DOI: 10.38054/iaeee-301 **УДК 624.042.7**

МЕТОД НЕКАНОНИЧЕСКОГО ПРЕДСТАВЛЕНИЯ СЛУЧАЙНОГО ПРОЦЕССА В ЗАДАЧАХ МОДЕЛИРОВАНИЯ СЕЙСМИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

С.Е. Ержанов(1), В.А. Лапин(2)

(1)АО «КазНИИСА», Республика Казахстан, г. Алматы, abai_ata@mail.ru
(2)АО «КазНИИСА», Республика Казахстан, г. Алматы, lapin_1956@mail.ru

Аннотация: *Случайный процесс, моделирующий сейсмическое воздействие, задается неканоническим представлением. Предлагается способ генерирования искусственных акселерограмм местных землетрясений, основанный на представлении корреляционной функции как суммы косинус-экспоненциальных слагаемых. Параметры аппроксимации корреляционной функции определены раннее на основе метода наименьших квадратов с помощью пакета Curve Fitting Toolbox СКМ MATLAB. Как критерий качества используется совпадение исходной и генерируемой спектральных кривых. Алгоритмы просто реализуются в современных системах компьютерной математики MATLAB, SCILAB. Область применения алгоритмов – расчеты с применением Еврокода 8, в том числе с применением вероятностных методов.*

NON-CANONICAL METHOD REPRESENTATION OF A RANDOM PROCESS IN CHALLENGES OF SIMULATING SEISMIC IMPACTS

S.E. Yerzhanov(1), V.A. Lapin(2)

(1) JSC "KazNIISA", Republic of Kazakhstan, abai_ata@mail.ru
(2) JSC "KazNIISA", Republic of Kazakhstan, lapin_1956@mail.ru

Abstract: *Random process simulating seismic impact is given by non-canonical representation. Method of generation of artificial accelerograms of local earthquakes is proposed based on presentation of correlation function as a sum of cosine exponential summands. Approximation parameters of correlation function were defined earlier on the basis of least square method by using Curve Fitting Toolbox CKM MATLAB package. Coincidence of initial and generated spectral curves is used a quality criterion. Algorithms are simply implemented in present day's systems of computer mathematics as MATLAB, SCILAB. Algorithms application area is computations with the use of Eurocode 8, including via use of probabilistic methods.*

СЕЙСМИКАЛЫК ТААСИР ЭТҮҮНҮ МОДЕЛДӨӨ МАСЕЛЕЛЕРИНДЕГИ КОКУСТУК ПРОЦЕССИН КАНОНИКАЛЫК ЭМЕС СУНУШТОО ЫКМАСЫ

С.Е. Ержанов(1), В.А. Лапин(2)

(1)«КазНИИСА» АК, Казахстан Республикасы, Алматы ш., abai_ata@mail.ru
(2)«КазНИИСА» АК, Казахстан Республикасы, Алматы ш., lapin_1956@mail.ru

Аннотация: *Сейсмикалык таасир этүүнү моделдөөчү кокустук процесси каноникалык эмес сунуштар менен берилет. Косинус-экспоненциалдык кошулуучунун суммасы катары корреляциялык функцияны сунуштоого негизделген жергиликтүү жер титирөөлөрдүн* *жасалма акселерограммдарын топтоштуруу ыкмасы сунушталат. Корреляциялык функциянын аппроксимациялык параметрлери мурдараак Curve Fitting Toolbox СКМ MATLAB пакетинин жардамы менен азыраак квадраттардын ыкмасынын негизинде аныкталган. Сапаттын критерийи катары чыгыш жана спектралдык кыйгачтыктын топтоштуруучунун дал келиши колдонулат. Алгоритмдер компьютердик математиканын MATLAB, SCILAB заманбап тутумдарында жөн гана ишке ашырылат. Алгоритмдердин колдонуу тармагы –Еврокода 8 колдонуу, анын ичинде болжолдуу ыкмаларды колдонуу менен эсептөөлөр.*

Для задач оценки сейсмостойкости и определения величин сейсмического риска зданий и сооружений повсеместно применяемый спектральный метод расчета оказывается недостаточным. Поэтому снова становятся привлекательными модели сейсмического воздействия на базе применения методов теории случайных функций [1-5]. Спектрально-временные модели сейсмического воздействия оказываются весьма плодотворными особенно при учете региональных особенностей с учетом локальных грунтовых особенностей и местных очагов землетрясений.

