

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ СЛУЧАЙНЫМИ НАГРУЗКАМИ

Ногеров И.А.¹, Суюмбаев Х.У.¹, Шогенов Б.В.¹, Макшаева М.И.¹

¹ГОУ ВПО «Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова», Нальчик, Россия (360004, Нальчик, ул. Чернышевского, 173), e-mail mad.maksh@mail.ru

В связи с необходимостью отображения условий эксплуатации в процессе сейсмических нагрузок возникли методы испытаний случайными нагрузками, которые рассмотрены в данной работе. На основании сейсмологических исследований определяются динамические характеристики геологических строений и площадок строительства в сейсмически опасных регионах. Важнейшими динамическими характеристиками оборудования при расчетах его сейсмостойкости являются собственная частота и коэффициенты затухания (декременты) колебаний. Точное задание собственных частот колебаний необходимо в связи с ограниченностью спектральной полосы землетрясений (0,5–30 Гц) и резонансным характером спектров света на различных отметках с максимальными амплитудами ускорений, как правило, в области от 1–2 до 8–10 Гц. Декременты колебаний влияют на амплитуды ускорений спектральных кривых (спектров ответа) на всем диапазоне частот, но особенно сильно — в зоне резонанса.

Ключевые слова: сейсмические нагрузки, магнитуда, эпицентр, землетрясения, динамические характеристики, спектр ответа

STUDY OF DYNAMIC CHARACTERISTICS ON EXPOSURE RANDOM LOADS

Nogero I.A.¹, Suyumbaev H.U.¹, Chogenov B.V.¹, Makshaeva M.I.¹

¹GOU VPO «Kabardino-Balkarian State University. HM Berbekov» Nalchik, Russia (360004, Nalchik, Chernyshevskogo str., 173), e-mail mad.maksh@mail.ru

The need to display operating conditions in seismic loads, any test methods for random loads, which are discussed in this paper. On the basis of seismological research determined the dynamic characteristics of the geological structures and construction sites in seismically dangerous regions. Important dynamic characteristics of the equipment in the calculation of its earthquake resistance is the natural frequency and damping coefficients (decrements) oscillations. The exact assignment vibration frequency is necessary due to the limited spectral band earthquakes (0,5–30 Hz) and resonant character of the spectrum of light at different elevations with maximum acceleration amplitude, typically in the range from 1–2 to 8–10 Hz. Decrement affect the acceleration amplitude of spectral curves (response spectra) in the entire frequency range, but particularly strong in the area of resonance.

Keywords: seismic loads, magnitude, epicenter, earthquake, dynamic characteristics, response spectrum

Методы испытаний случайными нагрузками возникли в связи с необходимостью отображения условий эксплуатации в процессе сейсмических нагрузок. Как известно [1, 3], акселерограммы землетрясений носят случайный характер. Статистические характеристики этого процесса обуславливаются магнитудой землетрясения, расстоянием до эпицентра, геологическим строением региона и площадки строительства.

На основании сейсмологических исследований определяются спектр амплитуд гармонических составляющих и наиболее вероятная длительность реального воздействия, после чего становится возможным формирование случайных сигналов, эквивалентных сейсмическим.

Сейсмические события происходят нерегулярно, их источники распределены в недрах земли неравномерно, и только непрерывные наблюдения в течение многих лет в состоянии

создать адекватную картину глобальной сейсмичности. Возможность получения сейсмической информации определяется плотностью сейсмических станций. Для предсказания сильнейших толчков в населенных промышленных районах требуется плотность сейсмических станций – одна на несколько километров. К такому уровню на сегодняшний день приближается лишь Япония.

Эпицентр землетрясения 26 декабря 2004 г. находился в Индийском океане в 250 км к западу от северной оконечности о. Суматра, очаг землетрясения находился на глубине около 30 км, и именно отсутствие информации, службы предупреждения о землетрясении и как его следствие — цунами в Индийском океане сыграло роковую роль. Если бы такая информация была, то у службы оповещения было бы по крайней мере несколько десятков минут, чтобы оценить вероятность возникновения цунами и рассчитать возможные амплитуды волн в различных точках побережья, как это было сделано Тихоокеанской службой предупреждения для побережья Тихого океана.

В качестве примера на рисунке 1 представлена схема плана размещения различных источников для вероятностного анализа сейсмических событий.

В общем случае размеры очага и местоположение будущего землетрясения неизвестны. Поэтому будем рассматривать их как случайные переменные.

