

Раздел 4. Экологическая безопасность

УДК 624.131.5

МОДЕЛЬ ДВИЖЕНИЯ ГРУНТА В ПРОЦЕССЕ СЕЙСМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ

Чемодуров В. Т., Литвинова Э. В.

Институт «Агротехнологическая академия» ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского»

Адрес: 295492, Республика Крым, г. Симферополь, п. Аграрное

e-mail: Chens_mu1@mail.ru, EllaLit@mail.ru

Аннотация. В статье предлагается модель сейсмического сигнала, основанного на использовании теории случайных функций. Для исследования характеристик любой системы математическими методами, включая и машинные, должна быть обязательно проведена формализация этого процесса, то есть построена математическая модель. Центральное место уделено математическому описанию движения частиц грунта в реальном процессе их колебаний. С этой целью используются вероятностные методы представления случайных функций в виде гармонических рядов, спектрального разложения дисперсии случайного процесса. Данный подход к моделированию сейсмического сигнала носит дискуссионный характер, так как известно, что структура сейсмического сигнала определяется механизмом очага и закономерностями процесса распространения сигналов сейсмических волн в упругом полупространстве. Главным в статье является развитие метода оценки параметров движения частиц грунта, определяющих силовое воздействие на строительное сооружение на основе модели нерегулярного волнового процесса. Вместе с тем, сейсмический сигнал всегда осложнен фоном механических шумов, носящих характер случайного процесса.

Предмет исследования. Математическое описание движения частиц грунта в реальном процессе их колебаний.

Материалы и методы. Общая теория волновых процессов для моделирования движения грунта. Вероятностные методы представления случайных функций в виде гармонических рядов, спектрального разложения дисперсии случайного процесса.

Результаты. Разработанная методика расчета параметров нерегулярных волновых процессов апробирована при изучении влияния волнения моря на движущиеся объекты.

Выводы. Развитие метода оценки параметров движения частиц грунта, определяющих силовое воздействие на строительное сооружение на основе модели нерегулярного волнового процесса, дает возможность получить объективную оценку физических явлений и процессов на этапе оценки прочностных характеристик объектов в процессе их эксплуатации.

Ключевые слова: стационарность случайных процессов, корреляционная функция, спектральная плотность, нормированная спектральная плотность, спектр случайного процесса, надежность строительных конструкций.

ВВЕДЕНИЕ

Одной из проблем современной науки является разработка и внедрение в практику методов исследования динамики функционирования систем. Надежным инструментом в изучении этих вопросов является метод математического моделирования, который позволяет решать весьма сложные задачи.

На практике часто встречаются случайные процессы, обладающие важным свойством – стационарностью, вероятностные свойства которого не зависят от начала отсчета времени t . Свойством стационарности обладают установившиеся процессы вдали от переходных режимов. К их числу вполне возможно отнести процессы, достаточной длительности во времени. Свойство стационарности существенно упрощает весь аппарат теории случайных процессов. Так у стационарного процесса средняя и дисперсия есть постоянные числа.

Установившийся случайный процесс обладает еще одним существенным свойством – ординаты его распределяются по нормальному закону. Эти законы полностью определяются средними значениями и корреляционными моментами.

Моделирование колебаний основания связано с вопросами теории подобия [1]. Динамическое подобие процессов требует рассмотрения

некоторых ряда необходимых и достаточных условий подобия, обусловленных влиянием времени, плотности материалов, вязкости, трения и в их взаимодействии с другими факторами, определяющих исследуемое явление в поведении системы.

Соблюдение динамического подобия принципиально возможно, если для сил любого происхождения – инерциальных, сил тяжести, вязкости, упругих, а также реактивных, в обеих сравнительных системах при динамическом процессе соблюдается постоянное и одинаковое отношение.

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

Существенное развитие механика грунтов получила в работах ученых русской школы: Н. П. Пузыревского (1923), Н. М. Герсеванова (1931), Н. А. Цытовича (1934), В. А. Флорина (1936), В. В. Соколовского (1942), К. Е. Егорова (1948), В. Г. Березанцева (1948). [2].

