



Особенности моделирования сейсмического воздействия на многоэтажные здания по нормам Вьетнама

Л.Н. Панасюк, Ву Нгок Туен, В.С.Тюрина, Ю.Ш.Чубка, Чан Куок Вьет

*Академия строительства и архитектуры ФГБОУ ВПО «Донской государственный
технический университет», г.Ростов-на-Дону*

Аннотация: В статье рассмотрены сейсмические условия, данные сейсмической активности и современные нормы по проектированию сейсмостойких сооружений во Вьетнаме, представлены особенности моделирования сейсмического воздействия на многоэтажные здания по нормам Вьетнама.

Ключевые слова: сейсмостойкость, столкновение тектонических плит, пиковое ускорение грунта, метод главных координат, коэффициент поведения, спектральная теория сейсмостойкости.

С точки зрения тектоники, территория Вьетнама находится в особом положении: находясь на выпуклой части плиты Азия - Европа, зажата между третьими плитами с высоким уровнем активности: это Австралийская плита, Филиппинская плита и Тихоокеанская плита. Запад и юг Вьетнама относится к Гималайскому поясу. На Южной Суматре (Индонезия) 22 декабря 2004 г. произошло землетрясения с магнитудой до 9,8 баллов по шкале Рихтера, что вызвало цунами, повлекшее гибель 300000 человек в 12 странах Азии и Африки, многие пропали без вести [1, 2].

В результате столкновения тектонических плит Гималайские горы становятся постепенно более высокими, таким образом южная часть Восточноазиатского континента разделена на небольшие пластины, движущиеся в разных направлениях, главным образом, к юго-востоку.

Результаты научного исследования показали, что в последнее время, на территории Вьетнама существует сложная сеть разломов. Хонгха - самый активный разлом. Здесь наблюдаются землетрясения с интенсивностью VIII – IX баллов по шкале Медведева — Шпонхойера — Карника.

Согласно статистическим данным, к этому времени во Вьетнаме произошло 2 землетрясения силой VIII баллов, 11 землетрясений -VII баллов

и 60 землетрясений - VI баллов (по шкале Медведева — Шпонхойера — Карника). Большинство землетрясений происходят на севере, вдоль разлома Хонгха, Лай Чау, Дьен Бьен и обычно имеют неглубокие очаги ($H = 10-20$ км) [2, 3].

До 2006 года во Вьетнаме не существовало собственных норм по расчёту на сейсмическое воздействие. Для проектирования зданий и сооружений в сейсмических районах были приняты Российские нормы СНиП II 7-1981 и Еврокод 8. Позднее были разработаны и приняты нормы проектирования сейсмостойких конструкций ТСХДВН 375:2006. В ТСХДВН 375:2006, опасность возникновения сейсмической активности оценивается значением максимального ускорения грунта. В основе этих норм - положения Еврокод 8. К ним прилагается карта сейсмического районирования Вьетнамского Института Геофизики (рис.1). [4].

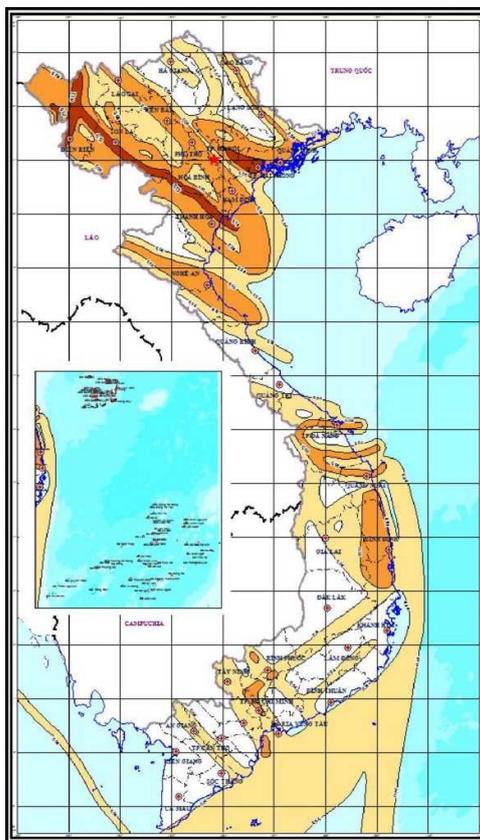


Рис. 1. - Карта сейсмического районирования в единицах пиковых горизонтальных ускорений для территории Вьетнама, для периода



повторяемости землетрясений 500 лет, тип грунта А.