Если очаг расположен на расстоянии $R = r$ от пункта строительства (это кратчайшее расстояние), то интенсивность I определяется по формуле:

$$I = c_1 + c_2 M - c_3 \ln R, \quad (1)$$

где M – магнитуда; R_n – расстояние до очага землетрясения; c_1, c_2 и c_3 – полуэмпирические коэффициенты для твердых грунтов конкретного региона.

В случае, если рассчитанное землетрясение превышает любое другое $I \leq i$ – событие A (i – интенсивность при больших магнитудах) и это землетрясение происходит на гипоцентральной расстоянии $R = r$ (событие B), то условная вероятность P события A при условии, что имело место событие B , равна:

$$P[I \geq i | R = r] = P[c_1 + c_2 M - c_3 \ln r \geq i | R = r]. \quad (2)$$

В предположении статистической независимости M и R условная вероятность события A при условии, что имело место событие B , равна:

$$P[I \geq i | R = r] = P\left[M \geq \frac{i + c_3 \ln r + c_1}{c_2}\right] \quad (3)$$

или

$$P[I \geq i | R = r] = 1 - F_M\left(m\right)\left[\frac{i + c_3 \ln r + c_1}{c_2}\right] \quad (4)$$

где $F_M(m)$ — интегральная функция распределения магнитуд землетрясений.