Проблеме поведения грунтов при динамических нагрузках уделяли большое внимание Е.А. Вознесенский, В.Т. Трофимов, В.Г. Коваленко, О.В. Зеркаль, В.А. Калачев, Е.Н. Самарин, В.Л. Шипков и др., а также такие зарубежные ученые, как Й. Вейд, М. Новаку, В. Финн и др. [3]

В соответствии с [4] при значениях фазовых скоростей распространения сейсмических волн до 400 м/с теперь необходимо учитывать волновой характер сейсмического воздействия. Инженерный анализ с учетом волновых сейсмических эффектов подразумевает применение интегральной дилатационно-ротационной или дифференцированной моделей движения грунта и получение соответствующих этим моделям расчетных параметров сейсмической нагрузки. Если фундамент податливый, а воздействие длинноволновое (доминирующие длины сейсмических волн многократно превосходят размеры фундамента), то интегральная модель также применима. Модель дифференцированного движения грунта принимается в случаях, когда одновременно сочетаются два фактора [5–7]:

1) в спектре воздействия преобладают короткие волны с малыми длинами (по сравнению с размерами фундамента);

2) здание или сооружение имеет податливый фундамент или установлено на дискретных опорах.

В [5–7] рассматривается применение линейно-спектрального метода при дифференцированном сейсмическом воздействии.

Для расчетов динамических нагрузок от близко расположенных неглубоких очагов землетрясений, когда в спектре воздействия преобладают поперечные волны, следует использовать методику моделирования Сиды–Идрисса [3].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для установившихся случайных процессов корреляционная функция имеет вид затухающей косинусоиды (рисунок 1).

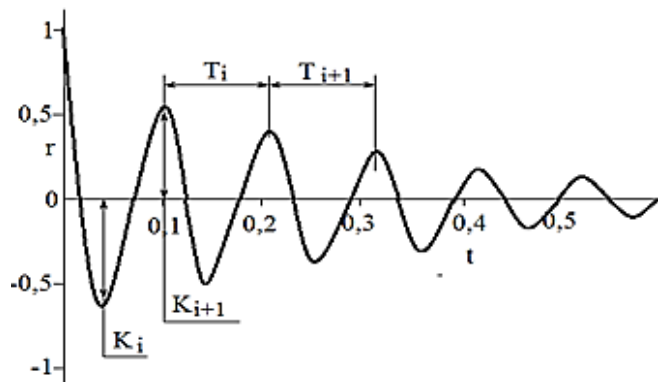


Рис. 1. Корреляционная функция стационарного случайного процесса

Fig. 1. Correlation function of a stationary random process

Затухающая косинусоида такого типа хорошо аппроксимируется формулой

$$K_x(\tau) = D_x e^{-\alpha|\tau|} \cos \beta \tau, \quad (1)$$

которая широко используется на практике. Входящие в (1) величины α и β имеют размерность частоты (1/с) и связаны с характеристиками корреляционной функции $K_x(\tau)$, D_x – дисперсия.

Пусть T_i , $i = \overline{1, n}$ есть периоды $K_x(\tau)$. Средний период корреляционной функции будет равен

$$T_{cp} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n T_i. \quad (2)$$

Величина β представляет собой среднюю частоту корреляционной функции

$$\beta = \frac{2\pi}{T_{cp}}, \quad (3)$$

параметр α является ее коэффициентом затухания.

Обозначим v_i – логарифмический декремент затухания соседних экстремумов K_i и K_{i+1}

$$v_i = \ln \left| \frac{K_i}{K_{i+1}} \right|. \quad (4)$$

Средний декремент затухания будет

$$v_{cp} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m v_i \quad (5)$$

В этом случае параметр α определяется выражением

$$\alpha = \frac{v_{cp}}{T_{cp}/2} = v_{cp} \frac{2}{T_{cp}} \frac{\pi}{\pi} = v_{cp} \frac{\beta}{\pi}. \quad (6)$$

Для физически одинаковых случайных процессов отношение $\alpha/\beta = v_{cp}/\pi$ оказывается довольно устойчивым.

