

ПАРАМЕТРЫ ОГИБАЮЩИХ РАСЧЁТНЫХ АКСЕЛЕРОГРАММ ДЛЯ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ КРЫМА

Изучены зависимости временных параметров акселерограмм от энергии землетрясения и гипоцентрального расстояния. Сделаны выводы о необходимости учёта временных характеристик при масштабировании акселерограммы исходного землетрясения на расчётный энергетический уровень.

Ключевые слова: синтетическая акселерограмма; огибающая; ширина импульса; длительность колебаний.

Крым относится к региону с умеренной сейсмичностью, т. е. в Крыму возможны сильные разрушительные землетрясения, но происходят они относительно редко, что не позволяет создать базу акселерограмм местных сильных землетрясений. Поэтому для проведения расчётов устойчивости зданий прямым динамическим методом возникает необходимость использовать синтетические акселерограммы.

Применяемый в настоящее время в Крыму метод расчёта акселерограмм сильных движений путём масштабирования на высокий энергетический класс и пересчёта на исследуемую площадку строительства записей реальных слабых землетрясений описан в работе [Пустовитенко и др., 2010]. Ключевым этапом этого метода является выбор из имеющихся сейсмограмм относительно слабых сейсмических событий записей “типичных” землетрясений, зарегистрированных на ближайшей сейсмической станции к исследуемому объекту строительства. “Типичное” землетрясение должно удовлетворять ряду условий: очаг землетрясения должен находиться в районе ближайших сейсмогенерирующих структур, способных сгенерировать землетрясение расчётной интенсивности на площадке строительства, а также параметры этого землетрясения должны попадать в интервал среднеквадратичных отклонений относительно линии аппроксимации эмпирических зависимостей спектральных и временных динамических параметров от энергетического класса для выбранной очаговой зоны. Однако интервал допустимых отклонений в зависимостях временных характеристик записей землетрясений от энергетических величин является очень широким. Например, если рассмотреть зависимость $\lg \tau_{1/3}(M_{LH})$ [Пустовитенко и др., 2011], то можно заметить что при $M_{LH}=7$ интервал допустимых значений длительности максимальных колебаний составляет $\tau_{1/3}=4+100$ с, т. е. минимальное и максимальное допустимое значение различаются на два порядка. Таким образом, любая взятая запись землетрясения из ближайших сейсмогенерирующих структур будет гарантировано удовлетворять эмпирическим зависимостям временных характеристик записи от энергетических величин, и, фактически, при выборе “типичных” записей

землетрясений временные параметры можно не принимать во внимание.

Для проверки этого, были рассмотрены временные характеристики акселерограмм, рассчитанных по записям 19-ти землетрясений на с/ст. “Ялта” в период с 2002 по 2010 гг., эпицентры которых находились в Ялтинском и Алуштинском районах Крымско-Черноморского сейсмоактивного региона [Пустовитенко и др., 1989]. Для рассчитанных акселерограмм исходных землетрясений строилась зависимость длительности колебаний (уровня выше 10% от максимума) D_{10} от энергетического класса K и гипоцентрального расстояния Δ_H для горизонтальных и вертикальных компонент отдельно. Затем исходные акселерограммы пересчитывались для прогнозной интенсивности $I=8$ на площадке с/ст. “Ялта”. Анализировались следующие параметры акселерограмм: ширина импульса (продолжительность колебаний уровня выше 0.5 от максимума) d и нормированное время нарастания от уровня $0.5A_{max}$ до $A_{max} - t_i$ (измеряется в долях от ширины импульса; нормированное время спада уровня равно $t_d=1-t_i$). Эти параметры выбраны для измерения потому, что они используются для задания огибающих акселерограмм [Аптикаев, Эртелева, 2002]. Определялись зависимости этих параметров от Δ_H и моментной магнитуды M_W , соответствующей $I=8$ на площадке с/ст. “Ялта” для рассматриваемого землетрясения.

При рассмотрении зависимостей временных параметров акселерограмм от K или M_W видно, что хотя наблюдается тенденция увеличения значений временных параметров с ростом энергии землетрясения, зависимость слабо выраженная. Разброс значений довольно велик и концентрации значений у аппроксимирующей линии не наблюдается. Если разбить значения по группам в зависимости от Δ_H (по 20 или 30 км), то тенденция роста не становится более выраженной и вообще теряется из-за недостатка числа значений при большом их разбросе. Пример зависимости $D_{10}(K)$ для горизонтальных компонент приведён на рис. 1. Зависимость можно аппроксимировать формулой $D_{10}=3.024K-10.923$; при этом величина достоверности аппроксимации очень мала: $R^2=0.173$.

