

УДК 624.042.7

В. А. Пшеничкина, О. В. Душко, С. Ю. Иванов, Е. С. Кашина, Е. С. Мельникова

Волгоградский государственный технический университет

ПРИМЕНЕНИЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ГИЛЬБЕРТА — ХУАНГА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СПЕКТРАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК АКСЕЛЕРОГРАММ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

Исследование выполнено за счет финансового обеспечения реализации программы развития ВолгГТУ в рамках программы стратегического академического лидерства «Приоритет-2030», проект научных исследований № 45/052-26

Выполнен анализ акселерограмм Култукского и Газлийского землетрясений, характеризующихся существенно различным спектральным составом, с использованием преобразования Гильберта — Хуанга. Получены мгновенные амплитуды, частоты и фазы каждой моды. Проведено сопоставление полученных результатов с данными вейвлет-анализа. Установлено, что преобразование Гильберта — Хуанга обеспечивает эффективную локализацию частотных составляющих во времени и позволяет учитывать нестационарный характер сейсмических воздействий.

Ключевые слова: преобразование Гильберта — Хуанга, модовая декомпозиция, анализ акселерограмм, вейвлет-анализ, сейсмическое воздействие, спектральные характеристики.

Введение

При выполнении динамических расчетов зданий и сооружений на сейсмическое воздействие в качестве исходных данных используют акселерограммы или сейсмограммы землетрясений [1]. В действующих нормативных документах устанавливаются общие требования к расчетным сейсмическим воздействиям, однако вопрос выбора акселерограмм для расчета конкретных сооружений остается недостаточно регламентированным [2]. Выбранная акселерограмма, в свою очередь, значительно влияет на динамический отклик системы «сооружение — основание» [3, 4]. Каждая запись характеризуется собственным спектральным составом, определяющим распределение энергии по частотам. В зависимости от соотношения между доминирующими частотами воздействия и собственными частотами сооружения реакция системы может существенно отличаться [5, 6].

Для спектрального анализа акселерограмм зачастую используется преобразование Фурье, позволяющее определить распределение амплитуд и энергии сигнала по частотам [7]. Однако сейсмическое воздействие по своей природе является нестационарным процессом [8, 9]. При интегральном переходе от времени к частоте спектр Фурье не позволяет определить момент появления каждой частотной составляющей.

Альтернативой Фурье-анализу выступает вейвлет-преобразование. В работе [10] выполнено выделение стационарной составляющей акселерограммы, а также определены временные интервалы, в пределах которых сосредоточена основная энергия сигнала. Аналогичный подход использован в работе [11], где показано, что непрерывное вейвлет-преобразование позволяет анализировать изменение энергетических характеристик сигнала во времени

и обеспечивает высокую локализацию на плоскости «время — частота». Вместе с тем применение вейвлет-анализа связано с необходимостью предварительного выбора материнского вейвлета и параметров разложения, оказывающих существенное влияние на получаемые результаты [12].

Одним из перспективных методов анализа нестационарных сигналов является преобразование Гильберта — Хуанга, предложенное в работе [13] и получившее дальнейшее развитие в исследованиях [14—16]. В отличие от вейвлет-преобразования, данный подход не требует задания априорного базиса функций. Как отмечается в работах [11, 17], базис формируется непосредственно из исследуемого сигнала посредством эмпирической модовой декомпозиции, что позволяет учитывать локальные изменения сигнала. Метод получил широкое распространение при обработке и анализе сейсмических записей [14, 15], однако вопросы его использования для сопоставительного анализа акселерограмм с существенно различающимися спектральными характеристиками остаются недостаточно изученными.

Перспективы развития преобразования связаны с устранением недостатков классической эмпирической модовой декомпозиции — проблемы смешения мод, неортогональности выделенных компонент и ограниченности на краях интервала. В работе [15] предложен метод ортогонализации эмпирических мод на основе процедуры Грама — Шмидта, а в [18] авторы предлагают метод уменьшения краевых эффектов, основанный на модификации процедуры выделения мод.

В качестве объекта исследования выбраны акселерограммы, характеризующиеся существенно различающимся спектральным составом:

- оцифрованная запись Култукского землетрясения 27 августа 2008 г.;
- оцифрованная запись Газлийского землетрясения 17 мая 1976 г.

Предметом исследования являются частотно-временные характеристики рассматриваемых акселерограмм, такие как мгновенные частоты, амплитуды и фазы каждой найденной моды, а также спектр Гильберта и маргинальный спектр. Дополнительно выполняется сравнение маргинального спектра со спектральной плотностью мощности.

Целью работы является исследование акселерограмм с различным спектральным составом на основе преобразования Гильберта — Хуанга путем определения мгновенных частот, фаз и амплитуд с последующим построением двумерного и маргинального спектров, а также сопоставление и оценка распределения энергии сигнала с результатами вейвлет-преобразования и спектральной плотностью мощности.

Материалы и методы

Преобразование Гильберта — Хуанга основано на представлении произвольного нестационарного сигнала суммой n колебательных процессов с медленно меняющимися мгновенными характеристиками [14, 15, 19]. Процедура состоит из двух последовательных этапов. На первом выполняется эмпирическая модовая декомпозиция и формируются эмпирические моды. На втором над каждой модой берется преобразование Гильберта и вычисляются мгновенные частоты, фазы и амплитуды, после чего построением спектра Гильберта и его интегрированием по времени получают маргинальный спектр.

Эмпирическая модовая декомпозиция реализуется в следующей последовательности шагов. На первом шаге определяются все локальные максимумы $y_{\max_i}(t)$ и минимумы $y_{\min_i}(t)$ исходного сигнала $y(t)$. Затем по полученным экстремумам кубическими сплайнами строятся верхняя и нижняя огибающие. На третьем шаге вычисляется их среднее значение:

$$m_i(t) = \frac{y_{\min_i}(t) + y_{\max_i}(t)}{2}. \quad (1)$$

На четвертом шаге определяется первое приближение к первой эмпирической моде:

$$h_i(t) = y(t) - m_i(t). \quad (2)$$

Шаги 1—4 повторяются итерационно с заменой исходного сигнала текущим приближением. Процесс продолжается до тех пор, пока нормированная среднеквадратичная разность между двумя последовательными приближениями не станет меньше заданного порога:

$$\alpha = \sum_{i=0}^T \left(\frac{(h_{i-1}(t) - h_i(t))^2}{h_{i-1}(t)} \right) < SD. \quad (3)$$

В соответствии с рекомендациями [13] порог SD принят равным 0,2...0,3.

