

УДК 550.34

DOI: 10.23671/VNC.2014.1.55404

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТА ЗАТУХАНИЯ УСКОРЕНИЯ ГРУНТА

© 2014 В.Г. Григорян, к.ф.-м.н.

Институт геофизики и инженерной сейсмологии им. А. Назарова НАН РА,
3115, г. Гюмри, ул. В. Сарксяна, 5; e-mail: iges@sci.am

На основе сравнительного анализа и сопоставлений существующих моделей затухания эффекта землетрясения аргументирована и обоснована целесообразность использования для практических задач более простых (универсальных) моделей $A_{\max} = F(M, R)$.

С использованием большого объема экспериментальных данных о сильных и разрушительных землетрясениях, происшедших в регионе, определены коэффициенты заданной универсальной модели, которую рекомендуется использовать как наиболее приемлемую для территории Армении.

Ключевые слова: очаг землетрясения, эпицентральный расстояние, акселерограмма.

Для наиболее объективной оценки сейсмической опасности и риска, как больших территорий, так и отдельных городов, населенных пунктов и площадей (в том числе и площадей особо ответственных объектов) необходимо по возможности точно прогнозировать количественные параметры колебаний почвы при сильных землетрясениях [Григорян, 2010].

От степени обоснованности методов оценки сейсмической опасности в количественных характеристиках сильных движений грунта в значительной мере зависят масштабы социально-экономического ущерба причиняемого землетрясениями.

В настоящее время усилиями ученых разных стран мира разработаны отдельные аспекты прогноза сейсмических воздействий, сформулированы некоторые теоретические и практические методы. На основе инструментальных наблюдений за сильными движениями грунта изучены общие закономерности связи параметров колебаний с характеристиками очагов землетрясений, региональными геологическими условиями. Однако, проблема установления специфики проявления сейсмических воздействий, обусловленной в комплексе, как конкретными сейсмотектоническими условиями очаговых зон, так и локальными инженерно-геологическими условиями площадок строительства, пока не решена.

Для Армении эта проблема имеет особое значение в силу того, что, во-первых, вся территория республики, включая столицу, находится в зоне, подверженной сотрясениям интенсивностью 8-9 и более баллов и, во-вторых, мы практически не располагаем записями сильных и разрушительных землетрясений.

Обычно к вопросу параметрического описания количественных показателей сейсмических колебаний подходят с той позиции, чтобы система параметров была независимой: позволила задать воздействие, как во временной, так и в спектральной форме; отражала наиболее важные и употребляемые с инженерной точки зрения компоненты колебательного процесса.

Амплитудный уровень, продолжительность и спектральный состав ускорений (смещений, скоростей) являются важнейшими параметрами сейсмического воздей-

ствия.

В настоящей работе проведен сравнительный анализ существующих некоторых моделей эффекта затухания землетрясения и возможность их применения для территории Армении.

Эффект затухания ускорения грунта исследовался многими специалистами [Аптикаев, 2001; Штейнберг, 1986; Штейнберг, 1990; Bozoerqinia, Niazi, 1993; Campbell, 1981; Campbell, 1988; Esteva, Rosenblueth, 1964; Fukushima, Tanaka, 1990; Joyner, Boore, 1981; Smit and esc, 2000; Yamazaki, 1993] и др.

Некоторые, наиболее известные, зависимости $A_{max} = f(M, R)$ приводятся также в [Григорян, 2003; Хачиян, 2008; Штейнберг, 1993].

В работе [Штейнберг, 1986], в частности, Штейнберг В.В. отмечает, что исходя из особенностей колебаний в ближней и дальней зонах, Кемпбелл предлагает два основных типа зависимости максимальных ускорений от M и R :

$$\lg A_{max} = a + bM - a \lg (C_1/R^2 + C_2/R) + \lg R; \quad (1a)$$

$$A_{max} = a \exp (b M) R^{-d}. \quad (1б)$$

Здесь в (1a) члены C_2R и C_1R^2 описывают геометрическое расхождение в ближней и дальней зонах, а по (1б) подчеркивается экспоненциальная зависимость уровня ускорений от магнитуд.

Следует отметить, что разброс значений A_{max} в сейсмостатистических оценках довольно значительный, достигающий 0,2-0,4 лог. ед., что связано со многими трудно-учитываемыми факторами: представительность выборки, использованная методика обработки и т. д.

