

УДК 550.34.012

**НЕКОТОРЫЕ МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПОСТРОЕНИЯ  
СПЕКТРОВ РЕАКЦИИ ГРУНТА (В УСЛОВИЯХ ИРАНА)**

**ДЕЯКІ МЕТОДОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ПОБУДОВИ СПЕКТРІВ  
РЕАКЦІЇ ҐРУНТУ (В УМОВАХ ІРАНУ)**

**SOME METHODOLOGICAL ASPECTS OF BUILDING  
SPECTRA SOIL REACTION (IN THE IRAN)**

**Кичаева О.В., к.т.н., доц., Раджабзадег Могсен, аспирант** (Харьковский национальный университет строительства и архитектуры, г. Харьков)

**Кічаєва О.В., к.т.н., доц., Раджабзадег Могсен, аспірант** (Харківський національний університет будівництва та архітектури, м. Харків)

**Kichaeva O.V., Ph.D. in Engineering, Associate Professor, Rajabzadeh Mohsen, post-graduate student** (Kharkov National University of Construction and Architecture, Kharkov)

**В статье изложен процесс построения спектров реакции грунта с учетом сейсмических и инженерно-геологических условий площадок Ирана.**

**У статті викладено процес побудови спектрів реакції ґрунту з урахуванням сейсмічних та інженерно-геологічних умов Ірану.**

**The article describes the process of constructing the response spectra of soil, taking into account seismic and geotechnical conditions sites of Iran.**

**Ключевые слова:**

Акселерограмма, спектр реакции грунта, эффективное время землетрясения.

Акселерограмма, спектр реакції ґрунту, ефективний час землетрусу.

Accelerogram, the response spectrum of soil, the effective time of the earthquake.

**Вступление.** При проектировании зданий и сооружений в сейсмических районах следует осуществлять комплекс мероприятий, направленных на изучение максимального количества параметров, связанных с сейсмическими явлениями и их проявлением. Сюда входит: сбор сведений по уже произошедшим землетрясениям и их последствиям, исследование активных разломов, определение вибрационных движений грунта, возникающих вследствие землетрясения и многие другие факторы. Одним из важнейших факторов является определение спектральных характеристик грунта.

**Анализ последних исследований.** Обзор критериев динамического анализа в некоторых нормативных документах.

**Нормы 2800 [1] и FEMA 356 [2].** В соответствии с нормами 2800 [1] и FEMA356 [2], следует использовать акселерограммы, представляющие реальные колебания грунтов на площадке и в отсутствие нормальных записей, использование искусственных акселерограмм допускается. Далее необработанные акселерограммы корректируются по частоте, для чего может быть использовано соответствующее программное обеспечение.

**EN 1998-1:2004 (E) ЕВРОКОД 8 [3].** Эта правила регламентируют применение акселерограмм в одном направлении для расчета симметричного здания; параметры масштабирования акселерограмм для зданий отдельно не оговариваются. Хотя правила, касающиеся мостов, рекомендуют выбрать коэффициент масштабирования так, чтобы состав SRSS спектров был не менее чем в 1,3 раза стандартного спектра. В табл. 1 сравниваются стандарты критериев проектирования и некоторые другие факторы, касающиеся выбора записей, которые используются в анализе. Кроме того, допускается использование искусственных или натуральных записей землетрясений.

**ДБН В.1.1-12:2006 [4].** Согласно данному нормативному документу, прямые динамические расчеты зданий и сооружений следует выполнять с использованием расчетных акселерограмм

$$a_i(t) = A y_i(t), \quad (1)$$

где  $i$  – номер компоненты трехмерного вектора колебаний,

$A_i$  – максимальное значение амплитуды ускорений,

$y_i(t)$  – нормированная на единицу функция, описывающая колебание грунта во времени.

Расчетные акселерограммы строятся на основе инструментальных записей, сильных и промежуточных, по величине землетрясений, зарегистрированных непосредственно на строительной площадке, либо в условиях, близких к условиям площадки проектируемого здания (сооружения). При отсутствии инструментальных записей, для генерации расчетных акселерограмм могут использоваться расчетные методы. При проектировании зданий (сооружений), не привязанных к конкретной площадке, в прямых динамических методах рекомендуется использовать пакет трехкомпонентных синтезированных акселерограмм, которые были составлены ИГФ НАН Украины.

Все вышеперечисленные нормы не исключают применение других подходов и альтернативных правил определения сейсмических нагрузок при проектировании сооружений. Сюда относятся [5 - 8]:

- рассмотрение исторических землетрясений и их влияние на сооружение;
- анализ записей землетрясений и применение 3-компонентных сейсмических движений для расчета пространственных конструкций;

- построение искусственных акселерограмм, отвечающих спектру упругой реакции при 5%-ном вязком затухании и длительности воздействия не менее 10 с;

- применение зарегистрированных или синтезированных акселерограмм, созданных путем физической имитации источника и механизмов путей распространения;

- применение пространственной модели сейсмического воздействия, согласованной с горизонтальным и вертикальным спектрами реакции для конструкций со специальными характеристиками, где одинаковые возмущения всех опорных точек конструкции не может быть достигнуто.