Для учета начального сдвига фазы кривой $K_x(\tau)$ Фирсовым Г. А. [8] предложена следующая формула для описания случайного процесса

$$K_x(\tau) = D_x e^{-\alpha|\tau|} \left(\cos \beta \tau - \frac{\alpha \beta}{2\alpha^2 + \beta^2} \sin \beta |\tau| \right). \quad (7)$$

На практике весьма полезной оказывается еще одна характеристика стационарных случайных процессов, которую называют их спектральной плотностью. Для выяснения смысла этой

характеристики рассмотрим вначале некоторую неслучайную функцию $X(t)$. Эту функцию можно представить в виде суммы отдельных гармоник с частотами ω_i и амплитудами A_i и B_i

$$X(t) = A_0 + \sum_{i=1}^n (A_i \cos \omega_i t + B_i \sin \omega_i t). \quad (8)$$

Величины A_0 , A_i , B_i находятся как коэффициенты ряда Фурье. Выражение (8) можно записать в виде

$$X(t) = A_0 + \sum_{i=1}^n C_i \cos(\omega_i t + \varphi_i), \quad (9)$$

где $C_i = \sqrt{A_i^2 + B_i^2}$, $\varphi_i = \arctg(B_i/A_i)$.

Спектром функции $X(t)$ называют функцию, определяющую зависимость амплитуд C_i от частот ω_i . Эта функция характеризует внутреннюю структуру неслучайного процесса $X(t)$.

Теперь рассмотрим стационарный случайный процесс $X(t)$. Доказано, что такой процесс можно разложить также на элементарные гармоники с частотами ω_i и амплитудами u_i и v_i , которые в отличие от неслучайной функции будут случайными величинами. Таким образом, всякий стационарный случайный процесс можно представить в виде

$$X(t) = m_x + \sum_{i=1}^n (u_i \cos \omega_i t + v_i \sin \omega_i t), \quad (10)$$

где m_x – среднее процесса. Процесс (10) будет стационарным в широком смысле при соблюдении следующих условий:

- средние значения случайных величин равны нулю $m_{ui} = m_{vi} = 0$;
- дисперсии случайных величин одинаковы $D_{ui} = D_{vi} = D_i$;
- величины u_i и v_i не коррелированы, при каждом i $K_{uivi} = 0$.

Представление $X(t)$ в форме (10) при соблюдении перечисленных условий называется каноническим разложением случайного процесса.

Дисперсия процесса (10) по теореме о дисперсии суммы некоррелированных случайных величин находится следующим образом [9–12]

$$D_x = \sum_{i=0}^n (D_{ui} \cos^2 \omega_i t + D_{vi} \sin^2 \omega_i t) = \sum_{i=0}^n D_i, \quad (11)$$

то есть равна сумме дисперсий амплитуд элементарных гармоник.

Имея в виду непрерывность частот ω_i , удобно рассмотреть частоты на равных интервалах $\Delta\omega$ и ввести понятие плотности дисперсии

$$S_x(\omega_i) = \frac{D_i}{\Delta\omega}. \quad (12)$$

Здесь $S_x(\omega_i)$ – средняя дисперсия на интервале частот $\omega_i \leq \omega \leq \omega_{i+1}$. На основании (11) будем иметь.

$$D_x = \sum_{i=0}^n D_i = \sum_{i=0}^n S_x(\omega_i) \Delta\omega. \quad (13)$$

Перейдя к пределу $\Delta\omega \rightarrow 0$, $n = \infty$, ω будет непрерывным параметром. Получим

$$D_x = \int_0^\infty S_x(\omega) d\omega. \quad (14)$$

Непрерывная функция $S_i(\omega)$ называется спектральной плотностью случайного стационарного процесса. Функции $S_x(\omega)$ и $K_x(\tau)$ связаны друг с другом косинус-преобразованием Фурье

$$S_x(\omega) = \frac{2}{\pi} \int_0^\infty K_x(\tau) \cos(\omega\tau) d\tau. \quad (15)$$