Последнее приближение, удовлетворяющее условию (3), принимается за первую эмпирическую моду $c_i(t) = h_i(t)$. Остаток сигнала после ее выделения вычисляется по выражению

$$r_i(t) = y(t) - c_i(t). \quad (4)$$

Описанная процедура применяется к остатку и так далее, пока остаток не станет монотонной функцией без экстремумов. Исходный сигнал представляется суммой эмпирических мод и финального остатка:

$$y(t) = \sum_{i=1}^n c_i(t) + r_n. \quad (5)$$

Согласно [13], функция считается эмпирической модой, если наступает выполнение двух условий: количество локальных экстремумов и нулей сигнала на всем интервале различаются не более чем на единицу; среднее значение огибающих, построенных по экстремумам, в каждой точке равно нулю.

Серьезной проблемой эмпирической модовой декомпозиции выступают краевые эффекты [18]. Кубический сплайн вблизи граничных точек интервала склонен к большим колебаниям, вследствие чего огибающие искажаются и искажение распространяется внутрь сигнала при последующих итерациях. Для подавления указанного эффекта в настоящей работе применено зеркальное продолжение сигнала на концах временной реализации. Идея состоит в том, что некоторое количество ближайших к границе экстремумов отражается симметрично относительно крайнего отсчета времени, после чего

интерполяционные сплайны строятся уже по расширенной последовательности экстремумов.

После завершения декомпозиции к каждой моде применяется преобразование Гильберта:

$$H[c_i(t)] = \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{c_i(\tau)}{t - \tau} d\tau. \quad (6)$$

Из (6) следуют выражения для мгновенных характеристик мод: фазы (7), частоты (8) и амплитуды (9):

$$\varphi(t) = \arctg \frac{H[c_i(t)]}{c_i(t)}; \quad (7)$$

$$\omega_i(t) = \frac{1}{2\pi} \frac{d\varphi(t)}{dt}; \quad (8)$$

$$A(t) = \sqrt{c_i^2(t) + H^2[c_i(t)]}. \quad (9)$$

Совокупность мгновенных амплитуд и частот образуют спектр Гильберта $H(\omega, t)$:

$$H(\omega, t) = \sum_{i=1}^n A_i(t) \delta(\omega - \omega_i(t)). \quad (10)$$

Интегрированием спектра Гильберта по времени получаем маргинальный спектр:

$$h(\omega) = \int_0^T H(\omega, t) dt. \quad (11)$$

Маргинальный спектр характеризует интегральное распределение энергии по частотам за весь период наблюдения. Его построение основано на мгновенных частотах, полученных для каждой эмпирической моды, что позволяет учитывать нестационарный характер исследуемого сигнала [20]. В отличие от спектра Фурье, маргинальный спектр формируется с учетом локальных изменений частотного состава во времени и обеспечивает более наглядное представление энергетически значимых диапазонов частот.

Для последующего сравнения с маргинальным спектром также была вычислена спектральная плотность мощности через быстрое преобразование Фурье [2]. Для дополнительной верификации частотно-временного распределения энергии применено непрерывное вейвлет-преобразование.

В качестве исходного материала выбраны две акселерограммы (рис. 1), различающиеся по частотному составу, амплитуде пикового ускорения и длительности, что обеспечивает разные условия для оценки поведения преобразования Гильберта — Хуанга при анализе сигналов разнообразного состава. Култук и Газли являются записями реальных землетрясений. Основные параметры записей сведены в табл. 1.

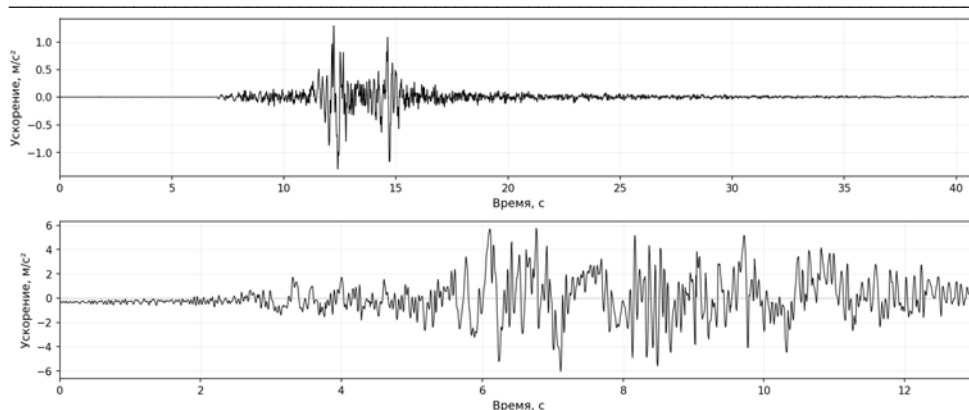


Рис. 1. Исходные акселерограммы: а — Култук; б — Газли

Т а б л и ц а 1

Параметры исследуемых акселерограмм

Запись	Число точек	Длительность, с	PGA, m/s^2
Култук	4096	40,95	1,30
Газли	1985	13,03	6,04

Результаты и обсуждение

Для обеих исследуемых записей ускорения выполнена эмпирическая модовая декомпозиция (ЭМД) и последующее преобразование Гильберта для каждой найденной модой.

При ЭМД сигнала Култука было найдено десять эмпирических мод с остатком, а сигнал Газли содержит в себе семь мод и остаток. На рис. 2 и 3 представлены результаты разложения акселерограмм. Демонстрируется процесс последовательного выделения колебательных мод, составляющих исходный сигнал, а также наличие остаточной монотонной компоненты. Каждая последующая мода имеет более низкую частоту относительно предыдущей, что соответствует свойству ЭМД выделять компоненты от высокочастотных к низкочастотным.