В столице Ханой, значение максимального ускорения грунта $a_g = 0.982m/c^2$, то есть возможно землетрясение силой 7 баллов по шкале Медведева — Шпонхойера — Карника [5].

Спектральная методика регламентируется строительными кодами большинства стран, и в частности, нормами Вьетнама.

Понятие спектра ускорений положено в основу спектральной теории сейсмостойкости. На практике расчеты на сейсмостойкость регламентируются нормативными документами, в основе которых лежит линейно-спектральная теория Мориса Био. Первоначально основу метода составляли экспериментально установленные значения ускорения маятников, имевших различные периоды свободных колебаний.

Полученные под воздействием колебаний грунта максимальные значения ускорений маятников представляются в виде функции периода свободных колебаний маятника и образуют спектр реакций (спектральную кривую), которая в свою очередь является основой для определения сейсмической нагрузки. [6].

Для систем, имеющих несколько степеней свободы, уравнения решаются методом разложения по формам собственных колебаний (или методом главных координат), и для каждой формы модальная сейсмическая нагрузка определяется как для системы с одной степенью свободы (1):

$$F(t) = -2Mw(t, \xi, T), \quad (1)$$

$$\text{где } w(t, \xi, T) = S_d(T) = -\frac{2\pi}{T} \int_0^t \ddot{x}_0(\tau) \exp\left[-\frac{2\pi}{T} \xi(t-\tau)\right] \sin\left[\frac{2\pi}{T}(t-\tau)\right] d\tau,$$

Уравнение движения системы с конечным числом степеней свободы (2):

$$[M]\ddot{U} + [C]\dot{U} + [K]U = -[M]\ddot{u}_g(t) \quad (2)$$



Для любых форм колебаний, $\vec{\varphi}_m$ и $\vec{\varphi}_n$ ($m \neq n$) справедливы условия ортогональности собственных форм колебаний (3, 4):

$$\vec{\varphi}_m^T [M] \vec{\varphi}_n = \begin{cases} 0, m \neq n \\ M_n, m = n \end{cases} \quad (3)$$

$$\vec{\varphi}_m^T [K] \vec{\varphi}_n = \begin{cases} 0, m \neq n \\ K_n, m = n \end{cases} \quad (4)$$

Разлагая уравнение движения по главным формам, записывают (5):

$$\vec{U} = [\Phi] \vec{Y} \quad (5)$$

где $[\Phi] = \begin{bmatrix} \varphi_{11} & \varphi_{12} & \dots & \varphi_{1n} \\ \varphi_{21} & \varphi_{22} & \dots & \varphi_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \varphi_{n1} & \varphi_{n2} & \dots & \varphi_{nn} \end{bmatrix}$ - модальная матрица

Окончательно:

$$[\Phi^T [M [\Phi] \ddot{Y} + [\Phi^T [C [\Phi] \dot{Y} + [\Phi^T [K [\Phi] Y = -[\Phi^T [M] u_g(t) \quad (6)$$

Матричное уравнение (6) представляет собой систему уравнений относительно Y_n . Используя условия (3) и (4), получают (7-9):

$$Y_i + 2\xi_i \omega_i \dot{Y}_i + \omega_i^2 Y_i = - \frac{\left(\sum_{j=1}^n \varphi_{ij} m_j \right)}{\sum_{j=1}^n m_j \varphi_{ij}^2} u_g(t) \quad (7)$$

$$\left\{ \dots \right\} \dots \frac{\sum_{l=1}^n \varphi_{il} m_l}{\sum_{l=1}^n m_l \varphi_{il}^2} S_a(\omega_i) \quad (8)$$

$$\left\{ \dots \right\} \left[\begin{matrix} \varphi_{11} & \varphi_{12} & \dots & \varphi_{1n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \varphi_{n1} & \varphi_{n2} & \dots & \varphi_{nn} \end{matrix} \right] \left\{ \dots \right\} = \left\{ \dots \right\} \left[\begin{matrix} \varphi_{12} \\ \dots \\ \varphi_{n2} \end{matrix} \right] \dots \left\{ \dots \right\} \left[\begin{matrix} \varphi_{1i} \\ \varphi_{2i} \\ \dots \\ \varphi_{ni} \end{matrix} \right] \dots \left\{ \dots \right\} \left[\begin{matrix} \varphi_{n1} \\ \dots \\ \varphi_{nn} \end{matrix} \right] \quad (9)$$

Ускорение колебаний (10):



$$\left| \ddot{\varphi}_{ij} \right|_{\max} = \frac{\sum_{l=1}^n \varphi_{il} m_l}{\sum_{l=1}^n m_l \varphi_{il}^2} S_d(T_i) \quad (10)$$