Нормированной спектральной плотностью называют функцию

$$s_x(\omega) = \frac{S_x(\omega)}{D_x}. \quad (16)$$

Очевидно

$$\int_0^\infty s_x(\omega) d\omega = 1. \quad (17)$$

Используя зависимость (15) для корреляционной функции (7) можно получить

$$S_x(\omega) = D_x \frac{4}{\pi} \frac{\alpha b^2}{2\alpha^2 + \beta^2} \frac{\omega^2 + \alpha^2}{\omega^4 + 2\alpha^2\omega^2 + b^4}, \quad (18)$$

где $a^2 = \alpha^2 - \beta^2$, $b^2 = \alpha^2 + \beta^2$. Частота ω_1 максимума функции (18) определяется из уравнения

$$\frac{dS_x(\omega)}{d\omega} = 0. \quad (19)$$

$$\omega_1 = \beta \sqrt{\sqrt{1 + 4 \frac{\alpha^2}{\beta^2}} - \frac{\alpha^2}{\beta^2}}. \quad (20)$$

С учетом того, что $\alpha/\beta \approx 0,2$ будем иметь

$$\omega_1 \approx 1,02\beta, \quad (21)$$

то есть частота максимума спектра приблизительно равна средней частоте корреляционной функции. Это обстоятельство часто используют при рассмотрении спектров случайных процессов.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

По формуле (18) может быть построен спектр волнового процесса, если заданы параметры его корреляционной функции α и β , а также известна дисперсия D_x [11–12]. Покажем это на примере хорошо изученного волнения моря. На рисунке 2 приведены нормированные спектры для различной бальности волнения моря 8, 6 и 4 балла (соответственно кривые 1, 2, 3). Как видно, с уменьшением интенсивности волнения частота максимума спектра ω_i смещается вправо.

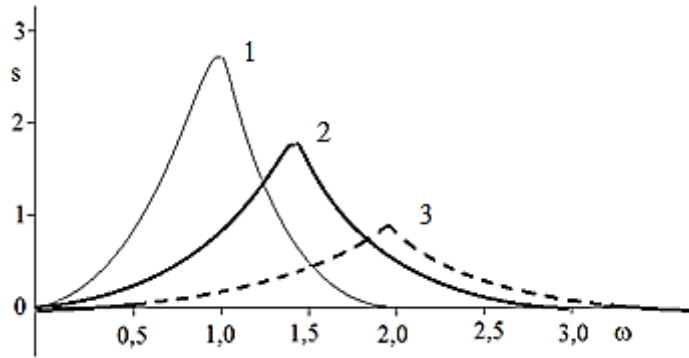


Рис. 2. Нормированные спектры случайных процессов

Fig. 2. Normalized spectra of random processes

В случае двумерного волнения спектр будет одномерным, $S_x(\omega)$ зависит только от частоты ω .

Существенным для характеристики спектра является его площадь

$$D_B = \int_0^{\infty} S_B(\omega) d\omega. \quad (22)$$

Дисперсия D_B связана с интенсивностью волнения. Она возрастает с увеличением амплитуды волнения.

Ширина спектра волнения характеризуется параметром ε

$$\varepsilon = \left(1 - \frac{[\int_0^{\infty} \omega^2 S_B(\omega) d\omega]^2}{\int_0^{\infty} \omega^4 S_B(\omega) d\omega} \right)^{1/2} \quad (23)$$

Если $\varepsilon \leq 0,4$, то спектр называют узким, а функция $s_B(\omega)$ сосредоточена вблизи одной частоты. При широком спектре, когда $\varepsilon \geq 0,4$, $s_B(\omega)$ распределена в более широком диапазоне частот ω . Выражение формы спектра в виде

$$s_B(\omega) = \frac{S_B(\omega)}{D_B}$$

удобно для подбора аппроксимирующих функций.

При этом дисперсия D_B служит масштабом спектра $S_B(\omega)$ при заданной функции $s_B(\omega)$.

Как правило, в большинстве практических случаев отношение

$$\frac{\alpha}{\beta} = v_{\text{ср}} \frac{1}{\pi} \quad (24)$$

носит довольно устойчивый характер и колеблется вблизи $\alpha/\beta \approx 0,21 \div 0,22$. Это позволяет назначать один из параметров (например, β) и определять второй приближенно по (24).