На рис. 4 и 5 представлены временные зависимости мгновенной амплитуды, частоты и фазы для каждой найденной моды исследуемых акселерограмм. Для записи Култукского землетрясения (см. рис. 4) огибающие мгновенных амплитуд для первых четырех мод имеют ярко выраженный пик в интервале 10...20 с и далее идет быстрое затухание, что согласуется с положением максимального ускорения на исходной акселерограмме. Заметно, что первые три моды являются высокочастотными, так как в них частота сильно изменяется во времени, что является признаком нестационарности сигнала. Мгновенная фаза монотонно возрастает во времени для каждой моды.

Для акселерограммы Газли (см. рис. 5) мгновенные частоты первых трех эмпирических мод достигают 30...50 Гц и изменяются достаточно быстро, что также типично для высокочастотных составляющих нестационарных сигналов. Пики мгновенных амплитуд всех мод располагаются в интервале 6...10 с, что отсылает на исходный сигнал.

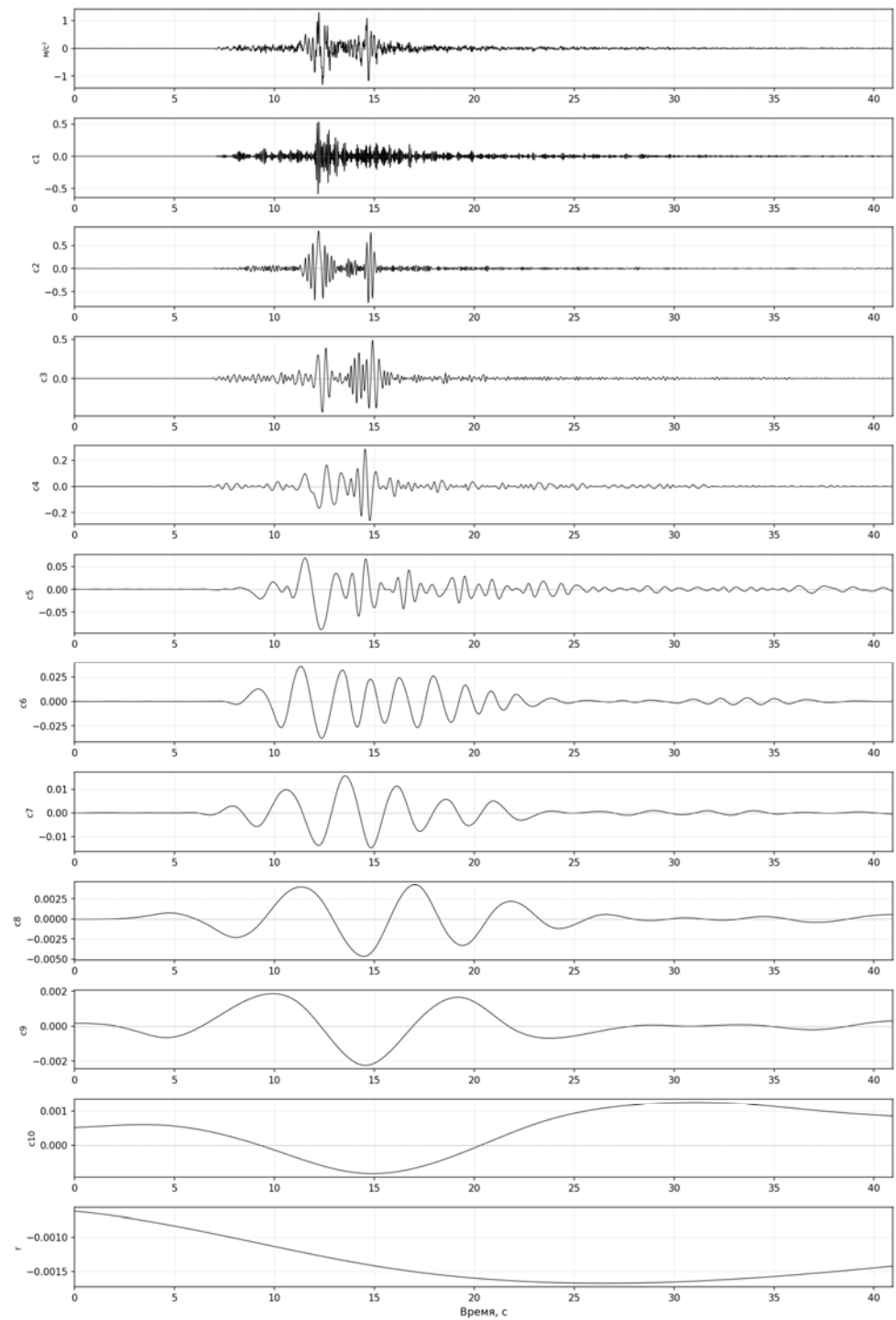


Рис. 2. Эмпирическая модовая декомпозиция акселерограммы Култук —
эмпирические моды $c_1 \dots c_{10}$, остаток r

