



УДК: 550,34,094

Асилбек РАХМАТОВ,
Института сейсмологии АН РУз.,
E-mail: asilbekrahmatov3@gmail.com
Мусурмонкул КОДИРОВ,
Преподаватель кафедры геофизических методов исследований
Национальный университет Узбекистана имени Мирзо Улугбека»
Муҳайёхон АБДУЛЛАЕВА,
Преподаватель кафедры Гидрогеологии
Национальный Университет Узбекистана имени Мирзо Улугбека»
E-mail: farishta_nuuz@mail.ru
Жалил АМИРҚУЛОВ,
Преподаватель кафедры геофизических методов исследований
Национальный Университет Узбекистана имени Мирзо Улугбека»

На основе рецензии к. г.-м.н., PhD Ш.И. Ёдгорова.

ТЕХНОЛОГИЯ СОЗДАНИЯ РЕАЛЬНЫХ И СИНТЕТИЧЕСКИХ АКСЕЛЕРОГРАММ.

Аннотация

Анализ методов синтеза акселерограмм основан на недостаточности исходных данных для поставленной задачи и отсутствии сейсмостанций, оснащенных акселерометрами. Из-за отсутствия развития прочной сети движений применялось несколько методов построения акселерограмм. Эмпирический метод прогнозирования параметров сейсмических колебаний основан на статистической оценке параметров сейсмограммы в зависимости от характеристик очага и окружающей среды, при полумпирическом методе коэффициенты при заранее выбранном математическом выражении составляют выбираются эмпирическим путем, в эмпирическом методе формулы предварительно не выбираются и только на заключительном этапе эмпирический закон оценивается подходящими выражениями.

Ключевые слова: Сейсмика, вибрация, амплитуда, акселерограмма, спектр, Синтетическая, Реальная, формула, фокус, Категория.

РЕАЛ ВА СИНТЕТИК АКСЕЛЕРОГРАММАЛАР ЯРАТИШ ТЕХНОЛОГИЯСИ

Аннотация

Акселерограммаларни синтез қилиш усуллари таҳлил қилиш вазифани бажариш учун бирламчи маълумотларнинг етарли эмаслиги ва акселерометрлар билан жиҳозланган сейсмик станциялар мавжуд эмаслиги, чунки техноген шовкинларнинг юқори даражаси туфайли, станциялар шаҳарлардан ташқарига қўчирилишига тўғри келади. Кучли ҳаракатлар тармоғи ривожланмаганлиги сабабли, акселерограммаларни ишлаб чиқишнинг бир неча усуллари қўлланилган. Сейсмик тебранишлар параметрларини баҳорат қилиш эмпирик усули фокус ва атроф-муҳитнинг хусусиятларига қараб сейсмограмма параметрларини статистик баҳолашга асосланади, ярим эмпирик усул билан олдиндан танланган математик ифода учун коэффициентлар эмпирик тарзда танланади, эмпирик усулда формулалар олдиндан танланмаган ва фақат якуний босқичда эмпирик қонунни мос иборалар билан тахмин қилиш мумкин.

Калит сўзлар: Сейсмик, тебраниш, амплитуда, акселерограмма, спектр, Синтетик, Реал, формула, фокус, Категория.

TECHNOLOGY SOZDANIYA REALNYX AND SYNTHETICHESKIH ACCELEROGRAMM

Annotation

Analysis of accelerogram synthesis methods is based on insufficient primary data for the task and lack of seismic stations equipped with accelerometers. Due to the lack of development of a strong network of movements, several methods of developing accelerograms have been used. The empirical method of predicting the parameters of seismic vibrations is based on the statistical evaluation of the parameters of the seismogram depending on the characteristics of the focus and the environment, with the semi-empirical method, the coefficients for the pre-selected mathematical expression are selected empirically, in the empirical method, the formulas are not pre-selected and only at the final stage, the empirical law is estimated with suitable expressions.

Key words: Seismic, vibration, amplitude, accelerogram, spectrum, Synthetic, Real, formula, focus, Category.