Как было показано выше, волновые случайные процессы достаточно хорошо описывается корреляционной функцией (7), которая имеет спектр (18).

Для данного спектра характерно наличие ординат при $\omega = 0$ и $\omega = \infty$. При $\omega = 0$ имеем

$$S_B(0) = \frac{4}{\pi} D_B \frac{\alpha b^2}{2\alpha^2 + \beta^2} \frac{\alpha^2}{b^4}. \quad (25)$$

При $\omega = \beta$ получим

$$S_B(\beta) = \frac{4}{\pi} D_B \frac{\alpha b^2}{2\alpha^2 + \beta^2} \frac{b^2}{\alpha^4 + 4\alpha^2 \beta^2}. \quad (26)$$

Эта ордината равна максимальной. Рассмотрим отношение

$$\frac{S_B(0)}{S_B(\beta)} = \left(\frac{\alpha}{\beta} \right)^4 \frac{4 + \frac{\alpha^2}{\beta^2}}{\left(1 + \frac{\alpha^2}{\beta^2} \right)^3}. \quad (27)$$

Если $\alpha/\beta = 0,2$, то $S_B(0) = 0,0056 \cdot S_B(\beta)$. Как видно, ордината спектра при $\omega = 0$ достаточно мала. При $\omega \rightarrow \infty$ спектр (18) быстро затухает. Таким образом, для оценки волновых процессов достаточно рассматривать только существенную часть спектра. Что касается расположения спектра по оси частот, то, как отмечалось, оно определяется частотой его максимума ω_1 . При $\alpha/\beta = 0,2$ ω_1 отличается от β на $1 \div 2\%$. Поэтому практически считают, что частота максимумов спектра (18) $\omega_1 = \beta$, то есть равна средней частоте корреляционной функции $K_B(\tau)$ (7).

Параметр α определяет ширину спектра. Чем меньше α , тем ближе процесс волнения сходится к регулярному и тем уже его спектр. Его ординаты будут более сосредоточены вблизи частоты $\omega = \beta$.

Вопрос о том, на какую динамическую нагрузку должны рассчитываться строительные сооружения, является наиболее сложным и противоречивым в процессе проектирования. Бесспорно, что основным принципом при решении этого вопроса должно быть максимальное приближение расчетных параметров к реально возможным, причем наиболее тяжелым. В этом отношении вероятностные методы обладают несомненными преимуществами, так как они позволяют при случайном характере внешнего воздействия учесть их реальные вероятностные законы вместо условного выбора отдельных возможных значений или реализаций.

С целью обеспечения высокой надежности строительных конструкций их проектирование следует производить исходя из такого режима

сейсмической нагрузки, который может быть встречен в процессе эксплуатации и является наиболее тяжелым в отношении внешних сил, действующих на сооружение [12].

После выбора волнового процесса и его параметров программируется расчет нормированной спектральной плотности для ряда дискретных значений ω_i . Как показывает опыт, интервал частот выбирается от $\omega = 0$ до $\omega \leq 1,6$, с дискретностью $\Delta\omega = 0,2$. Использование нормированной спектральной плотности удобно с той точки зрения, что она не зависит от дисперсии реального волнения.

$$s(\omega) = \frac{4}{\pi} \frac{ab^2}{2\alpha^2 + \beta^2} \frac{\omega^2 + \alpha^2}{\omega^4 + 2\alpha^2\omega^2 + d^4}. \quad (28)$$

Каждому значению частоты ω_i соответствует дисперсия i -ой элементарной волны

$$\sigma_i^2 = D_b s(\omega_i) \Delta\omega, \quad \sigma_i \sqrt{s(\omega_i) \Delta\omega}. \quad (29)$$

Ординаты частиц поверхности грунта в заданных направлениях рассчитываются как сумма элементарных гармоник [11]

$$x_b = \sum_{i=1}^{\infty} (u_i \cos \omega_i t + v_i \sin \omega_i t) \sigma_i. \quad (30)$$

Скорости и ускорения частиц грунта рассчитываются по формулам

$$\begin{aligned} v_{xb} &= \dot{x}_b = \sum_{i=1}^{\infty} (-u_i \sin \omega_i t + v_i \cos \omega_i t) \omega_i \sigma_i, \\ \dot{v}_{xb} &= \ddot{x}_b = - \sum_{i=0}^{\infty} (u_i \cos \omega_i t + v_i \sin \omega_i t) \omega_i^2 \sigma_i \end{aligned} \quad (31)$$

В этих формулах u_i и v_i – случайные величины с нормальным нормированным распределением, у которых математические ожидания равны нулю, а дисперсии единице.