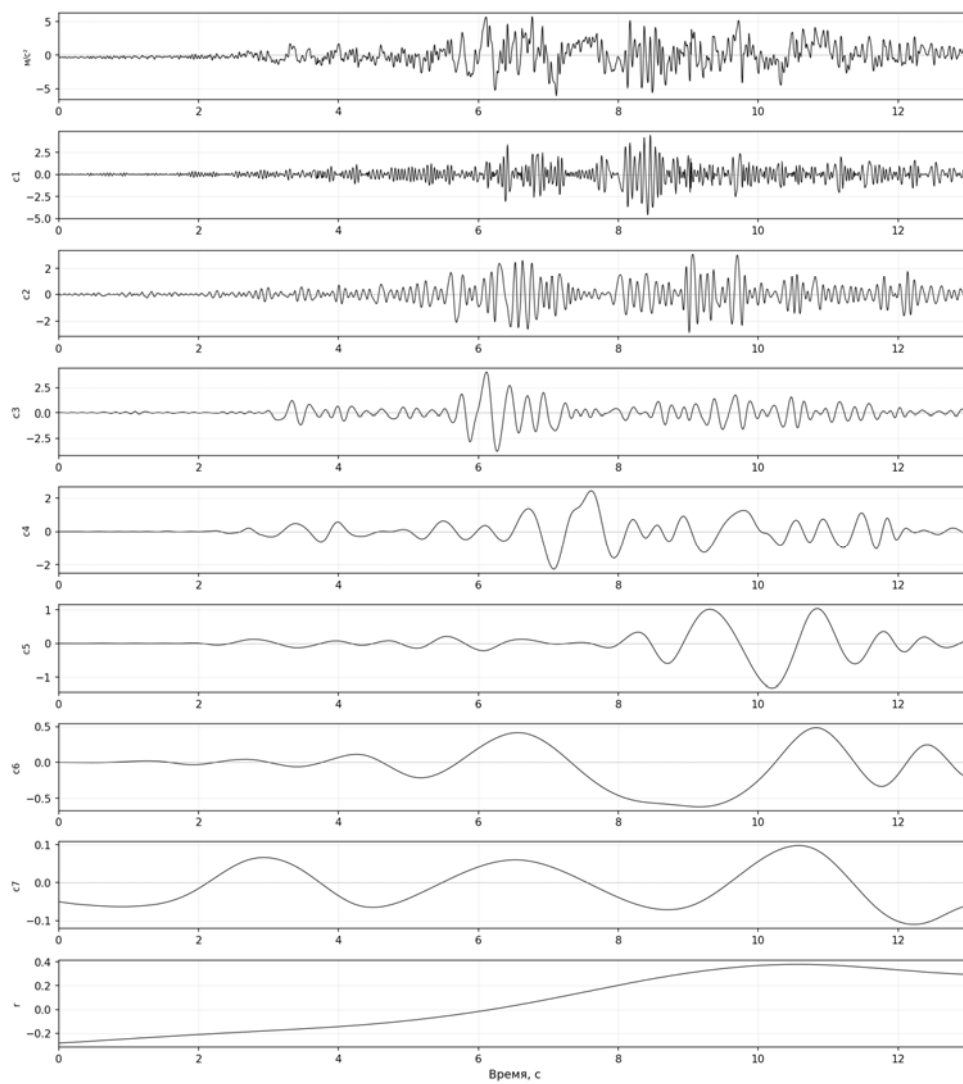


Рис. 3. Эмпирическая модовая декомпозиция акселерограммы Газли —
эмпирические моды $c_1 \dots c_7$, остаток r

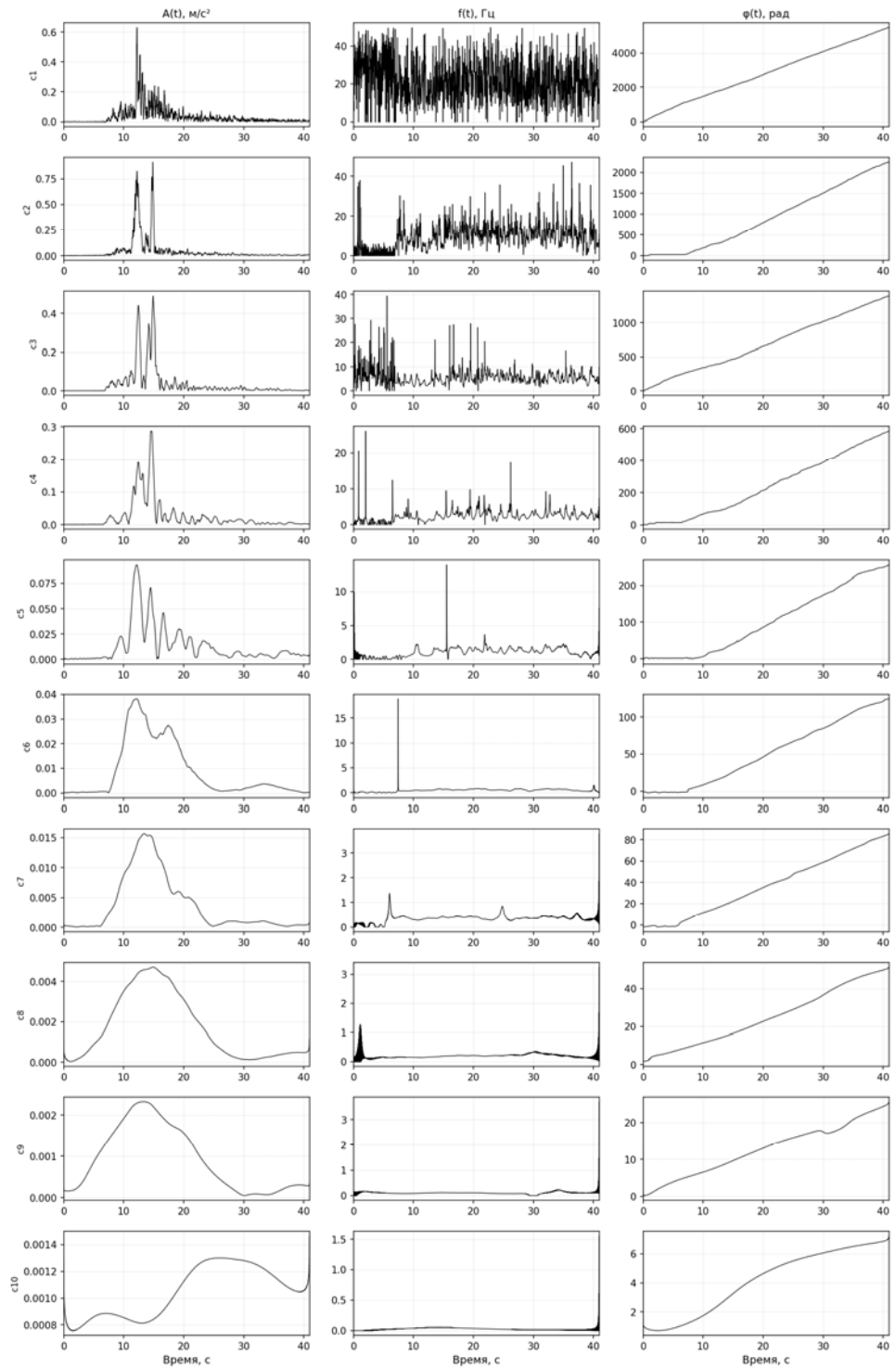


Рис. 4. Мгновенная амплитуда $A(t)$, мгновенная частота $f(t)$ и мгновенная фаза $\varphi(t)$ эмпирических мод акселерограммы Култук