Введение. При строительстве зданий и сооружений их долговечность и длительная служба, а также оценка сейсмического риска является необходимым фактором обеспечения безопасности людей. Поскольку более 75 % территории Узбекистана находится в сейсмоактивных зонах, возникает необходимость предотвращения сейсмического риска, защиты населения и регионов от сейсмического риска, а также непрерывной реализации целевых программ и научных исследований в этой области. Принять меры по снижению уровня сейсмического риска. Контроль сейсмостойкости зданий и сооружений, находящихся в эксплуатации, а также вводимых в эксплуатацию. Мониторинг сейсмостойкости водоемов и гидротехнических сооружений, расположенных на территории республики. Широкое внедрение современных информационно-коммуникационных технологий в области сейсмобезопасности, внедрение современных методов и технических средств обеспечения сейсмобезопасности и сейсмостойкости.

Анализ методов синтеза акселерограмм показал, что первичных данных недостаточно для выполнения поставленной задачи – отсутствуют сейсмостанции, оснащенные акселерометрами, так как из-за высокого уровня техногенных помех станции приходится выносить за пределы городов. Поскольку надежные сети движения не были разработаны, было использовано несколько методов разработки акселерограмм [1].

Способы расчета синтетических исходных сигналов, Ансамбль синтетических акселерограмм строится на основе набора расчетных амплитудных спектров Фурье, Каждому расчетному спектру $a^*(\omega)$ ставится в соответствие множество акселерограмм, вычисленных по формуле [4]:

$$a(t) = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} a^*(\omega) \cos(\omega t - \varphi) d\varphi \quad (1)$$

где, (φ) - случайная величина, функция распределения которой подлежит уточнению в результате обработки инструментальных данных,

Спектром Фурье $a^*(\omega)$ для процесса колебаний $a(t)$ называют комплексную функцию, получающуюся в результате применения к процессу $a(t)$ преобразования Фурье:

$$a^*(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} a(t) \exp(-i\omega t) dt = a_c^*(\omega) - i a_s^*(\omega),$$

$$a_c^*(\omega) = \int_0^{\infty} a(t) \cos \omega t dt; \quad a_s^*(\omega) = \int_0^{\infty} a(t) \sin \omega t dt \quad (2)$$

где,

Спектр Фурье $a^*(\omega)$ может быть представлен через две независимые функции: амплитудный спектр a^* и фазовую характеристику φ - фазовый спектр:

$$a^*(\omega) = a^*(\omega) \exp[-i\varphi(\omega)] \quad (3)$$

$$a^* = \sqrt{(a_c^*)^2 + (a_s^*)^2}, \varphi = \arctg a_c^* / a_s^* \quad (4)$$

Амплитудные спектры Фурье, рассчитанные для разных землетрясений с одинаковой интенсивностью, образуют ансамбль случайных функций. [2,3,4]