Таблица 1.

Определение характеристики записей землетрясений в нормах

Нормативный документ	Интенсивность землетрясения	Расстояния до места разломы	Учет механизмов разлома	Тип грунта	Время землетрясения	Количество требуемых записей	Вид акселерограммы	Сравнение с методом SRSS
2800 и FEMA 356	■	■	■	■	■	3	Естественная, искусственная	1,4 раза стандартных спектров
Евро Код 8	■	■	■	■	-	3	Естественная, искусственная	1,3 раза стандартных спектров
ДБН	■	■	-	■	-	-	Естественная, искусственная	-

**Постановка цели и задач исследований.** Целью данного исследования является построение спектров реакции грунта с учетом сейсмических и инженерно-геологических условий площадок Ирана.

**Методика исследований.** Для того, чтобы получить спектры реакции грунта, использовался метод спектра реакции для площадки.

**Изложение основного материала.** Предлагается следующая методология для реализации метода спектра реакции для площадок, находящихся в условиях Ирана.

1. Отбираются сведения о нескольких акселерограммах сильных землетрясений. В данном случае были выбраны записи трехкомпонентных акселерограмм, зарегистрированных сейсмологическими станциями юго-восточной части Ирана (Керман). Данные записи отобраны из районов с аналогичными сеймотектоническими, геологическими и грунтовыми характеристиками (рис. 1, табл. 2).

Таблица 2.

Характеристики района исследований, Керман

Станция	Дата	Магнитуда		Географические координаты		Продолжительность, сек	Пиковое ускорение грунта, $\text{м/с}^2$
		$M_s$	$M_w$	долгота	широта		
Бам	26.12.2003	6.7	-	58.350	29.090	63.800	7.99
Заранд	22.2.2005	-	6.2	57.031	30.811	66.560	5.1
Голбаф	14.3.1998	6.9	-	57.040	30.290	47.360	5.4

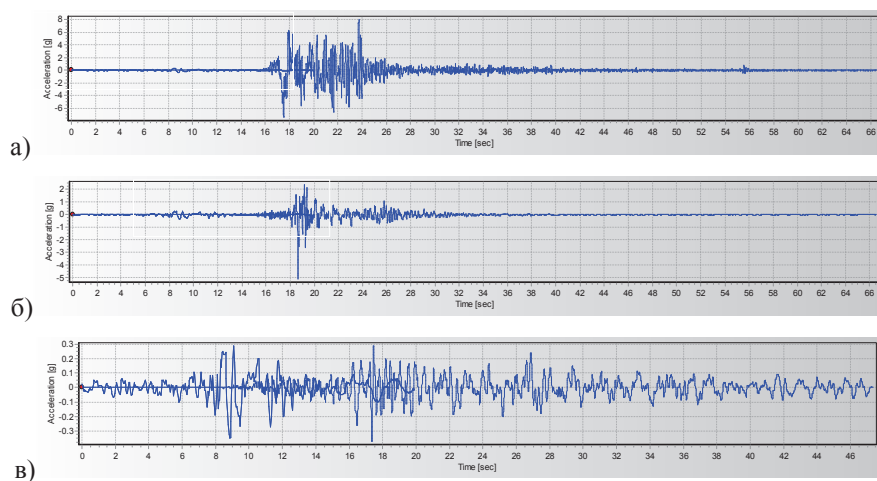


Рис. 1. Профиль выбранных записей акселерограмм землетрясений:  
а) Бам; б) Заранд; в) Голбаф

2. Осуществляется обработка записей землетрясений по продолжительности эффективного времени сильных движений грунта, преобладающему периоду и преобладающей частоте в соответствии со следующими предпосылками и допущениями.

Длительность воздействия сильных движений грунта при землетрясении для отобранных акселерограмм должна быть не менее 10 сек или не менее

$3T_1$ , где  $T_1$  – период основного тона собственных колебаний конструкции в направления действия акселерограммы [1].

Выбор эффективного времени землетрясения выполняется для того, чтобы уменьшить объем входящей информации. Эффективное время землетрясения определяется на основе максимума энергии землетрясения, происходящей в это время, а остальная часть записей землетрясений может быть проигнорирована.

По Ариас, интенсивность рассчитывается по формуле:

$$I_A = (\pi/2g) \int_0^{t_d} [a_g(t)]^2 dt, \quad (2)$$

где  $a_g(t)$  - ускорение грунта,  
 $t_d$  - общая продолжительность записи;  
 $g$  - ускорение свободного падения.