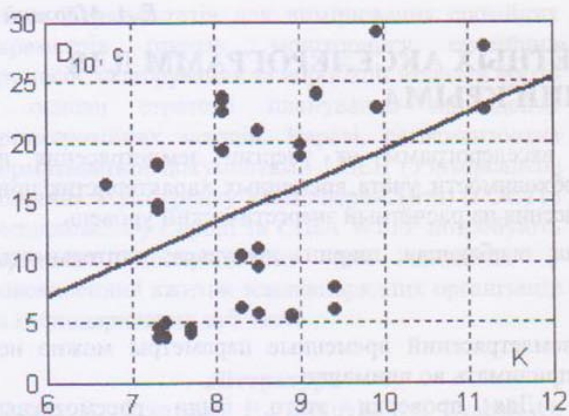


Рис. 1. Зависимость длительности акселерограммы от энергетического класса

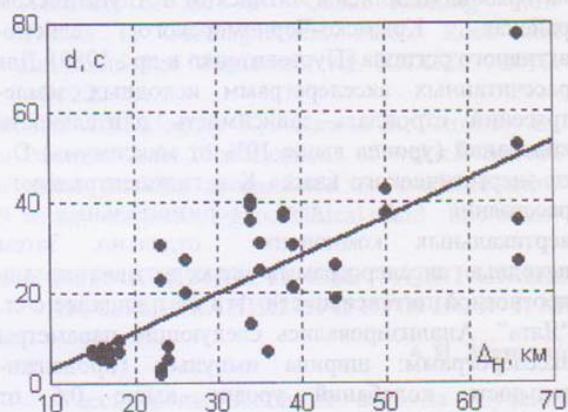


Рис. 2. Зависимость ширины импульса от гипоцентрального расстояния

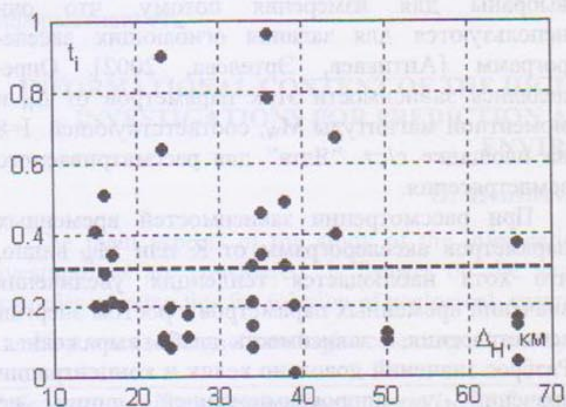


Рис. 3. Зависимость времени нарастания уровня от гипоцентрального расстояния

Зависимости временных параметров от Δ_H напротив выражены достаточно чётко. На рис. 2 приведён пример зависимости $d(\Delta_H)$ для горизонтальных компонент. Зависимость можно аппроксимировать формулой: $d=0.844\Delta_H-5.771$; при этом величина достоверности аппроксимации: $R^2=0.584$. При рассмотрении зависимостей от эпицентрального расстояния или глубины очага

тенденция роста также наблюдается, но величина достоверности аппроксимации при этом ниже.

Установить зависимость нормированного времени нарастания (и, соответственно, спадания) от энергетических характеристик или расстояний не удалось. Очевидно, что t_i определяется механизмом очага и направленностью излучения конкретного землетрясения. Хотя значения t_i в рассматриваемых расчётных акселерограммах принимали практически весь диапазон возможных значений ($t_i=0.01\div 0.99$) можно отметить концентрацию вблизи средних значений. Среднее значение t_i для горизонтальных компонент колебаний составило 0.30, а для вертикальных – 0.32. Эти значения очень близки к средним мировым оценкам величины t_i [Аптикаев, Эртелева, 2002]. Пример попытки определения зависимости $t_i(\Delta_H)$ для горизонтальных компонент приведён на рис. 3. Пунктирной линией указано среднее значение в распределении t_i .

На основании полученных данных была рассчитана зависимость $d(M_w, \Delta_H)$ для горизонтальных компонент колебаний:

$$d = 3.5M_w + 0.78\Delta_H - 25.9. \quad (1)$$

Среднее квадратичное отклонение эмпирически полученных значений от аппроксимирующей прямой составляет 10.75 с, т. е. эта формула может быть использована для грубой оценки ширины импульса ускорения.