Рассмотрим зависимости $A_{max} = f(M, R)$ наиболее, на наш взгляд, известные и более употребляемые. Все они были получены на достаточно большом и представительном материале. Это модели:

$$1. A_{max} = 13,5 \exp (0,896 M) R^{-1,0} \text{ no [6];}$$

$$2. \lg A_{max} = a + b (M - 6) + C (M - 6)^2 + d \lg R + KR + S,$$

$$\text{где } R = (R_o^2 + h^2)^{1/2} \text{ no [Joyner, Boore, 2011];}$$

$$3. \ln y = a + bM_s + d \ln [r + h_1 \exp (h_2 M_s)] + kr + S \text{ no [Campbell, 1988];}$$

$$4. \lg A_{max} = b M - \lg (R_p + C 10^{0,41 M}) - d R_p + S \text{ no [Fukushima Y. and Tanaka, 1990].}$$

Все вышеприведенные зависимости рассмотрены в однородных системах параметров: для максимальной амплитуды на максимальной горизонтальной компоненте.

Относительную применимость приведенных мировых соотношений можно оценить на основе сопоставления значений ускорений (или же кривых $A_{max} = f(M, R)$) с ускорениями (или с кривыми $A_{max} = f(M, R)$) наблюдаемыми (или полученными) при конкретных землетрясениях для изучаемого региона.

Такая постановка задачи позволила нам в [Григорян, 2003] с некоторой вероятностью и точностью (ибо она осуществлялась на достаточно скудном собственном экспериментальном материале) рассмотреть возможность использования зависимости Штейнберга В.В. [Штейнберг, 1990] применительно к территории Армении – правда, в ограниченных диапазонах расстояний.

Анализ подтверждает вывод многих специалистов об общности закономерностей затухания ускорений в разных регионах мира. Более того – наблюдается некоторая тенденциозность использования из всего набора существующих моделей $A_{\max} = f(M, R)$ некоторых, считающихся более достоверными, информативными и т. д.

Таковыми, например, считаются модели Бура – Джойнера, Кэмпбелла, Фукушимы – Танаки и др.

Вместе с тем существует ряд сложностей при прямом использовании даже таких «достоверных» моделей.

Рассмотрим подробно из этой позиции, например, модель Кэмпбелла [Campbell, 1981].

К. Кэмпбелл получил соотношения $A_{\max} = f(M, R)$ в результате анализа данных по многим районам мира. Взяты средние значения A_{\max} по двум горизонтальным компонентам (в долях g). Рассмотрены относительно неглубокие очаги с нижней кромкой на глубине 25 км, использованы записи на близких расстояниях – $R < 50$ км.

Оценки A_{\max} приписываются к рыхлым аллювиальным грунтам III категории. Выражение, отражающее зависимость $A_{\max} = f(M, R)$ имеет вид:

$$\ln y = a + bM_s + d \ln [r + h_1 \exp(h_2 M_s)] + kr + S, \quad (2)$$

где значения коэффициента S рассчитываются по формуле:

$$S_a = e_1 K_1 + e_2 K_2 + e_3 K_3 + e_4 K_4 + e_5 K_5 + e_6 (K_4 + K_5) \operatorname{tg}(e^{-r}). \quad (3)$$

Значения коэффициентов уравнения (3) приводятся в табличной форме [Штейнберг, 1993].

Данная модель, учитывающая, по возможности, достаточное количество факторов и имеющая большой статистический вес, на первый взгляд, может представляться безупречной. Однако, непосредственное ее применение для какого-либо конкретного региона, например, для территории Армении, может привести к некоторым, мягко говоря, затруднениям и неопределенностям.

Так, фигурирующие в уравнении (3) коэффициенты K_i в наборе первичного экспериментального материала задаются для условий, учитывающих такие факторы, как тип источника (коэффициент – K_1); направленность разрыва (коэффициент – K_2); тип грунтов – K_3 ; условия установки приборов (коэффициенты K_4 и K_5). Очевидно, что не всегда они могут быть известны или установлены. Поэтому более простые, может быть, в какой-то степени «грубые» модели (например, выше упомянутая модель В.В. Штейнберга) иногда могут быть более приемлемыми и целесообразными (особенно при практических задачах), нежели выше рассмотренная и ей подобные модели.

Нам представляется, что использование более простых моделей, описывающих эффект затухания ускорений (смещений, скоростей) иногда оказывается более целесообразным исходя из следующих соображений. Во-первых, как отметили выше, какая бы модель не была использована, разброс значений ускорений в сейсмостатистических оценках, ввиду известных причин, довольно значительный – $0,2 \div 0,4$ лог. ед.