Максимальное значение сейсмической силы (11, 12):

$$F_{ij} = m \left| \ddot{u}_{ij} \right|_{\max} = S_d(T_i) \frac{m_j \varphi_{ij}}{\sum_{l=1}^n \varphi_{il} m_l} \frac{\left(\sum_{l=1}^n \varphi_{il} m_l \right)^2}{\sum_{l=1}^n m_l \varphi_{il}^2} = S_d(T_i) \frac{m_j \varphi_{ij}}{\sum_{l=1}^n \varphi_{il} m_l} M_i \quad (11)$$

$$F_{ij} = S_d(T_i) \cdot M_i \cdot \frac{m_j \varphi_{ij}}{\sum_{l=1}^n \varphi_{il} m_l} = F_{bi} \frac{m_j \varphi_{ij}}{\sum_{l=1}^n \varphi_{il} m_l} \quad (12)$$

где $M_i = \frac{\left(\sum_{l=1}^n \varphi_{il} m_l \right)^2}{\sum_{l=1}^n m_l \varphi_{il}^2}$ - эффективная модальная масса для i -ой формы колебаний;

$F_{bi} = S_d(T_i) \cdot M_i$ - срезающая сила для i -ой формы колебаний.

Для горизонтальных составляющих сейсмического воздействия расчетный спектр $S_d(T)$ определяется следующими выражениями (13-16) [5, 7]:

$$0 \leq T \leq T_B : S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \left[\frac{2}{3} + \frac{T}{T_B} \cdot \left(\frac{2,5}{q} - \frac{2}{3} \right) \right] \quad (13)$$

$$T_B \leq T \leq T_C : S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \frac{2,5}{q} \quad (14)$$

$$T_C \leq T \leq T_D : S_d(T) = \begin{cases} a_g \cdot S \cdot \frac{2,5}{q} \cdot \left[\frac{T_C}{T} \right] \\ \geq \beta \cdot a_g \end{cases} \quad (15)$$



$$T_D \leq T : S_d(T) = \begin{cases} a_g \cdot S \cdot \frac{2,5}{q} \cdot \left[\frac{T_C T_D}{T^2} \right] \\ \geq \beta \cdot a_g \end{cases} \quad (16)$$

где a_g - расчетное ускорение грунта типа А

S – коэффициент сейсмостойкости грунта;

T_B - нижняя граница периода постоянного участка графика упругого спектра реакций;

T_C - верхняя граница периода постоянного участка графика упругого спектра реакций;

T_D - величина, определяющая начало интервала постоянных смещений упругого спектра реакций;

$S_d(T)$ - расчетный спектр;

q – коэффициент, характеризующий поведение;

β - нижняя граница для горизонтального расчетного спектра.

Коэффициент поведения q играет важную роль в расчетах. По спектральному методу расчет ведется с использованием спектра упругой реакции. Этот коэффициент используется в проектировании для минимизации результирующих сил линейного анализа, с целью учета нелинейного поведения конструкций, связанного с материалами, расчетной схемой и методами проектирования [6].

Суммарный отклик подавляющего числа систем при землетрясениях составляют основные и высшие формы колебаний, поэтому кроме расчета на сейсмическое воздействие, соответствующее i -й форме свободных колебаний, необходимо выполнять сложение модальных откликов системы.

В случае если все соответствующие модальные реакции можно рассматривать как независимые друг от друга, то с большой вероятностью максимальное значение эффекта сейсмического воздействия R_{sum} будет равно корню квадратному из суммы квадратов модальных реакций (правило



квадратного корня) (17):

$$R_{sum} = \sqrt{\sum_{i=1}^n R_i^2} \quad (17)$$

Если реакции в любых двух формах колебаний i и j не могут быть взяты как независимые друг от друга, TCXDVN 375:2006 требует, чтобы для сочетания максимальных модальных реакций использовались более точные приемы, в качестве примера давая полную квадратичную комбинацию (правило CQC) (18) [5, 7].

$$R_{sum} = \sqrt{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N k \varepsilon_{ij} R_i R_j} \quad (18)$$

где

$$k = \begin{cases} 1, i = 1 \\ 2, j \neq 1 \end{cases}$$

$$\varepsilon_{ij} = \frac{8(\xi_i' \xi_j')^{1/2} (\xi_i' + r \xi_j') r^{3/2}}{(1-r^2)^2 + 4\xi_i' \xi_j' r (1+r^2) + 4(\xi_i'^2 + \xi_j'^2) r^2} - \text{коэффициент корреляции.}$$

Приведенный подход является достаточно распространенным сегодня. Однако он не учитывает реологические свойства материалов конструкции здания. Поэтому в подходе, разрабатываемом сегодня нами [8,9], предлагается изменить формулировку физических зависимостей в уравнении (2). Зависимости, учитывающие реологические свойства в рамках теории нелинейной наследственности материалов Ю.Н.Работнова приведены в [9, 10].