Каноническое разложение, например, Пугачева В.С. [5] точное в случае бесконечного числа членов ряда, что практически осуществить сложно, так как это требует наличия бесконечно большего числа случайных величин v_i и детерминированных функций $\psi_i(t), i = 1,2,\ldots\infty$. С целью некоторого преодоления указанных трудностей Чернецкий В.И. предлагает неканоническое разложение случайных функций в виде [1]:

$$\mathrm{X}(t) \approx \Omega(t, v_1, v_2, \ldots, v_n), \tag{1}$$

где $\Omega(t, v_1, v_2, \ldots, v_n) -$ некоторая детерминированная функция времени и независимых случайных величин $v_1, v_2, \ldots, v_n$.

В [1] доказана теорема: случайную функцию $\mathrm{X}(t)$ можно представить абсолютно точно в пределах корреляционной теории в форме:

$$\mathrm{X}(t) = m_x(t) + \lambda_1 \sin\omega t + \lambda_2 \cos\omega t, \tag{2}$$

при выполнении некоторых условий.

Рассмотрим результаты применения модели сейсмического воздействия в виде случайной функции (1). Нормированную корреляционную функцию случайного процесса примем в косинус-экспоненциальном виде:

$$r_x(\tau) = e^{-\alpha|\tau|} \cos\nu\tau,$$

где $\alpha, \nu -$параметры корреляционной функции.

Принято $m_x(t) = 0$. Величины λ_1 и λ_2 распределены по нормальному закону.

Величины ωиз определяются путём решения нелинейного уравнения:

$$\frac{1}{2} + \frac{1}{2\pi}\left[arctg\frac{\omega+\nu}{\alpha} + arctg\frac{\omega-\nu}{\alpha} \right] = \frac{z+1}{2}, \tag{3}$$

где случайные числа z имеют равномерное распределение на интервале [-1, 1].

Определялись значения:

$$\beta = \frac{\left|\ddot{X} + \ddot{X}_0\right|_{\max}}{\ddot{X}_{0,\max}},$$

где X – перемещения одномассового линейного осциллятора, $\ddot{X}_0$ – акселерограмма землетрясения (инструментальная запись).

Отметим здесь, что для N реализаций необходимо генерировать 3N случайных чисел, где только N чисел вычисляется решением нелинейного уравнения (3). Однако отметим, что с помощью системы компьютерной математики MATLAB программа на языке сверхвысокого уровня, реализующая приведенные выше алгоритмы, составляется весьма просто.

Выражение для корреляционной функции примем в виде отрезки ряда [2, 3]:

$$K(\tau) = \sum_{i=1}^{N} A_i e^{-\alpha_i \tau} \cos(\nu_i \tau), \tag{4}$$

где A_i, α_i, ν_i – определяемые параметры, N – количество членов ряда.

Имеется двухкомпонентная запись землетрясения, зарегистрированная станцией Курменты на расстоянии от очага землетрясения 35 км Максимальная интенсивность в эпицентре 8 баллов. Шаг цифровки 0,008 сек. Указанная запись может быть использована для разработки модели сейсмического воздействия для Алматинского региона [6]. Данная запись достаточно интересная – содержит два близко расположенных пика на спектральной плотности или спектра реакции (компонента N-S с величиной максимума ускорения 699 см/с^2).

Огибающая стационарного случайного процесса принята в виде дробно-рационального выражения Аптикаева Ф.Ф. [7]. В случае стационарного случайного процесса умножение на детерминированную огибающую не производится.

Параметры аппроксимации корреляционной функции (4) определены раннее.