Эффективное время землетрясения рассчитывается как интервал между временем с 5%-ной интенсивностью ( $t_{0,05}$ ) и временем с 95%-ной интенсивностью землетрясения ( $t_{0,95}$ ) (рис. 2) [2]:

$$t_{eff} = t_{0,95} - t_{0,05}. \quad (3)$$

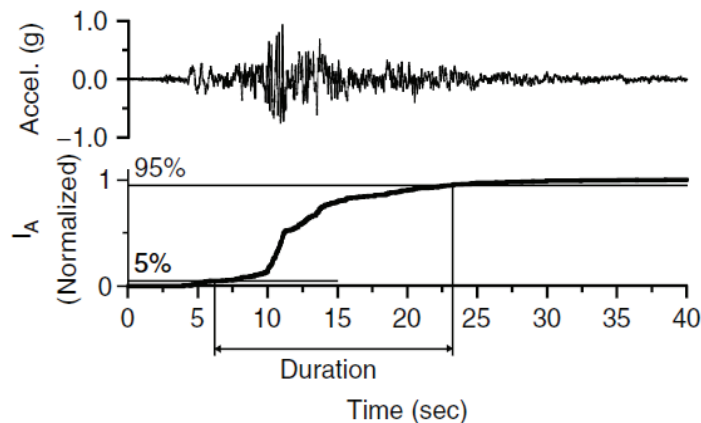


Рис. 2. Эффективное время землетрясения при ускорении грунта при землетрясении магнитудой  $M_s = 7.4$  в провинции Tabas (Иран, 1978 г.)

Одним из наиболее важных характеристик землетрясения является частотный диапазон. Частотный состав записанного движения грунта может быть представлен колебаниями грунта в частотном диапазоне через спектр Фурье (рис. 3).

$$a_g(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} F(\omega) e^{i\omega t} d\omega, \quad (4)$$

где  $F(\omega)$  - преобразование Фурье ускорения земли,  
 $\omega$  - круговая частота (рад/сек), и  $i = (-1)^{1/2}$ .

В табл. 3 приведены характеристики записей землетрясений: общая продолжительность, эффективное время, преобладающий период и доминирующая частота.

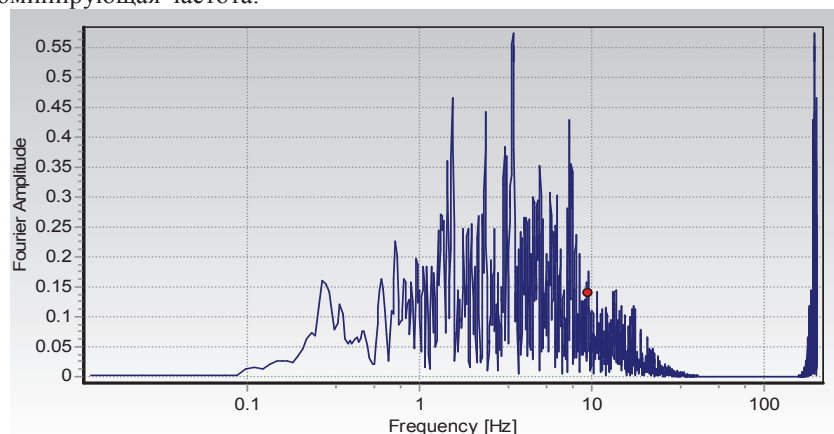


Рис. 3. Частотный спектр Фурье амплитуды

Таблица 3  
Общая продолжительность, эффективное время, преобладающий период (сек), доминирующая частота (циклы/сек) записей землетрясений в районе Керман (Иран)

Район	Керман		
Станция	Бам	Заранд	Голбаф
Общая продолжительность	63.800	66.560	47.360
Эффективное время	8.00	10.57	26.04
Преобладающий период(сек)	0.20	0.14	0.18
Доминирующая частота (циклы/сек)	5.00	7.14	5.55

3. Определяются спектры реакции грунта, нормализованные по величине ускорений  $a_g$  при 5%-ном затухании в радиальном и тангенциальном направлениях (рис. 4).