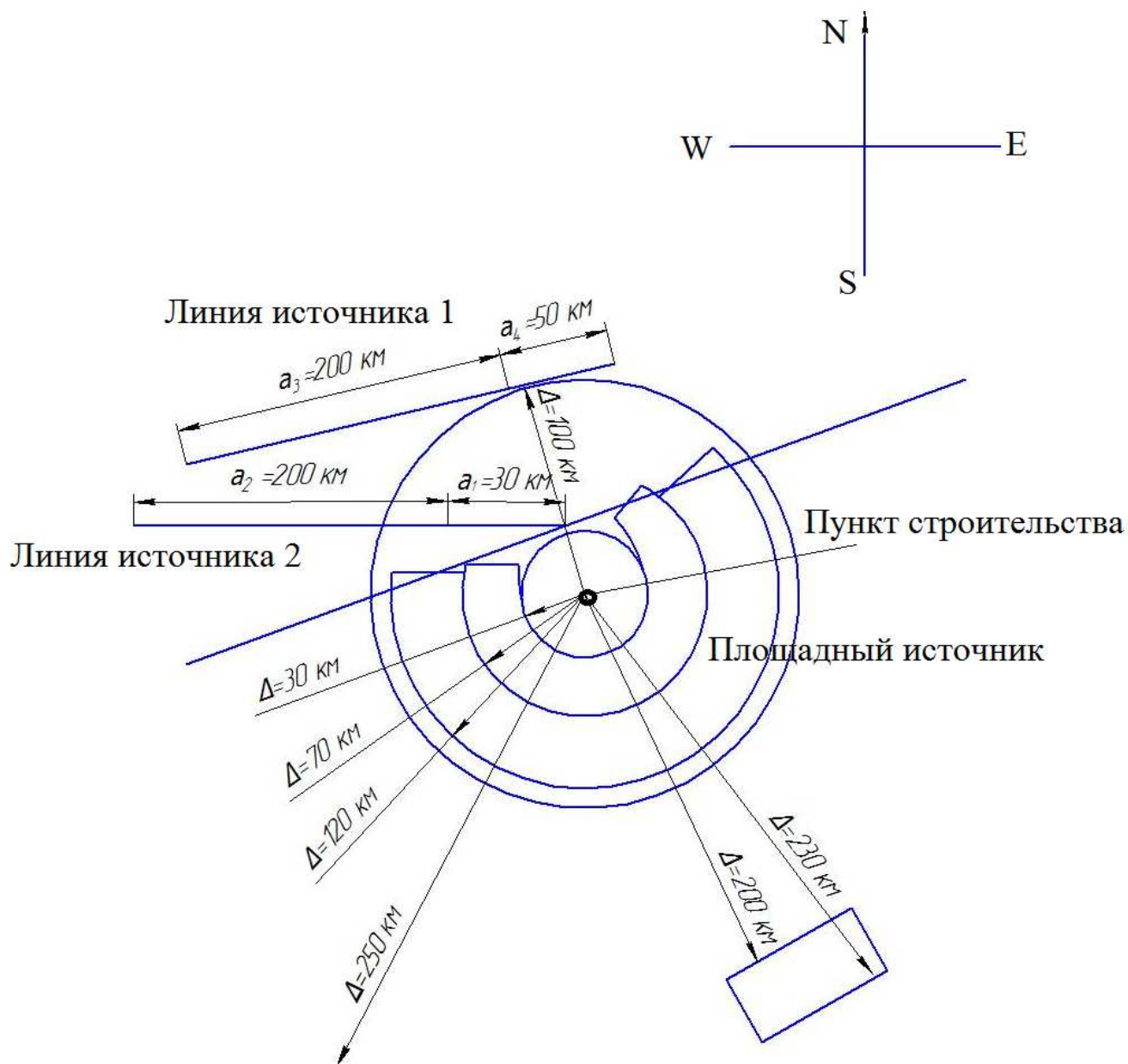


Рис. 1. Схема плана размещения источников возмущающих воздействий для вероятностного анализа сейсмических событий

Соотношение Рихтера между числом землетрясений n_m и магнитудами M равно:

$$\lg n_m = a - bM$$

При $M \geq m_0$ (m_0 — малая магнитуда), $1 - F_M(m) = e^{-\beta(M-m_0)}$.

Коэффициент динамичности B определяется из результата изысканий и обобщений и примерно составляет от 1,5 до 2,3.

Могут применяться различные варианты для определения $P [I \geq i / R = r]$, когда $M \geq m_0$ и когда функция плотности вероятности $f_R(r)$ изменяется в зависимости от переменной координаты X , которая перемещается на интервале $(-\frac{1}{2}, +\frac{1}{2})$ и ее абсолютное значение равномерно распределено на интервале $(0, \frac{1}{2})$.

Интегральная функция распределения $F_R(r)$ величины R при $d \leq r \leq r_0$ составляет:

$$F_R(r) = P[R \leq r] = P[R^2 \leq r^2] = P[X^2 + d^2 \leq r^2] = P[|X| \leq \sqrt{r^2 - d^2}] = \frac{r^2 - d^2}{l/2}, \quad (5)$$

где d – расстояние до очага, который расположен на линии сброса.

Функция плотности распределения величины R , когда $d \leq r \leq r_0$ равна

$$f_R(r) = \frac{2r}{l\sqrt{r^2 - d^2}}. \quad (6)$$

При условии появления представляющего важность события ($M \geq m_0$) в какой-то точке данного сброса интенсивность в пункте строительства может превышать некоторое определенное значение i .

Важен вопрос о случайном числе событий в течение любого интервала времени. Число событий N , при которых интенсивность в пункте строительства превысит I в течение интервала длительности t , можно определить по формуле:

$$R_N(n) = p[N = n] = \frac{e^{-p_i vt} (p_i vt)^n}{n!}, \quad (7)$$

где $n = 0, 1, 2, \dots$; v – среднее годовое число землетрясений с магнитудами больше любого принятого i .

Годовая максимальная интенсивность за $t = 1$ году событий большой интенсивности может быть определена по формуле:

$$p[I_{\max}^{(t)} \leq i] = p[N = 0] = e^{-p_i vt}. \quad (8)$$

В настоящее время теория случайных функций, являясь одним из разделов теории вероятностей, получила самостоятельное развитие и нашла широкое применение при решении задач, связанных с теорией регулирования, расчетом конструкций и оборудования.

Случайным процессом называют такую функцию $X(t)$, аргумент которой может принимать любые значения в заданном интервале [3, 4, 5, 6].

Такие процессы не могут быть описаны какой-либо определенной функциональной зависимостью. Вместе с тем задание одних только дискретных значений в различные моменты времени является обычно недостаточной и малоудобной характеристикой процесса. Более полные и большей частью удовлетворительные характеристики даются параметрами, устанавливаемыми при помощи теории вероятностей и математической статистики.

Различают стационарные и нестационарные процессы. Стационарным случайным процессом является тот, у которого свойства случайной функции не зависят от отсчета времени. Процесс называется нестационарным, если статистические характеристики процесса не инвариантны по отношению к произвольному смещению во времени.

Любая попытка описать движение почвы при землетрясении аналитическими выражениями может привести лишь к оценочным решениям, которые позволяют найти некоторые крайние значения перемещений и выявить качественные эффекты.