В таблице 1 приведены результаты расчетов, выполненные с учетом декремента колебания δ=0,3. Максимальная величина спектрального коэффициента β, вычисленного по реальной акселерограмме Байсорунского землетрясения составляет **4,69**. Для случая N=1 до 60%, что свидетельствует о неудовлетворительности аппроксимации корреляционной функции реальной акселерограммы. На рисунке 1 приведены спектральные кривые, полученные усреднением результатов расчета по различному количеству реализаций случайного процесса для $N = 2$ (нестационарный случай), а на рисунке 2 – стационарный случай. Здесь же приведена спектральная кривая указанной акселерограммы. Соответствие весьма удовлетворительное. Выдерживается даже форма спектральной кривой в интервале периодов 0,2-0,3с.

Таблица 1 – Величины максимальных значений спектрального коэффициента

Модель	Количество реализаций	$N=1$	$N=2$	$N=3$
Нестационар-ная	20	5,82	4,26	3,81
	50	6,16	4,27	4,96
	100	6,29	4,26	5,06
	200	5,72	4,00	4,94
	500	6,95	3,95	4,83
Стационарная	20	6,85	4,69	4,89
	50	7,19	4,73	4,96
	100	7,16	4,43	5,32
	200	6,63	4,36	5,14
	500	5,88	4,40	5,04

Таким образом, реализации случайного процесса рекомендуется вычислять по формуле, на К-той реализации при $i=2$ в (4):

$$X(t)=\lambda_1^{(K)}\sin(\omega_1^{(K)}t)+\lambda_2^{(K)}\cos(\omega_1^{(K)}t)+\lambda_1^{(K)}\sin(\omega_2^{(K)}t)+\lambda_2^{(K)}\cos(\omega_2^{(K)}t)\,. \quad (5)$$

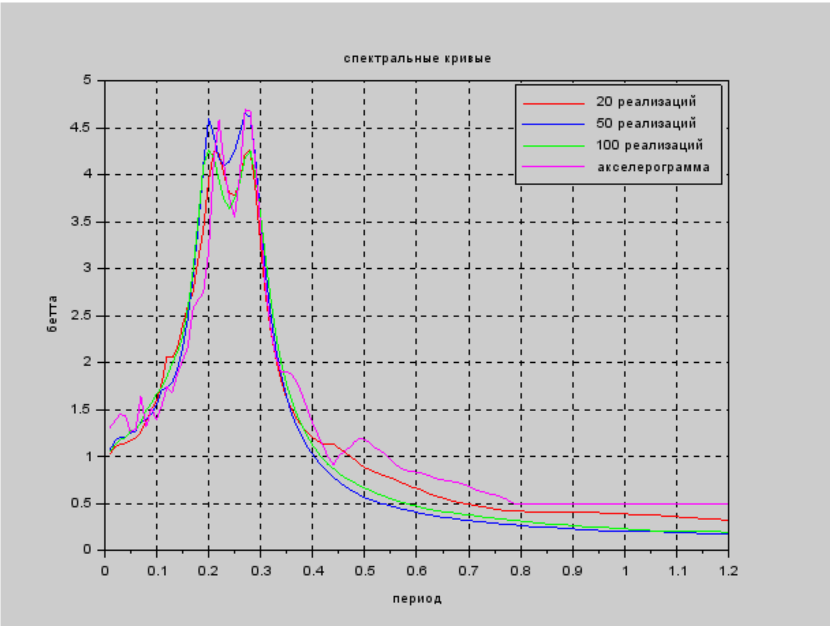

Рисунок 1 – Спектральные кривые, полученные при нестационарной модели воздействия при различном количестве реализаций.