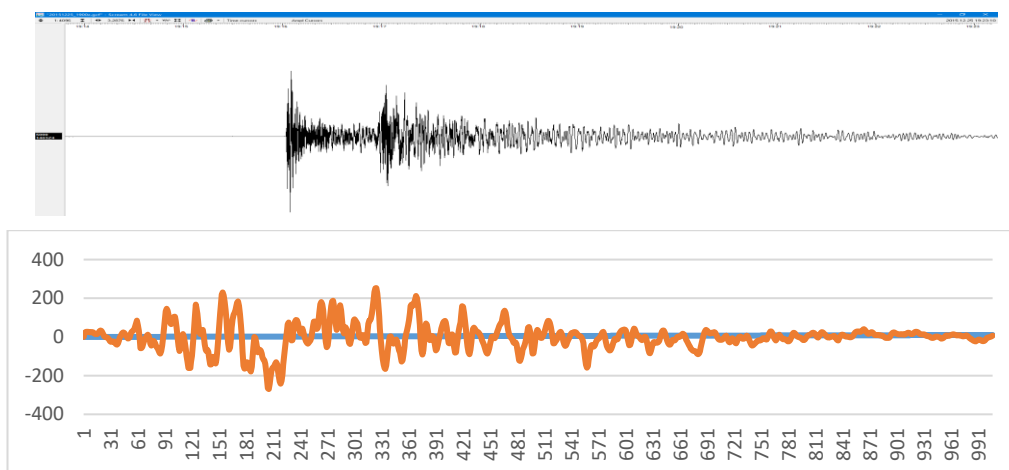


Рисунок. № 1 - Реальная (вверху) и синтетическая (внизу) акселерограммы

Методы, результаты и обсуждение. Первый – использование реальных акселерограмм и их трансформация в заданные величины ускорений, Применялись акселерограммы акселерометра CMG-5 производства компании Guralp, Великобритания, установленного в павильоне центральной сейсмической станции «Ташкент», Была произведена выборка как местных землетрясений, так и удаленных (транзитных) сильных сейсмических событий (М-7,0 26,10,2016 г., 500 км от Ташкента), Также использовались данные акселерометров, размещенных на станциях РССТМ при МЧС РУз.

Важным условием в методике является отбор характерных ("типичных") записей слабых толчков из основных сейсмогенерирующих зон, могущих создать наибольшие воздействия на выбранную площадку. При этом необходимо использовать записи землетрясений компактной группы из этих зон и с глубинами очагов, попадающими в интервал преобладающих за длительный интервал времени для данной геологической структуры, "Типичными" сейсмограммами землетрясений можно считать такие записи, которые удовлетворяют следующим условиям: параметры продольных (Р) и поперечных (S) волн и отношения амплитуд AS/AP и периодов TS/TP на ближайшей к объекту станции регистрации соответствуют преобладающим долговременным значениям в функции их распределения. Второй метод – выборка реальных велосиграм (сейсмограмм), полученных с использованием цифровых велосиметров CMG-6TD, также производства Guralp, Далее цифровой сигнал дифференцировался (таким образом производился пересчет в ускорения) и нормировался до заданных величин пиковых ускорений, Для дифференцирования велосиграм использовалась программа DegTraA4, затем акселерограммы нормировались согласно полученным значениям PGA,

Третий – построение синтетических акселерограмм из таблицы рассчитанных спектральных ускорений,

Алгоритм включает три основных момента:

а) моделирование нестационарного временного сигнала в терминах значений ускорения, используя технику, предложенную Sabetta и Pugliese (1996);

б) итерационная коррекция в частотной области спектра моделируемого сигнала для его адаптации к ранее определенной спектральной форме;

в) коррекция результирующего сигнала во временной области,

Техника моделирования, предложенная Sabetta and Pugliese (1996), основана на возможности получения зависящих от времени коэффициентов ряда Фурье из подходящего физического спектра в зависимости от величины, расстояния и условий площадки. Определенные таким образом спектральные значения рассчитываются как равномерно распределенные случайные величины. Используется итерационная процедура. Как правило, для достижения адекватного согласия с эталонным спектром достаточно 5-10 итераций,

Для расчета спектральных ускорений использовано уравнение (Joiner and Boor, 1997 Boore D. M., Joyner W. B., Site amplifications for Generic Rock Sites // Bulletin of the Seismological Society of America, 1997, V, 87, № 2, P, 327–341.):

$$\text{Log PSA} = b_1 + b_2M + b_3M^2 + (b_4 + b_5M) \log \sqrt{R^2_{jb} + b^2_\sigma} + b_7S_s + b_8S_A + b_9F_N + b_{10}F_R + \varepsilon$$

Где, S_s и S_A равны 1 для грунтов с V_s ниже 350 м/с и равны нулю, если $V_{s30} > 750$ м/с,