В последующем бесконечный ряд гармоник заменяется на конечное их значение, так как дисперсии элементарных волн при больших частотах $\omega > 2,0$ стремятся к нулевому значению.

ВЫВОДЫ

Главным в статье является развитие метода оценки параметров движения частиц грунта, определяющих силовое воздействие на строительное сооружение на основе модели нерегулярного волнового процесса. Такой подход дает возможность получить объективную оценку физических явлений и процессов на этапе оценки прочностных характеристик объектов в процессе их эксплуатации.

Методика моделирования процессов нерегулярного движения грунта при землетрясениях основана на теории случайных процессов. Если дисперсия волн постоянна при заданной активности землетрясения, то волновой процесс обладает свойством стационарности. Это свойство позволяет представить случайный процесс движения грунта в виде суммы отдельных его

гармоник с распределением общей дисперсии волны на составляющие, в зависимости от выбора корреляционной функции волнения и его спектральной плотности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чемодуров В. Т. Моделирование систем: монография / В. Т. Чемодуров, Э. В. Литвинова. – Симферополь: ИТ «АРИАЛ», 2016. – 236 с.
2. Пьянков С. А. Механика грунтов: учебное пособие / С. А. Пьянков, З. К. Азизов; Ульян. гос. техн. ун-т. – Ульяновск: УлГТУ, 2008. – 103 с.
3. Динамика грунтов: учебное пособие / сост. Л. А. Строкова; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2018. – 190 с.
4. СП 14.13330.2018 Строительство в сейсмических районах. Актуализированная редакция СНиП II-7-81* (с Изменением №1).
5. Назаров Ю. П., Позняк Е. В., Симбиркин В. Н., Курнавин В. В. Расчет конструкций линейно-спектральным методом при дифференцированном сейсмическом движении грунта, заданном акселерограммами // Вестник НИЦ «Строительство». – 2021. – № 1 (28). – С. 92–101.
6. Назаров Ю. П. Аналитические основы расчета сооружений на сейсмические воздействия / Ю. П. Назаров. – М.: Наука, 2010. – 468 с.
7. Назаров Ю. П. Расчетные параметры волновых полей сейсмических движений грунта / Ю. П. Назаров. – М.: Наука, 2015. – 401 с.
8. Фирсов Г. А. Об энергетическом спектре морского волнения // Труды центрального научно-исследовательского института им. академика А.Н. Крылова. – 1958. – Вып. 127. – С. 3–16.
9. Екимов В. В. Вероятностные методы в строительной механике корабля / В. В. Екимов. – Л.: «Судостроение», 1966. – 328 с.
10. Свешников А. А. Определение вероятностных характеристик трехмерного волнения моря // Изв. АН СССР. Отд. техн. наук. Механика и машиностроение. – 1959. – № 3.
11. Глеб К. А. Метод определения кривизны морских волн с использованием волномерных буев традиционной формы // Изв. Вузов России. Радиоэлектроника. – 2020. – Т. 23, № 4. – С. 57–65. doi: 10.32603/1993-8985-2020-23-4-57-65.
12. Благовещенский С. Н. Справочник по статике и динамике корабля. В двух томах. Изд. 2-е, перераб. и доп. Том 2. Динамика (качка) корабля / С. Н. Благовещенский, А. Н. Холодилин. – Л.: «Судостроение», 1976. – 176 с.

REFERENCES

1. CHemodurov V. T. System modeling: Monograph / V. T. CHemodurov, E. V. Litvinova. – Simferopol': IT «ARIAL», 2016. – 236 p.
2. P'yankov S. A. Soil mechanics: Textbook / S. A. P'yankov, Z. K. Azizov; Ul'yan. gos. tekhn. un-t. – Ul'yanovsk: UlGTU, 2008. – 103 p.