Учитывая вышеизложенное, можно сделать вывод, что при выборе “типичных” записей землетрясений достаточно подобрать запись, удовлетворяющую известным зависимостям спектральных параметров от энергетических величин; практически любая выбранная запись будет удовлетворять зависимостям временных параметров от энергетических величин вследствие широкого интервала допустимых отклонений. При выборе “типичной” записи для масштабирования на высокий энергетический уровень и пересчёта на исследуемую площадку из нескольких имеющихся, следует выбирать запись с большей шириной импульса, поскольку длительность максимальных колебаний может дать значительный вклад в приращение сейсмической интенсивности при прочих равных параметрах [Аптикаев, Шебакин, 1988].

Исследуемые площадки, для которых проводятся расчёты синтетических акселерограмм находятся, как правило, на небольшом расстоянии от сейсмических станций, на которых регистрируются исходные землетрясения. Таким образом, гипоцентральные расстояния между очагом исходного землетрясения и станцией, а также между очагом и исследуемой площадкой строительства примерно равны. При этом синтетическая акселерограмма будет удовлетворять зависимостям временных параметров от расстояний автоматически. В случае, если в качестве “типичного” используется близкое

землетрясення, і відстань між досліджуваною площадкою і с/ст. порівняно з гіпоцентральною, необхідно вводити поправки на форму огинаючої.

Нормированное время нарастания импульса может принимать весь диапазон доступных значений, при этом конкретное значение t_i не оказывает воздействия на разрушительный эффект землетрясения при заданном d , и поэтому может не приниматься во внимание при выборе "типичной" записи.

Если использовать методы построения синтетических акселерограмм не связанные с масштабированием реальных записей относительно слабых землетрясений, на основании полученных данных возможна оценка формы огинающей расчетного землетрясения для последующего заполнения колебаниями, удовлетворяющими спектральным зависимостям. Поскольку среднее значение t_i в распределении по эмпирическим данным близко к среднемировому значению $t_i=1/3$, можно использовать для описания огинающей простую формулу [Аптикаев, Эртелева, 2002]:

$$A = A_{\max} \frac{3td}{9t^2 - 9td + 4d^2}, \quad (2)$$

в которой t – текущее время, а параметр d можно рассчитать, используя эмпирические зависимости вида (1).

ПАРАМЕТРИ ОГИНАЮЧИХ РОЗРАХУНКОВИХ АКСЕЛЕРОГРАМ ДЛЯ ЗЕМЛЕТРУСІВ КРИМУ

Є.О. Мержей

Вивчено залежності часових параметрів акселерограм від енергії землетрусу і гіпоцентрального відстані. Зроблено висновки про необхідність врахування часових характеристик при масштабуванні акселерограми вихідного землетрусу на розрахунковий енергетичний рівень.

Ключові слова: синтетична акселерограма; огинаюча; ширина імпульсу; тривалість коливань.

PARAMETERS OF CIRCUMFLEX OF CALCULATED ACCELEROGRAMS FOR EARTHQUAKES OF CRIMEA

E. Merjey

The dependence of the temporal parameters of the energy of the earthquake accelerograms and hypocentral distance. The conclusions about the need to consider the temporal characteristics of the original scaling accelerograms for the earthquake calculated energy level.

Keywords: synthetic accelerogram; circumflex; width of impulse; duration of vibration.

Отдел сейсмологии ИГФ НАН Украины, г. Симферополь

Литература

- Аптикаев Ф.Ф., Шебакин Н.В. Уточнение корреляций между уровнем макросейсмического эффекта и динамическими параметрами движения грунта // Исследования по сейсмической опасности (Вопросы инженерной сейсмологии, вып.29), – М: Наука, 1988.–С.98-107.
- Аптикаев Ф.Ф., Эртелева О.О., Генерирование искусственных акселерограмм методом масштабирования реальных записей // Физика земли. – М. – 2002. – №7. – С. 39-45.
- Пустовитенко Б.Г., Калинин И.В., Мержей Е.А., Пустовитенко А.А. Методология и методические основы моделирования сейсмических воздействий на высотные здания в Крыму // Будівельні конструкції: зб. наук. праць.-К.:ДП НДІБК, 2010. – Вип. 73.-С.316-323.
- Пустовитенко Б.Г., Калинин И.В., Мержей Е.А., Моделирование прогнозных сейсмических воздействий сильных землетрясений Крыма // Будівництво та техногенна безпека: зб. наук. праць.-Симферополь:НАПКС, 2011. – Вип. 35.-С.104-111.
- Пустовитенко Б.Г., Кульчицкий В.Е., Горячун А.В. Землетрясения Крымско-Черноморского региона // – К.: Наук. думка. – 1989. – 192 С.

$$(1) \quad \left(\frac{\Delta v - v \Delta x}{\Delta} \right) \frac{K}{1} = \frac{v}{1} \chi = \bar{v}$$