Литература

1. Nguyễn Đình Xuyên. “Cơ sở dữ liệu cho giải pháp giảm nhẹ hậu quả động đất Việt Nam”, Trung tâm vật lý địa cầu, Hà Nội, Việt Nam, 1996. 110 trang. (На вьетнамском языке).
2. Nguyễn Lê Ninh. Động đất và thiết kế công trình chịu động đất. Nhà xuất bản



- xây dựng: Hà Nội, 2009.-513 trang. (На вьетнамском языке).
3. T.D. Ngo, M.D. Nguyen, D.B. Nguyen, A review of the Current Vietnamese Earthquake Design Code, Special Issue of the Electronic Journal of Structural Engineering (EJSE): Earthquake Engineering in the low and moderate seismic regions of Southeast Asia and Australia, pp. 32-41, 2008.
 4. Май Дык Минь. Расчет тоннелей на сейсмические воздействия. Диссертация. — Москва: МИИТ, 2014. 124 с.
 5. TCXDVN 375: 2006, Thiết kế công trình chịu động đất, Bộ xây dựng, Việt Nam, 2006.279 trang. (на вьетнамском языке)
 6. Мкртычев О. В., Джинчвелашвили Г. А. Проблемы учета нелинейности в теории сейсмостойкости (гипотезы и заблуждения). Монография. — Москва: МГСУ, 2012. 192 с.
 7. BS EN 1998-1:2004. English version. Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance — Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings. European Committee for Standardization, 2005. – 233 p.
 8. Тюрина В.С., Чубка Ю.Ш., Панасюк Л.Н. Моделирование работы подкрепленных оползневых склонов методом конечных элементов// Инженерный вестник Дона, 2016, №3 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2016/3733
 9. Тюрина В.С., Чубка Ю.Ш., Панасюк Л.Н. Решение задач в постановке нелинейной наследственности// Инженерный вестник Дона, 2016, №3 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2016/3742
 10. Ю. Н. Работнов. Элементы наследственной механики твердых тел. М.: Наука, 1977. 384 с.

References

1. Nguyễn Đình Xuyên. “Cơ sở dữ liệu cho giải pháp giảm nhẹ hậu quả động đất Việt Nam”, Trung tâm vật lý địa cầu, Hà Nội, Việt Nam, 1996. 110 trang.
 2. Nguyễn Lê Ninh. Động đất và thiết kế công trình chịu động đất. Nhà xuất bản
-



- xây dựng: Hà Nội, 2009.513 trang.
3. T.D. Ngo, M.D. Nguyen, D.B. Nguyen, A review of the Current Vietnamese Earthquake Design Code, Special Issue of the Electronic Journal of Structural Engineering (EJSE): Earthquake Engineering in the low and moderate seismic regions of Southeast Asia and Australia, pp. 32-41, 2008.
 4. Maj Dyk Min'. Raschet tonnelej na sejsmicheskie vozdejstvija. Dissertacija. Moskva: MIIT, 2014. 124 p. [Calculation of tunnels to seismic action]
 5. TCXDVN 375: 2006, Thiết kế công trình chịu động đất, Bộ xây dựng, Việt Nam, 2006.279 trang.
 6. Mkrtychev O. V., Dzhinchvelashvili G. A. Problemy ucheta nelinejnosti v teorii sejsmostojkosti (gipotezy i zabluzhdenija). Monografija. Moskva: MGSU, 2012. 192 p. [Problems of accounting of non-linearity in the earthquake resistance theory (hypothesis and error)].
 7. BS EN 1998-1:2004. English version. Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance. Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings. European Committee for Standardization, 2005. 233 p.
 8. Tyurina V.S., Chubka Ju.Sh., Panasjuk L.N. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2016, №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2016/3733
 9. Tyurina V.S., Chubka Ju.Sh., Panasjuk L.N. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2016, №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2016/3742
 10. Ju. N. Rabotnov. Jelementy nasledstvennoj mehaniki tverdyh tel. M.: Nauka, 1977. 384 p. [Elements of hereditary mechanics of solid].
-