Реальная акселерограмма имеет сложный характер. Амплитуды колебаний изменяются во времени, изменяется и период колебаний. Поэтому стендовые испытания на случайные нагрузки непосредственно отражают условия эксплуатации. Однако эти испытания очень трудоемкие и требуют больших затрат. Тем не менее в последнее время стали осуществляться испытания ЭТО на случайные расчетные сейсмические сигналы. Такие методы испытаний позволяют быстрее и качественнее выявить возникновение резонансных явлений в исследуемом оборудовании, а также обнаружить нарушение работоспособности исследуемого оборудования и провести проверку эффективности предлагаемых мероприятий, повышающих сейсмостойкость.

При испытаниях воздействием широкополосного случайного сигнала на исследуемые объекты воздействуют ускорениями $\ddot{X}_a(t)$ с широкополосным энергетическим спектром. Ускорение воздействия достигается путем линейной фильтрации стационарного гауссовского процесса с постоянным энергетическим спектром. Частотная зависимость результирующего энергетического спектра либо определяется условиями эксплуатации, либо выбирается как их часть, которая лежит в резонансной области собственных частот исследуемого объекта. Для электротехнического оборудования и систем управления техническими объектами обычно рассматривается диапазон воздействий с частотами от $f_a = 0,5$ Гц до $f_b = 50$ Гц. Для характеристики жесткости испытаний обычно вводится параметр воздействий [1]:

$$a_{ok} = \sqrt{G_0(f_k)\Delta f_k} . \quad (9)$$

Он ограничивается диапазоном частот воздействия:

$$\Delta f_k = f_b - f_a$$

и энергетическим спектром при характеристической частоте f_k , например:

$$f_k = \sqrt{f_a f_b} . \quad (11)$$

Форма энергетического спектра оценивается по нормировочной зависимости изменения частоты от времени рассматриваемого воздействия.

Следует отметить, что метод испытания воздействием широкополосного сейсмического сигнала имеет следующие достоинства.

1. Исследуемое оборудование нагружается ускорениями, которые близки к возникающим в условиях эксплуатации.

2. Продолжительность испытаний невелика.

Существенным недостатком этого метода испытаний является то, что его практическое осуществление сопряжено со значительными затратами.

В настоящее время при проведении исследований используется оборудование, способное воспроизводить случайные колебания. Это позволяет, с одной стороны, перейти к испытаниям оборудования на реальные сейсмические воздействия, а с другой — разработать менее консервативные методы эквивалентных испытаний для использования в других организациях. Испытания оборудования на реальные сейсмические воздействия наряду с преимуществами имеют недостаток, связанный с многообразием возможных сейсмических воздействий. Так, для каждой площадки промышленного строительства сейсмологическими изысканиями определяется набор расчетных детерминированных сейсмических сигналов (как правило, 8–30 реализаций). Естественно, испытания на весь набор сигналов весьма трудоемки. Кроме того, поочередное воздействие на испытуемое изделие каждой акселерограммы из набора может вызвать накопление повреждений, что исказит результаты испытаний. Поэтому необходимо либо после каждого воздействия проводить проверку динамических характеристик изделия с целью выявления возможного их изменения, либо иметь несколько однотипных изделий и подвергать каждое из них испытанию лишь на одно землетрясение. Перечисленные причины вызвали необходимость создания некоего универсального испытательного сейсмического воздействия, сохраняющего статистические характеристики акселерограмм заданного набора. В настоящее время проводятся широкие исследования по выбору и обоснованию расчетных синтезированных сейсмических воздействий.

Список литературы

1. Прочность, устойчивость, колебаний // Справочник // Под ред. Болоткина В.В. и др., Т. 3.

–М.: Машиностроение, 1973. С. 580.

2. Пугачев В.С. Теория случайных функций и ее применение к задачам автоматического управления. Изд. 3-е, М.: ИЛ, 1953.

3. Свешников А.А. Прикладные методы теории случайных функций. Л.: Судпромгиз, 1961. С. 252.

4. Скучик Е. Простые и сложные колебательные системы. М.: Мир, 1976.

5. Соловьев В.С. К вопросу о динамике электромагнитного реле на вибрирующем основании. В кн.: Колебания и динамическая прочность элементов машин. М.: Наука, 1976. С. 63–68.

Рецензенты:

Кравец С.Б., д.т.н., профессор, зав. отделом сейсмостойкости ВНИИАМ, г. Волгоград;

Созаев В.А. д.ф.-м.н., профессор, зав. кафедрой общей физики ГМИ, г. Владикавказ, профессор кафедры физики наносистем КБГУ, г. Нальчик.