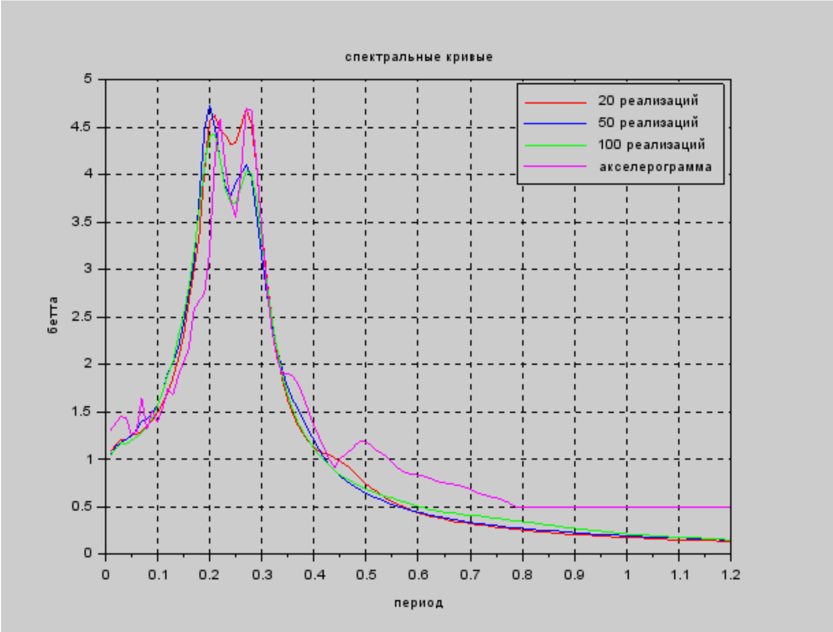

Рисунок 2 – Спектральные кривые, полученные при стационарной модели воздействия при различном количестве реализаций.

ВЫВОДЫ

1. Неканоническое представление случайного процесса (2), (5) является приемлемой альтернативой распространенным способам моделирования сейсмического воздействия на основе, например, канонических спектральных разложений.

2. Случайная функция (5) хорошо моделирует реальную акселерограмму Байсорунского землетрясения по критерию соответствия совпадение исходной и генерируемой спектральных кривых. Для случая N=1 аппроксимация воздействия неудовлетворительная. Для случая N=2 хорошо аппроксимируется как форма эталонной кривой, так и максимальные значения. Стационарная модель сейсмического воздействия описывает воздействие значительно лучше нестационарной.

3. Реализация неканонического спектрального представления случайного процесса весьма экономична с вычислительной точки зрения и весьма удобна для применения, особенно с использованием систем компьютерной математики MATLAB, SCILAB. Рассматривались способы численного интегрирования уравнений, реализованные в указанных выше пакетах (различные варианты метода Рунге-Кутта, прогноза-коррекции Адамса, комбинированные методы). В смысле затрат машинного времени предпочтительней применение пятиэтапного метода Рунге-Кутта четвертого порядка точности.

ЛИТЕРАТУРА

1. ***Чернецкий А.И.*** *Анализ точности нелинейных систем управления. – М.: Машиностроение, 1968. – 248 с.*

2. ***Жунусов Т.Ж. Пак Э.Ф., Лапин В.А.*** *Сейсмостойкость каркасных зданий. – Алматы: Гылым, 1990. – 175 с.*

3. ***Болотин В.В***. *Статистические методы в строительной механике. – М.: Изд-во литературы по строительству, 1965. – 279 с.*

4. ***Болотин В.В.*** *Статистическое моделирование в расчетах на сейсмостойкость. – Строительная механика и расчет сооружений, 1981. – №1. – С.60-64.*

5. ***Пугачев В.С.*** *Теория случайных функций и ее применение к задачам автоматического управления. – М.: Физмагиз, 1960. – 883 с.*

6. ***Ержанов С.Е., Лапин В.А.*** *Спектральный анализ двухкомпонентной записи Байсорунского землетрясения. – «Вестник АО КазНИИСА» № 10, 2014. – С.24-29.*

7. ***Аптикаев Ф.Ф***. *и др. Форма огибающей амплитуд ускорений по записям сильных движений: Сб. советско-американских работ по прогнозу землетрясений. – Душанбе, М., 1979. – Т.2. – кн.2. – С.139-147.*