3. Dynamics of soils: Textbook / Comp. L. A. Strokova; Tomskij politekhnicheskij universitet. – Tomsk: Izd-vo Tomskogo politekhnicheskogo universiteta, 2018. – 190 p.
4. SP 14.13330.2018 Construction in seismic areas. Actualized edition SNiP II-7-81* (with a change №1).
5. Nazarov YU. P., Poznyak E. V., Simbirkin V. N., Kurnavin V. V. Calculation of structures by the linear-spectral method with a differentiated seismic movement of the soil set by accelerograms // Vestnik NIC «Stroitel'stvo». – 2021. – № 1 (28). – Pp. 92–101.
6. Nazarov YU. P. The analytical foundations of calculating structures on seismic influences / YU. P. Nazarov. – M.: Nauka, 2010. – 468 p.
7. Nazarov YU. P. Calculated parameters of the wave fields of seismic soil movements / YU. P. Nazarov. – M.: Nauka, 2015. – 401 p.
8. Firsov G. A. On the energy spectrum of marine excitement // Proceedings of the Central Research Institute. Academician A.N. Krylova. – 1958. – Issue. 127. – Pp. 3–16.
9. Ekimov V. V. Probable methods in the construction mechanics of the ship / V. V. Ekimov. – L.: «Sudostroenie», 1966. – 328 p.
10. Sveshnikov A. A. Determination of probabilistic characteristics of three-dimensional sea waves // Izv. USSR ACADEMY OF SCIENCES. Dep. tech. sciences. Mechanics and mechanical engineering. – 1959. – № 3.
11. Gleb K. A. Method for determining the curvature of sea waves using conventional wave-measuring buoys // Izv. Universities of Russia. Radio electronics. – 2020. – T. 23, №. 4. – Pp. 57-65. doi: 10.32603/1993-8985-2020-23-4-57-65.
12. Blagoveshchensky S. N. Handbook on the statics and dynamics of the ship. In two volumes. Ed. 2nd, revised. and Vol. 2. Dynamics (pitching) of the ship / S. N. Blagoveshchensky, A. N. Kholodilin. — L.: «Sudostroenie» 1976. – 176 p.

SOIL MOVEMENT MODEL DURING SEISMIC ACTIVITY

Chemodurov V. T., Litvinova E. V.

Institute «Agrotechnological academy» V.I. Vernadsky Crimean Federal University,
Address: 295492, Republik of Crimea, Simferopol, village Agrarnoe.
Chens_mu1@mail.ru, EllaLit@mail.ru

Abstract. The article proposes a model of a seismic signal based on the use of the theory of random functions. To study the characteristics of any system by mathematical methods, including machine methods, it is necessary to formalize this process, that is, a mathematical model is built. The central place is given to a mathematical description of the motion of soil particles in the real process of their oscillations. To this end, probabilistic methods are used to represent random functions in the form of harmonic series, a spectral decomposition of the dispersion of a random process. This approach to modeling a seismic signal is controversial, since it is known that the structure of a seismic signal is determined by the source mechanism and the laws of the process of propagation of seismic wave signals in an elastic half-space. The main thing in the article is the development of a method for estimating the motion parameters of soil particles that determine the force effect on a building structure based on an irregular wave process model. At the same time, the background of mechanical noise always complicates the seismic signal, which is a random process.

Subject. Mathematical description of the motion of soil particles in the real process of their oscillations.

Materials and methods. General wave process theory for ground motion modeling. Probabilistic methods for representing random functions as harmonic series, spectral decomposition of the variance of a random process.

Results. The developed methodology for calculating the parameters of irregular wave processes was tested when studying the effect of sea waves on moving objects.

Conclusions. The development of the method of estimating the motion parameters of soil particles that determine the force impact on a building structure based on the irregular wave process model makes it possible to obtain an objective assessment of physical phenomena and processes at the stage of assessing the strength characteristics of objects during their operation.

Key words: stationarity of random processes, correlation function, spectral density, normalized spectral density, spectrum of random process, reliability of building structures.