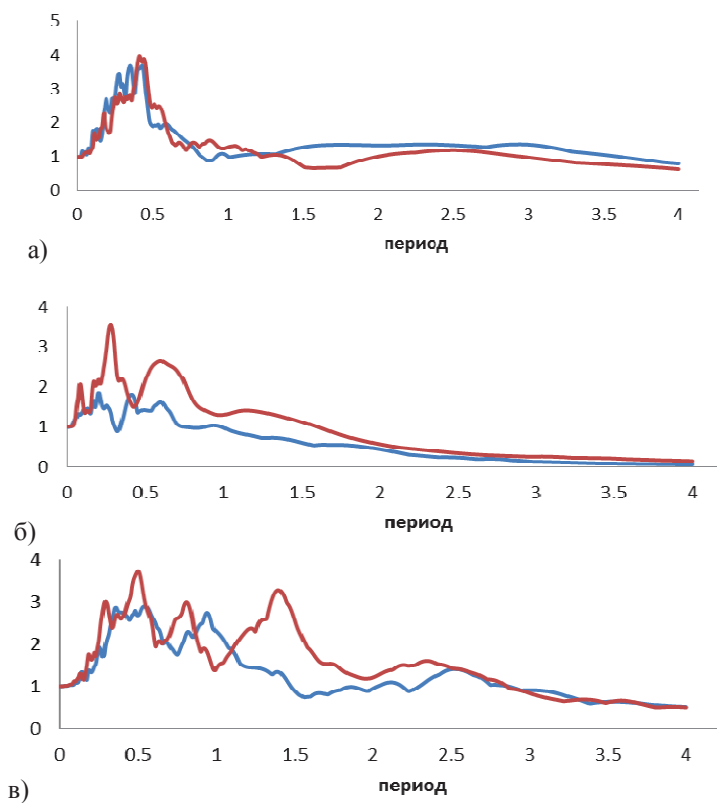


Рис. 4. Спектры реакции грунта: а) Бам; б) Заранд; в) Голбаф при 5%-ном затухании (красная линия – тангенциальное направление, синяя – радиальное)

4. Полученные спектры реакции комбинируются методом «корень из суммы квадратов» (SRSS) [4], формируя результирующий спектр:

$$S_{aSRSSxy}(T) = \sqrt{S_{ax}(T)^2 + S_{ay}(T)^2}, \quad (5)$$

где  $S_{ax}(T)$ ,  $S_{ay}(T)$  – спектры реакции в различных направлениях.

Набор данных масштабируется таким образом, чтобы среднее значение полученного спектров не было ниже, чем в 1,4 раза расчетного спектра землетрясения при 5%-ном затухании (рис. 5).

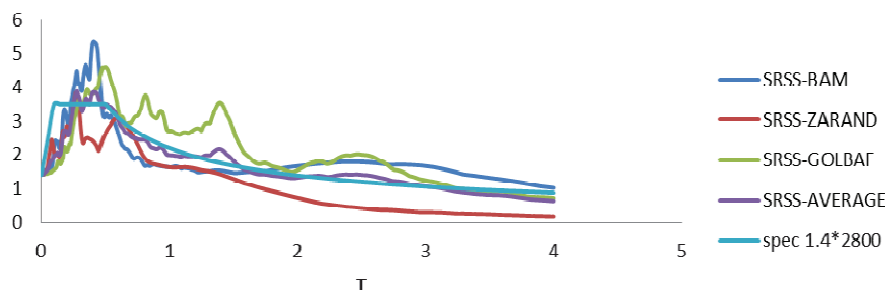


Рис. 5. Результирующие упругие спектры реакции грунта при 5%-ном затухании, построенные посредством метода SRSS

#### Результаты исследований и выводы.

1. Был осуществлен сбор сведений акселерограмм сильных землетрясений, происходивших в Иране для районов с аналогичными сейсмотектоническими, геологическими и грунтовыми характеристиками.
2. Выполнена обработка записей землетрясений по продолжительности эффективного времени сильных движений грунта, преобладающему периоду и частоте.
3. Определены спектры реакции грунта, нормализованные по величине ускорения при 5%-ном затухании в двух направлениях.
4. Получены результирующие упругие спектры реакции грунта при 5%-ном затухании, построенные посредством метода SRSS.

1. Iranian buildings codes and standards. Iranian code of practice for seismic resistant design of buildings. Standard No. 2800, 3rd Edition // Building and Housing Research Center. – 2003. – 83 с. 2. FEMA 356, "NEHRP Recommended Provisions for Seismic Regulations for New Buildings and Other Structures", 2000 Edition. 3. Eurocode 8, "Design provisions for earthquake resistance of structures", DD ENV, 1998. 4. ДБН В.1.1-12:2006 «Строительство в сейсмических районах Украины», К. – 2007. – 84 с. 5. Ю. И. Немчинов «Сейсмостойкость зданий и сооружений», К. – 2008. – 480 с. 6. Yousef Bozorgnia, K. W. (2004). Engineering Characterization of Ground Motion. In K. W. Yousef Bozorgnia, Engineering Seismology to Performance-Based Engineering (pp. 237-239). 7. International Institute of Earthquake Engineering and Seismology (IIEES). 8. Valamanesh, V, Stekanchy H. "Journal of Civil Engineering", First Year, №3, 2008