Во-вторых, в некоторых практических задачах (в частности, при картировании значений A_{\max} , в нормативных документах и т. д.) вполне приемлемы и те точности оценок A_{\max} , которые можно получить и по более простым моделям.

И, наконец, в универсальных моделях сравнительно легко можно ввести поправки коэффициентов на базе существующего, порой не очень богатого фактиче-

ского материала, соблюдая при этом, по возможности, принцип сеймотектонической аналогии.

Часто исходят из того, что возможный учет большого количества факторов позволяет значительно повысить достоверность прогнозируемых оценок A_{max} . Однако, такая позиция не совсем безупречна: необходимо учесть, что каждый дополнительный фактор содержит свои ошибки (или же они характеризуются лишь качественно) и тогда мы поневоле приходим к сумме слагаемых ошибок.

Очень важно еще иметь в виду тот факт, что сами величины ускорений, при одних и тех же очаговых параметрах, иногда варьируют в таких немислимых пределах, что порой перекрывают необходимость учета «дополнительных факторов».

Но, а наиболее важные факторы, какими, например, являются механизм очага, грунтовые условия места регистрации и др., можно учитывать на стадии группирования исходного экспериментального материала.

Поэтому, как отметили выше, в большинстве случаев, для практического применения вполне пригодны более простые модели.

Из ныне существующих наиболее простых и универсальных кривых эффекта затухания ускорения грунта, можно выделить модели, предлагаемые Амбрасейсом и Боммером – для европейского континента [Ambraseys and Bommer, 1991]; Буром и Джойнером – для западной Америки и Фукушимой и Танаки – для Японии [Yamazaki, 1993]. Они подробно описаны также в монографии [Хачиян, 2008].

Эти зависимости в общем виде представляются следующей формулой:

$$\lg A_{max} = \alpha + \beta M - n_0 \lg R' + bR' + \sigma P. (4)$$

Здесь $R' = (R^2 + h_0^2)^{1/2}$, где R – эпицентральный расстояние, h_0 – глубина очага, а значения α , β , n_0 , b , σ для каждого региона приводятся отдельно.

На базе этой модели нами осуществлен расчет коэффициентов α , β , b , используя данные примерно 150 записей землетрясений.

Таблица 1

**Значения A_{max} (в долях g) для разных M и R
(без учета стандарта отклонения)**

M	R (км)									
	5,0	7,5	10,0	12,5	15,0	17,5	20,0	22,5	25,0	30,0
5,0	0.181	0.154	0.128	0.105	0.086	0.071	0.059	0.049	0.041	0.029
6,0	0.382	0.325	0.270	0.222	0.182	0.150	0.125	0.107	0.087	0.062
7,0	0.807	0.686	0.570	0.468	0.385	0.317	0.263	0.219	0.183	0.130

Большинство из них – записи (акселерограммы), случившихся в регионе землетрясений за период 1980-2008 гг. (Армения, Грузия, Турция, Иран). Очаги всех подобранных землетрясений находятся в пределах $h < 25$ км (в большинстве случаев $5 \div 15$ км). Значения и тип магнитуд приводятся по первоисточникам (в большинстве случаев – это магнитуды M_L – определенные по поверхностным волнам).

Данные о землетрясениях были взяты из опубликованных и размещенных на сайтах сводок, в том числе из сводок Национальной службы сейсмической защиты (НССЗ) РА.

Диапазон значений магнитуд варьировал в пределах $4,4 \div 7,4$.

При наличии сведений фиксировались и инженерно-геологические условия места регистрации (преимущественно они относятся к рыхлым грунтам – категории II-III).

Ниже приведены рассчитанные значения коэффициентов корреляции для формулы (4):

$\alpha = -1,1281$; $\beta = 0,3243$; $b = -0,0167$; n_0 , как и в [Yamazaki, 1993] – принят равным 1,0.

Значения A_{max} выражены в долях (g) σ – стандарт функции $\lg A_{max}$ (в данном случае он равен 0,267 лог. ед.) а P – постоянная, равная единице (определения A_{max} соответствуют надежности оценок 75%).

С целью получения сравнительно стабильных оценок кривых затухания на данном этапе рассматривались записи только на близких расстояниях. Более детальное изучение зависимостей $A_{max} = f(M, R)$ показывает, что они в разных интервалах имеют неодинаковый характер и не могут быть описаны простыми аналитическими выражениями.