Входными данными программ расчета акселерограмм являются параметры, описывающие особенности излучения (эффекты очагов) и рас пространения (эффекты пути распространения) сейсмических волн в данном регионе, а также параметры, описывающие локальные эффекты вблизи источников и приемников (поскольку основные факторы, определяющие параметры колебаний в данной точке — это очаг, путь распространения сейсмических волн и локальные эффекты; они вносят вклад в спектр колебаний в данной точке). Зависимости параметров излучения и распространения сейсмических волн от магнитуды и расстояния представляются в виде простых функций, которые используются в расчетах. К наиболее важным для расчетов параметрам относятся: сброшенное в очаге напряжение (параметр излучения), параметры геометрического расхождения, частотно-зависимого неупругого поглощения, зависимость длительности сейсмического сигнала от эпицентрального расстояния (параметры распространения), локальное усиление в земной коре и ослабление сигнала на высоких частотах каппа, параметры, определяющие форму сигнала. Эти необходимые для расчетов параметры могут быть оценены по имеющимся записям землетрясений. Очаг землетрясения был представлен в виде совокупности субочагов, размеры, расположение, параметры излучения и способ суммирования излучения которых выбирались в соответствии с рекомендациями А.А. Гусева и В.М. Павлова (Gusev A. Pavlov B., 2006), как авторов алгоритма широкополосного моделирования излучения сейсмического очага конечных размеров, одного из наиболее точных на сегодняшний день: временные серии излучений субочагов были приняты некоррелированными; конечная подвижка и скорость распространения трещины определены как случайные функции, варьирующие вдоль осей x и y (в плоскости площадки очага); точечные источники были случайным образом смещены от узлов совершенной сетки на 0,3–0,6 величины размера ячейки, (Gusev A. Pavlov B. 2006).