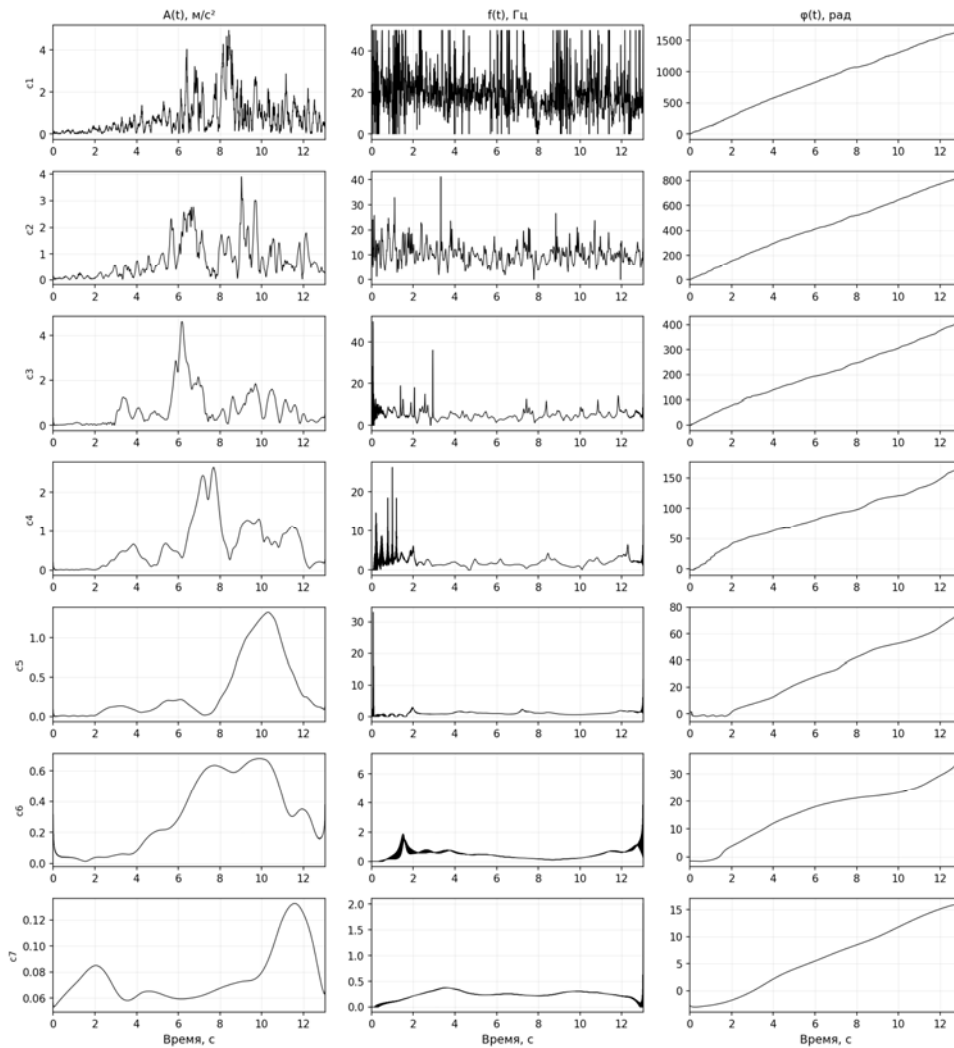


Рис. 5. Мгновенная амплитуда $A(t)$, мгновенная частота $f(t)$ и мгновенная фаза $\varphi(t)$ эмпирических мод акселерограммы Газли

На рис. 6 представлены спектры Гильберта и вейвлет-спектры для каждой акселерограммы. Ось абсцисс отображает временной интервал, ось ординат — мгновенную частоту, а цветная шкала представляет амплитуду сигнала. График иллюстрирует мгновенную амплитуду для каждой точки на плоскости «время — мгновенная частота». Рядом с каждым спектром Гильберта представлен соответствующий вейвлет-спектр, что позволяет визуально оценить сходимость результатов.

По результатам гильбертовского спектра (рис. 6, а) сигнала Култука энергия сосредоточена в диапазоне частот до 30 Гц на временном интервале 7...20 с, локально максимальные амплитуды зарегистрированы в более узкой полосе 1,5...5 Гц на интервале 12...15,5 с. При этом вейвлет-спектр выявляет основную область повышенной спектральной плотности в полосе 0...30 Гц в интервале 7...25 с, что соответствует пиковым значениям ускорений исходной

акселерограммы. Локализация максимальных амплитуд подтверждается, однако показывает более широкие границы 1...10 Гц на интервале 10...15 с. Данное расхождение возникает в результате различной разрешающей способности методов.

В противоположность Култуку, гильбертовский спектр (рис. 6, б) сигнала Газли демонстрирует существенно более широкое частотное распределение энергии. Основная составляющая занимает диапазон 0...20 Гц на интервале 4,5...12 с. Локально пиковые значения амплитуд сконцентрированы в полосе 3...10 Гц в интервале 6...10 с. Вейвлет-спектр подтверждает наличие основной области энергии в пределах 1...20 Гц на интервале 5...10 с. Основной вклад в энергию приходится на низкочастотную часть спектра, локальные максимумы амплитуды приходится до 10 Гц в интервале от 6 до 8 с.