Расчетная кривая затухания ускорений для условий $M=6,0$; $h_0 = 10$ км, представлена на рисунке (кривая-1). На том же рисунке приведено сопоставление этой кривой с аналогичными универсальными кривыми, полученные авторским коллективом [Smit and esc., 2000] по данным землетрясений Кавказа и прилегающих регионов – кривая-2 и для запада США [Joyner, Boore, 1981] – кривая-3.

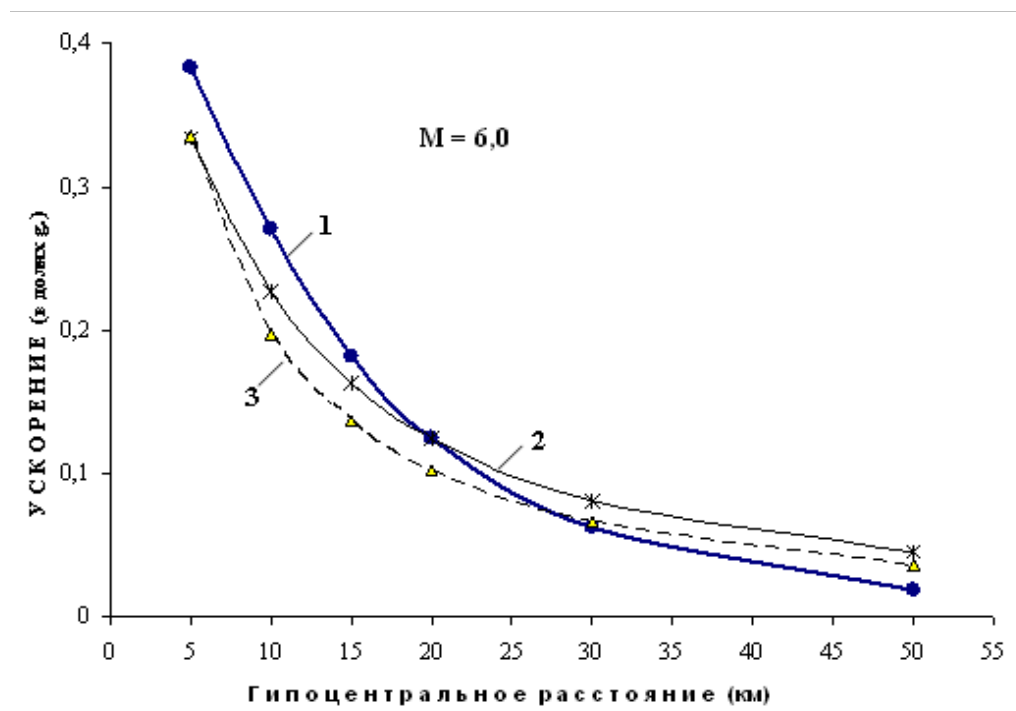


Рис. 1. Сопоставление кривых затухания A_{max} полученные: 1-автором; 2-Smit P., Arzumanyan V.; 3-Joyner W., Boore D. ($M=6,0$, $h_0=10$ км).

Отметим, что диапазон рассмотренных величин M и R в [Smit and esc., 2000] колеблется в пределах $4 < R < 230$ км; $M=4,0 \div 7,0$, а глубина очагов землетрясений принята равной 4,5 км. В нашем случае $h_0 = 10$ км, а расстояния ограничены в пределах очаговой зоны – $R < 50$ км.

Сравнение показывает, что в нашем случае кривая затухания ускорений (кривая-1) на близких расстояниях по уровню несколько превышает уровни кривых 2 и 3. Кроме того она характеризуется сравнительно быстрым затуханием ускорений.

Характерной особенностью полученной нами модели $A_{\max} = f(M, R)$ является то, что она построена на достаточно однородном экспериментальном материале с использованием региональных данных. Привлечение данных о землетрясениях, зарегистрированных на больших расстояниях, позволит в дальнейшем иметь наиболее представительные виды кривых затухания A_{\max} .

Заключение

1. На основе сравнительного анализа и сопоставлений существующих моделей затухания эффекта землетрясения аргументирована и обоснована целесообразность использования более простых (универсальных) моделей при решении практических задач инженерной сейсмологии.

2. На базе сравнительно однородного материала по сильным землетрясениям, происшедших в регионе (Армения, Грузия, Турция, Иран) за последние 20-30 лет, определены коэффициенты для заданной универсальной модели.