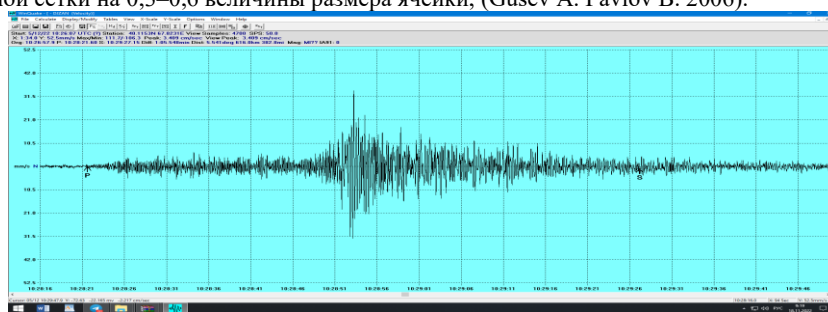


Рис. №2 Реальная акселерограмма Байсунского землетрясения 12 мая 2022

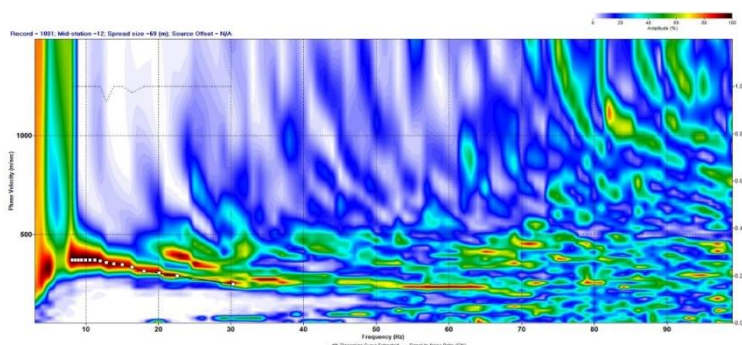
Таблица №1

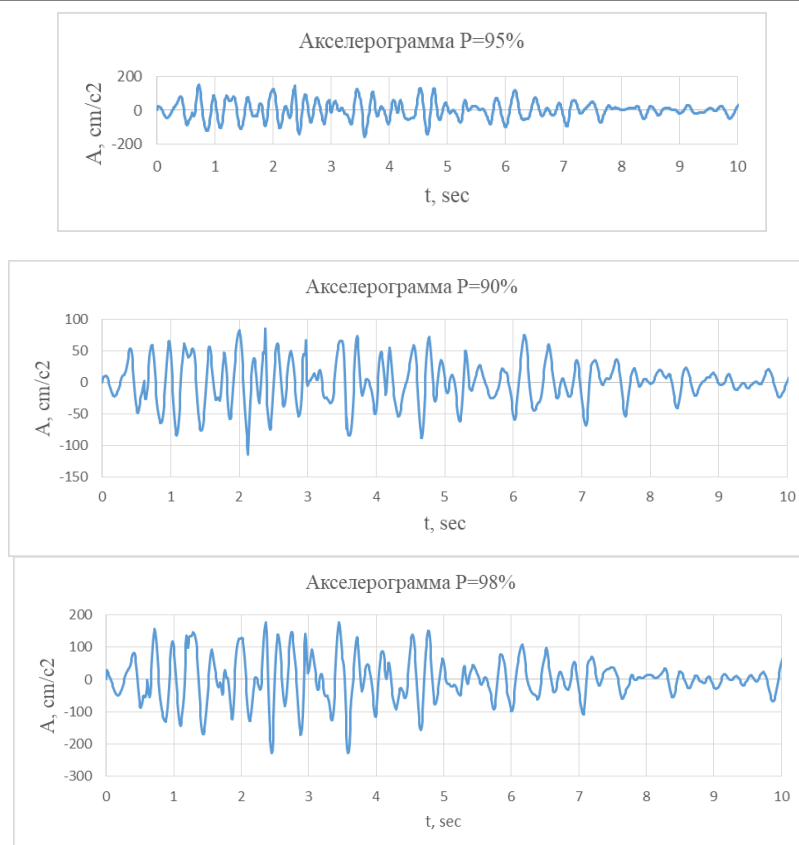
По Сурхандарьинской области

Категория грунта	Максимальные ускорения a_{max} , cm/s^2		
	P=90%	P=95%	P=98%
II категория	89	124	185
III категория	114	157	229

Рис. №3. Информация от Сейсморазветки $V_{s30}=335.28$ м/с

III - синтетические акселерограммы, рассчитанные для категории пехотинцев





Заключение. Синтетические акселерограммы были построены из таблицы спектральных ускорений с использованием программного обеспечения Seismoartif от Seismosoft. Для предварительной оценки сейсмического воздействия района получен набор акселерограмм высоких сейсмических колебаний в грунте. Набор рассчитанных акселерограмм служит основой для расчета сейсмических нагрузок прямым динамическим способом при проектировании зданий. Акселерограммы рассчитаны для грунтов II типа для вероятности, не превышающей 90 %, 95 % и 98 % для изучаемых территорий. Позволяет реалистично оценить сейсмическое воздействие сейсмических волн, рассеянных от очага землетрясения на землю, рассеянных в районе строительства.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аптикаев Ф.Ф., Эртелева О.О., Генерирование искусственных акселерограмм методом масштабирования реальных записей // Физика Земли, 2002. №7. С. 39–45.
2. Кендзера А.В., Способ получения расчетных акселерограмм путем пересчета из сейсмических записей // Геофиз. журнал. 1987. Т.9. №5. С.75–79.
3. Пустовитенко Б.Г., Кульчицкий В.Е., Калинин И.В., Мерзей Е.А. Сравнительные характеристики акселерограмм, смоделированных для разных сеймотектонических условий // Сейсмостойкое строительство, Безопасность сооружений. №6.2012. С. 20–23.
4. Пустовитенко Б.Г., Калинин И.В., Мерзей Е.А., Моделирование прогнозных воздействий сильных землетрясений Крыма // Строительство и техногенная безопасность. Вып. 35. Симферополь: НАПКС. 2011г. С. 104–111,
5. Ни С., Се В. и Панди М., Применение преобразования Гильберта-Хуанга для создания согласованных по спектру временных историй землетрясений, Обработка сигналов ISRN. ID статьи 563678 (2011 г.).
6. Сарагони Г.Р. и Харт Г.К. Моделирование искусственных землетрясений // Инженерия землетрясений и динамика конструкций. 1974. С. 219–267.
7. Boore D. (1983), Стохастическое моделирование высокочастотных движений грунта на основе сейсмологических моделей излучаемых спектров, Bull. Seism. Soc. Am. Vol 73. pp 1865-1894г.
8. Бора С., Шербаум Ф., Кюн Н. и др., (2015). Разработка спектрального уравнения прогнозирования колебаний грунта (GMPE) для анализа сейсмической опасности на основе эмпирического спектра Фурье и продолжительности. Модели. Bull. Seism. Soc. Am. Vol 105. стр. 2192-2218.
9. Резайян С. и Киурегян А.Д. (2010 г.), Моделирование синтетических движений грунта для конкретных землетрясений и характеристик площадки. Расчет землетрясений и динамика конструкций. Том 39. стр. 1155-1180.