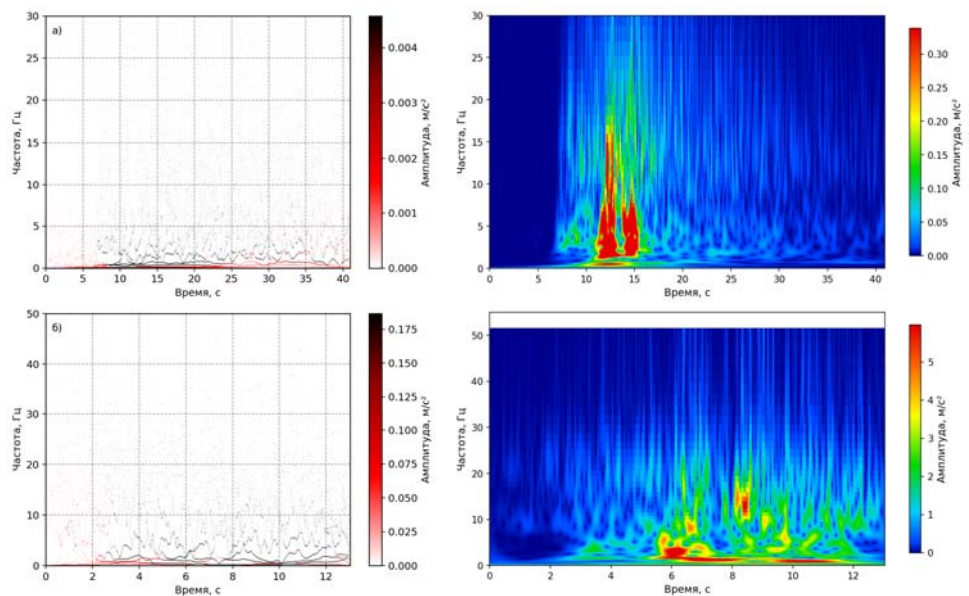


Рис. 6. Спектр Гильберта и вейвлет-спектры акселерограммы: а — Култуку; б — Газли

Маргинальные спектры Гильберта — Хуанга акселерограмм приведены на рис. 7. Они характеризуют суммарный вклад каждой частоты в энергию сигнала. Для записи Култуковского землетрясения (рис. 7, а) спектр имеет ярко выраженные пики на частотах 2,5 и 6 Гц, небольшой скачок энергии от 10 до 15 Гц. Для акселерограммы Газли (рис. 7, б) спектр имеет основную энергию в более узкой полосе от 0 до 5 Гц, далее плавно затухает. При этом уровень суммарной амплитуды намного выше, чем у первой записи, что отражает его высокоинтенсивный характер.

Спектральная плотность мощности акселерограмм приведена на рис. 8.

На рис. 9 представлено сопоставление спектральной плотности мощности и спектра Гильберта для исследуемых акселерограмм. Результаты сравнения показывают, что данные подходы позволяют выделить основные частотные компоненты сигнала и указывают на концентрацию спектральной энергии в области низких частот. Вместе с тем между полученными спектральными характеристиками наблюдаются различия, проявляющиеся

в распределении мощности по частотам и степени выраженности отдельных спектральных максимумов.

Для акселерограммы Култук (рис. 9, *а*) результаты двух подходов согласуются между собой. Основные пики наблюдаются в области 2,5 Гц, 6 Гц и 12 Гц как на СПМ, так и на спектре Гильберта. После 8...10 Гц амплитуды данных спектров существенно уменьшаются, а в высокочастотной области отмечаются лишь слабовыраженные колебания. Различия между двумя методами проявляются в величине амплитуд и ширине отдельных спектральных максимумов.

Для акселерограммы Газли (рис. 9, *б*) взаимосвязанность подходов складывается другим образом. Основной максимум спектра Гильберта соответствует частоте 2,89 Гц, тогда как по СПМ доминирующий пик наблюдается на частоте 1,46 Гц. При этом оба спектра указывают на преобладание низкочастотных составляющих сигнала. В сравнении с акселерограммой Култука спектральные характеристики выражаются большим числом локальных максимумов и более разнообразным диапазоном частот, в котором сохраняются заметные значения спектральной мощности.

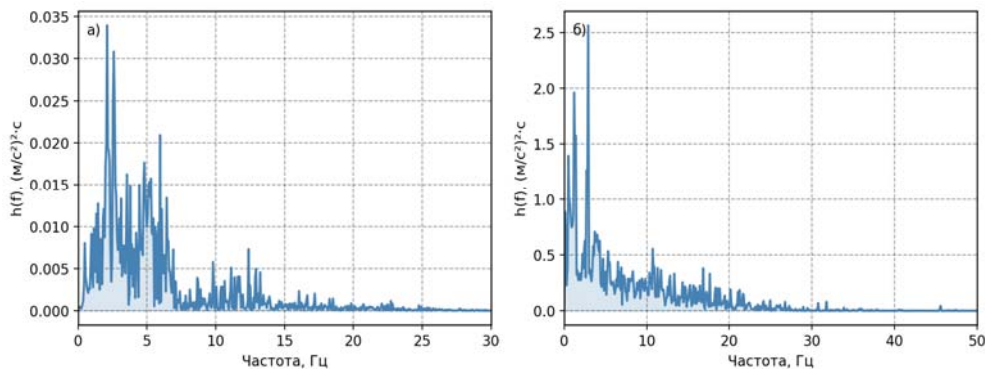


Рис. 7. Маргинальные спектры Гильберта — Хуанга акселерограмм:
а — Култук; *б* — Газли