3. Полученную зависимость $A_{\max} = f(M, R)$ рекомендуется использовать для территории Армении при решении практических задач: оценка сейсмической опасности и риска (в том числе территории ответственных объектов).

Литература

1. Аптикаев Ф.Ф. Сильные движения грунта при землетрясениях. Автореф. дисс. на соиск. уч. ст. доктора. физ.-мат. наук. М.: 2001, 47 с.
2. Григорян В.Г. О зависимостях ускорений колебания грунтов при сильных землетрясениях. Некоторые региональные особенности. НАН РА, Науки о Земле, Ереван, 2003, том 56, №2, с. 47-50.
3. Григорян В.Г. Принципиальные аспекты составления карт сейсмического риска разрушений (на примере г. Гюмри после землетрясения 7.12.1988 г.). Проблемы сейсмологии в Узбекистане, №7, Ташкент, 2010, с. 71-75.
4. Хачиян Э. Прикладная сейсмология. Ереван, Изд-во «Гитутюн» НАН РА, 2008 г., 491 стр.
5. Штейнберг В.В. Параметры колебаний грунтов при сильных землетрясениях. Детальные инженерно-сейсмологические исследования. Вопросы инж. сейсм., вып. 27. М., Наука, 1986. с. 7-22.
6. Штейнберг В.В. Колебания грунта при землетрясениях. Вопросы инж. сейсм., №31, М., Наука, 1990, с. 47-67.
7. Штейнберг В.В., Сакс М.В., Аптикаев Ф.Ф. и др. Методы оценки сейсмических воздействий (пособие). РАН, Москва, 1993, 91 с.
8. Ambraseys N.N. and Bommer Y.Y. Database of European Earthquake Associated with strongmotion Records. European Earthquake Eng. V. №2, 1991, p. 18-37.
9. Bozoerqinia Y., Niazi M. Distance Scaling of Vertical and Horizontal Response Spectra of the 1989 Loma Prieta Earthquake. Earthquake Engineering and Structural Dynamics. Vol.22, 1993, p.695-707.
10. Campbell K. Near source attenuation of peak horizontal acceleration // Bull. Seismol. Soc. Amer. 1981. Vol.71, №6. p. 2039-2070.

11. Campbell K. Predicting strong motion in Utah // Evolution of regional and urban earthquake Hazards and risk in Utah. Wash. (D. C.), 1988.

12. Esteva L., Rosenblueth E. Espectros de temboeres a distancias moderateas y grandes. Soc. Mexuc. Ingen. Seismol. Bull. 1964, vol.2. 1-18.

13. Fukushima Y. and Tanaka A. New Attenuation for Pear Ground Acceleration, Velocity and Displacement. Based on Multiple Regression Analysis of Japanese Strong – Motion. Bull. Seis. soc. Am. 80, 1990, p. 757-783.

14. Joyner W., Boore D. Peak Horizontal acceleration and velocity from strong-motion records, including records from the 1979 Imperial Valley California earthquake. Bull. Seismol. Soc. Amer. 1981. Vol.71, №6, p.2011-2038.

15. Smit P., Arzoumanian V. and esc. The Digital accelerograph Network in the Caucasus. Earthquake Hazard and Seismic Risk Reduction. Kliwer Academic Publishers. 2000, p. 109-118.

16. Yamazaki F. Comparative Study of Attenuation Characteristics of Ground Acceleration in Europe, North America and Japan. Bulletin of Earthquake Resistant Structure Research center. N26, March, 1993. Inst. of ind. Science Univ. of Tokyo, p.39-56.

DOI: 10.23671/VNC.2014.1.55404

COMPARATIVE ESTIMATES OF GROUND ACCELARATION DAMPING EFFECT

© 2014 V.G. Grigoryan, Sc. Candidate (Phys.-math.)

Institute of Geophysics and Engineering Seismology of NAS, Armenia,
Gyumri, e-mail: iges@sci.am

On the basis of comparative analysis and comparison of existing models of earthquakes' damping effect, it was argued and found reasonable for practical tasks the application of simpler (universal) models $A_{max} = F(M, R)$.

With the use of wide range of experimental data on strong and distractive earthquakes occurred in the region, coefficients of given universal model are determined, which is recommended as the most reliable on the territory of Armenia.

Keywords: earthquake hearth, epicentral distance, accelerogram.