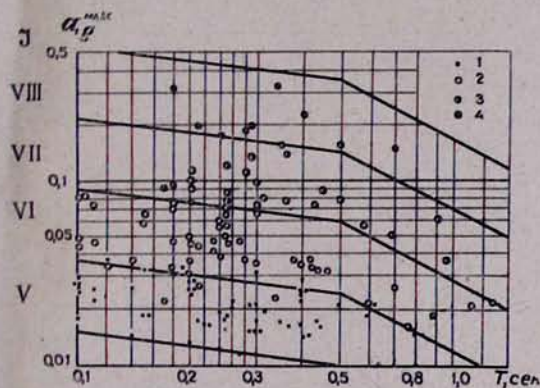


Рис. 3. Соотношение между сейсмической интенсивностью, максимальным значением ускорения на одной компоненте и периодом колебаний. Макросейсмическая оценка интенсивности землетрясений: 1—5 баллов; 2—6 баллов; 3—7 баллов; 4—8 баллов

Лучшие результаты получаются, если допустить, что на периодах, меньших $T=0,5$ сек, значения ускорений a , характеризующих данный балл, не остаются постоянными, а изменяются по закону $a \sim T^{-0,25}$.

Дальнейшее повышение точности инструментальной шкалы связано с учетом других параметров сейсмических волн (длительность колебаний, поляризация, особенности спектра, угол похода волны и т. д.), а также с учетом рельефа и физико-механических свойств грунта.

Остановимся на влиянии длительности колебаний. Важность этого фактора отмечают многие исследователи, однако экспериментально подтвердить это никому не удалось [3]. Причина противоречия кроется в том, что рассматривалась абсолютная продолжительность колебаний, в то время как по физическим соображениям следует учитывать относительную продолжительность колебаний. Последняя (ширина импульса τ_0) определяется временем, в течение которого амплитуда сейсмического сигнала $a(t)$ удовлетворяет условию $|a| > \delta |a_{\max}|$, ($0 < \delta < 1$). Промежутки времени между экстремумами одного знака при этом не должны превышать $\Delta t = nT$, где T —видимый период, соответствующий максимальной амплитуде. В данном случае было принято $\delta = 0,5$, $n = 2$.

Относительная и абсолютная продолжительность колебаний имеют совершенно различный физический смысл и эти понятия ни в коем случае нельзя смешивать. Во избежание путаницы рекомендуется вместо термина „относительная продолжительность колебаний“ пользоваться термином „ширина импульса“.

Возможны и другие определения ширины импульса, близкие по смыслу к использованному нами [4].

2. Известно, что амплитуды в колебательных системах могут быть существенно больше амплитуд вынуждающих колебаний, причем прирост амплитуды зависит от продолжительности колебаний. При использовании сейсмометров этот фактор учитывается автоматически. В инструментальных сейсмических шкалах этот фактор не учитывают из-за сложности вычислений. Однако расчеты можно упростить, заменив простой моделью не только сооружение, но и сейсмическое движение грунта. Пиковое значение ускорения, умноженное на поправочный коэффициент (зависящий от числа экстремумов на участке, соответствующем ширине импульса), является более надежным критерием интенсивности сотрясения. Ориентировочные значения таких коэффициентов в табл. 1.

Таблица 1

Ориентировочные значения поправочных коэффициентов к наблюдаемым амплитудам ускорения

Число экстремумов	1	2	3	4	5	6	7
k	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0

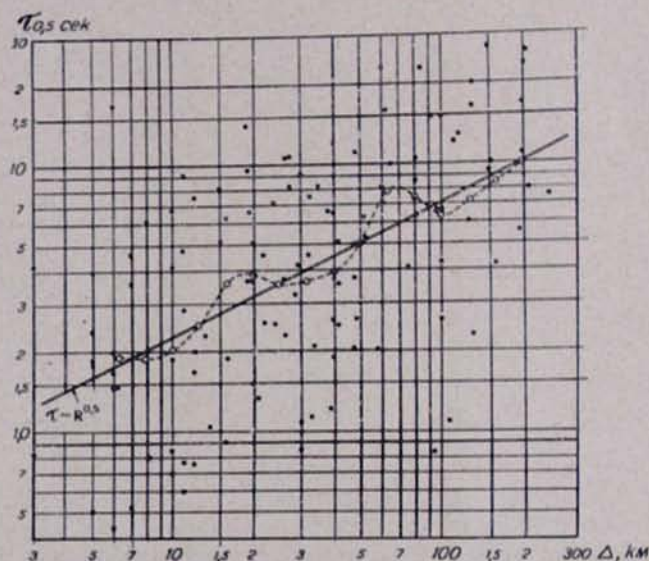


Рис. 4. Зависимость ширины импульса от эпицентрального расстояния. Затемненные кружки—отдельные измерения, светлые кружки—средние значения

3. Возрастанье амплитуды колебаний в сооружениях практически прекращается после нескольких циклов. Однако влияние длительности

колебаний на сейсмический эффект сказывается не только в увеличении амплитуды колебаний. Действительно, в эпицентральной зоне инструментальные шкалы, как правило, завышают интенсивность, и на больших расстояниях—занижают [5]. Очевидно, кроме амплитуд и периодов на сейсмический эффект оказывают влияние такие факторы, роль

которых увеличивается с эпицентральной дистанцией. Одним из таких факторов является ширина импульса (рис. 4). Ниже приводится пример построения сейсмической шкалы, учитывающей влияние ширины импульса (рис. 5). Преимущество этого метода заключается в простоте измерений (на акселерограммах определить период иногда просто невозможно). Ошибки измерения ширины импульса меньше влияют на результат, чем ошибки измерения периодов.

Итак, точность инструментальных шкал сейсмической интенсивности может быть повышена при правильном отборе экспериментального материала и привлечении дополнительных сведений о пара-

метрах сейсмических свойств грунта. Показана целесообразность учета ширины импульса и числа колебаний, соответствующих ширине импульса.

Ордена Ленина Институт
физики Земли АН СССР

ЛИТЕРАТУРА

1. Гутенберг Б., Рихтер Ч. Магнитуда, интенсивность, энергия и ускорение как параметры землетрясений. Сб. «Слабые землетрясения», ИЛ, 1961.
2. Медведев С. В. Ускорения колебаний грунта при сильных землетрясениях. Тр. ИФЗ, № 10 (177), 1960.
3. Медведев С. В. Международная шкала сейсмической интенсивности. Сб. «Сейсмическое районирование СССР», Изд. «Наука», 1968.
4. Харкевич А. А. Спектры и анализ. § 12, Физматгиз, 1964.
5. Neuman F. Earthquake intensity and related ground motion. Univ. of Wash. Press., 1954.
6. Wiggins J. H. Effect of site considerations on earthquake intensity. J. of the Structural Division, ST 2, 1964.

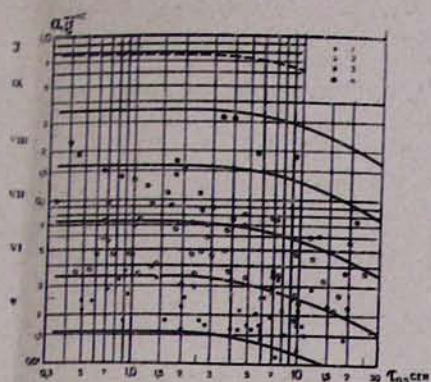


Рис. 5. Пример построения сейсмической шкалы, учитывающей ширину импульса. Условные обозначения как на фиг. 3