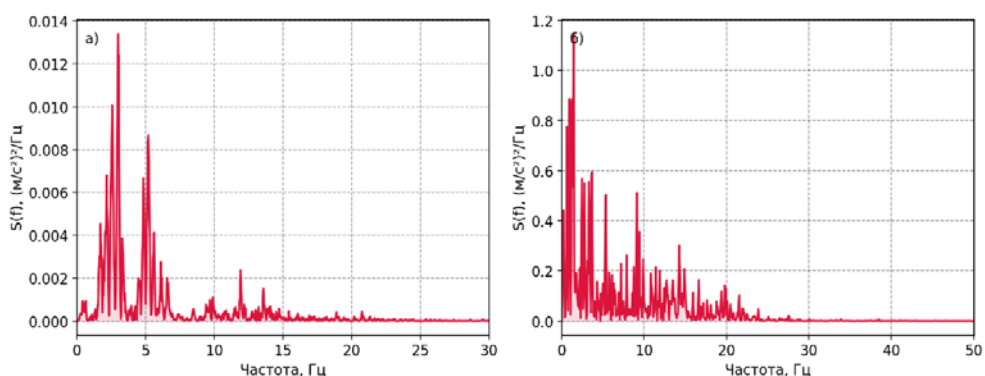


Рис. 8. Спектральная плотность мощности акселерограмм:
а — Култук; *б* — Газли

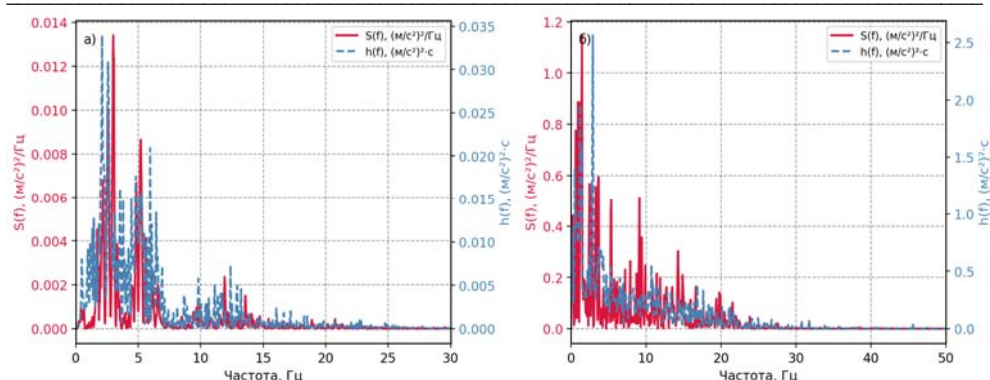


Рис. 9. Сравнение СПМ и Гильберта

Выводы

Анализ акселерограмм землетрясений осложняется их выраженной нестационарностью и изменчивостью частотного состава по времени. Традиционные методы спектрального анализа, такие как преобразование Фурье и вейвлет-преобразование, имеют существенные ограничения при исследовании локальных частотно-временных характеристик сигнала. В свою очередь, использование преобразования Гильберта — Хуанга позволяет получить детальное представление о распределении энергии акселерограмм в частотной области.

Анализ маргинальных спектров позволил определить диапазоны частот с наибольшей концентрацией энергии, что в дальнейшем можно использовать при оценке для сопоставления спектрального состава сейсмического воздействия с динамическими характеристиками сооружений. При этом сопоставление маргинального спектра со спектральной плотностью мощности показало совпадение в определении основных энергетически значимых диапазонах частот. Полученные результаты свидетельствуют о том, что оба подхода позволяют выявлять схожие закономерности распределения энергии по частотам, однако положение доминирующих частот и величин спектральных максимумов может различаться вследствие различий в способах обработки нестационарных сигналов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Elgohary H. A.* Benchmark strong ground motion records: statistical analysis of response variability and selection bias // Journal of Umm Al-Qura University for Engineering and Architecture. 2025. DOI: 10.1007/s43995-025-00220-2.
2. *Пиеничкина В. А., Душко О. В., Кашина Е. С., Мельникова Е. С.* Влияние спектральных характеристик акселерограмм на динамический отклик высотного здания // Вестн. Волг. гос. архитектур.-строит. ун-та. Сер. : Стр-во и архитектура. 2026. Вып. 2(103). С. 39—48.
3. *Мкртычев О. В., Тагиров Т. А., Лохова Е. М.* Реакция высотного здания на акселерограммы представительного набора // Промышленное и гражданское строительство. 2025. № 1. С. 14—19. DOI: 10.33622/0869-7019.2025.01.14-19.
4. *Мкртычев О. В., Решетов А. А.* Представительный набор акселерограмм для расчета на сейсмические воздействия // Промышленное и гражданское строительство. 2023. № 9. С. 43—50. DOI: 10.33622/0869-7019.2023.09.43-50.
5. *Пиеничкина В. А., Иванов С. Ю., Рекунов С. С., Чураков А. А.* Оценка надежности системы «сооружение — многослойное основание» с учетом жесткости, мощности и конфигурации слоев // Вестн. МГСУ. 2025. Т. 20. Вып. 6. С. 888—898. DOI: 10.22227/1997-0935.2025.6.888-898.

6. Assessment of seismic response of a 29-storey building on raft and piled raft foundations considering soil-structure interaction / V. A. Pshenichkina, S. Yu. Ivanov, V. V. Drozdov, L. S. Sabitov, L. I. Kiiamova // Construction Materials and Products. 2026. Vol. 9. Iss. 1. DOI: 10.58224/2618-7183-2026-9-1-1.
7. Ding Y., Xu Y., Miao H. Mathematical and physical characteristics of the phase spectrum of earthquake ground motions // Buildings. 2024. Vol. 14. Iss. 5. P. 1250. DOI: 10.3390/buildings14051250.
8. Болотин В. В. Случайные колебания упругих систем. М. : Наука, 1979.
9. Genovese F., Muscolino G., Biondi G., Cascone E. A novel method for the generation of fully non-stationary spectrum compatible artificial accelerograms // ECCOMAS Procedia. 2021. Pp. 1437—1444. DOI: 10.7712/120121.8571.19448.
10. Мкртычев О. В., Решетов А. А. Применение вейвлет-анализа для получения характеристик акселерограмм // Вестн. МГСУ. 2013. № 7. С. 59—67.
11. Yanni H., Fragiadakis M., Mitseas I. P. Wavelet-based stochastic model for the generation of fully nonstationary bidirectional seismic accelerograms // Earthquake Engineering & Structural Dynamics. 2025. Vol. 54. Iss. 8. Pp. 1397—1416. DOI: 10.1002/eqe.4315.
12. Tool-emitted sound signal decomposition using wavelet and empirical mode decomposition techniques — a comparison / E. R. Joseph, H. Jakir, B. Thangavel, A. Nor, T. L. Lim, P. R. Mariathangam // Symmetry. 2024. Vol. 16. P. 1223. DOI: 10.3390/sym16091223.
13. The empirical mode decomposition and the Hilbert spectrum for nonlinear and non-stationary time series analysis / N. E. Huang, Z. Shen, S. R. Long et al. // Proceedings of the Royal Society of London. Series A. 1998. Vol. 454. Pp. 903—995.
14. Bagheri A., Fatemi A. A., Amiri G. G. Simulation of earthquake records by means of empirical mode decomposition and Hilbert spectral analysis // Journal of Earthquake and Tsunami. 2014. Vol. 8. Iss. 1. DOI: 10.1142/S179343111450002X.
15. Huang T.-L., Lou M.-L., Chen H.-P., Wang N.-B. An orthogonal Hilbert — Huang transform and its application in the spectral representation of earthquake accelerograms // Soil Dynamics and Earthquake Engineering. 2018. Vol. 104. Pp. 378—389.
16. Alvanitopoulos P. F., Andreadis I., Elenas A. Interdependence between damage indices and ground motion parameters based on Hilbert — Huang transform // Measurement Science and Technology. 2010. Vol. 21. Iss. 2. DOI: 10.1088/0957-0233/21/2/025101.
17. Кан Ш. Ч., Микулович А. В., Микулович В. И. Анализ нестационарных сигналов на основе преобразования Гильберта — Хуанга // Информатика. 2010. № 2. С. 36—47.
18. Zarekar J., Payganeh G., Khajavi M. N. A new method for reducing end effects in empirical mode decomposition // International Journal of Nonlinear Analysis and Applications. 2020. Vol. 11. Special Iss. Pp. 351—359. DOI: 10.22075/IJNAA.2020.4587.
19. Cavassi R., Cicone A., Pellegrino E., Zhou H. A novel algorithm for the decomposition of non-stationary multidimensional and multivariate signals // Computation. 2025. Vol. 13. Iss. 5. P. 112. DOI: 10.3390/computation13050112.
20. Comparison between traditional fast Fourier transform and marginal spectra using the Hilbert — Huang transform method for the broadband spectral analysis of the electroencephalogram in healthy humans / E. Arrufat-Pié, M. Estévez-Báez, J. M. Estévez-Carreras, C. Machado-Curbelo, G. Leisman, C. Beltrán // Engineering Reports. 2021. Vol. 3. DOI: 10.1002/eng2.12367.

© Пшеничкина В. А., Душко О. В., Иванов С. Ю., Кашина Е. С., Мельникова Е. С., 2026

Поступила в редакцию
23.06.2026

Ссылка для цитирования:

Применение преобразования Гильберта — Хуанга для исследования спектральных характеристик акселерограмм землетрясений / В. А. Пшеничкина, О. В. Душко, С. Ю. Иванов, Е. С. Кашина, Е. С. Мельникова // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2026. Вып. 3(104). С. 57—70. DOI: 10.35211/18154360_2026_3_57.

Об авторах:

Пшеничкина Валерия Александровна — д-р техн. наук, проф., зав. каф. строительных конструкций, оснований и надежности сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; skoins@mail.ru

Душко Олег Викторович — д-р техн. наук, доц., зав. каф. строительной механики, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; ovd28@mail.ru

Иванов Станислав Юрьевич — канд. техн. наук, доц. каф. строительных конструкций, оснований и надежности сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; stassuz-1-14@yandex.ru

Кашина Екатерина Сергеевна — аспирант, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; keit_cat08@mail.ru

Мельникова Екатерина Сергеевна — аспирант, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; kate22828@gmail.com

Valeriya A. Pshenichkina, Oleg V. Dushko, Stanislav Yu. Ivanov, Ekaterina S. Kashina, Ekaterina S. Melnikova

Volgograd State Technical University

APPLICATION OF THE HILBERT — HUANG TRANSFORM FOR THE INVESTIGATION OF THE SPECTRAL CHARACTERISTICS OF EARTHQUAKE ACCELEROGRAMS

The research was carried out at the expense of financial support for the implementation of the VSTU development program within the framework of the strategic academic leadership program “Priority 2030”, a research project No. 45/052-26

The paper analyzes the accelerograms of the Kultuk and Gazli earthquakes, characterized by significantly different spectral compositions, using the Hilbert — Huang transform. Instantaneous amplitudes, frequencies, and phases of each mode were obtained. A comparison of the obtained results with wavelet analysis data was carried out. It was established that the Hilbert — Huang transform provides effective localization of frequency components in time and allows the nonstationary nature of seismic actions to be taken into account.

Key words: Hilbert — Huang transform, mode decomposition, accelerogram analysis, wavelet analysis, seismic action, spectral characteristics.

For citation:

Pshenichkina V. A., Dushko O. V., Ivanov S. Yu., Kashina E. S., Melnikova E. S. [Application of the Hilbert — Huang transform for the investigation of the spectral characteristics of earthquake accelerograms]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2026, iss. 3, pp. 57—70. DOI: 10.35211/18154360_2026_3_57.

About authors:

Valeriya A. Pshenichkina — Doctor of Engineering Sciences, Professor, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; skoins@mail.ru

Oleg V. Dushko — Doctor of Engineering Sciences, Docent, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; ovd28@mail.ru; ORCID: 0000-0002-3982-1899

Stanislav Yu. Ivanov — Candidate of Engineering Sciences, Docent, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; stassuz-1-14@yandex.ru

Ekaterina S. Kashina — Postgraduate student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; keit_cat08@mail.ru

Ekaterina S. Melnikova — Postgraduate student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; kate22828@gmail.com