



Сейсмостойкость сооружений

УДК: 624.01:550.34

DOI: 10.22363/1815-5235-2018-14-1-70-79

РАСЧЕТНОЕ ОБОСНОВАНИЕ ЗАДАННОГО УРОВНЯ СЕЙСМОСТОЙКОСТИ СООРУЖЕНИЙ

Г.А. ДЖИНЧВЕЛАШВИЛИ*, С.В. БУЛУШЕВ**

*Российский университет транспорта, Москва, Россия
127994, Москва, ул. Образцова, д. 9, стр. 9

**Национальный исследовательский
Московский государственный строительный университет, Москва, Россия
129337, Москва, Ярославское шоссе, д. 26

В настоящий момент, сейсмостойкое проектирование зданий и сооружений основано на силовом расчете. Эффект землетрясения представляется эквивалентными статическими силами. Эти силы рассчитываются с помощью упругих спектров реакций, связывающих абсолютное ускорение сооружения с законом движения грунта (линейно-спектральный метод). Этот метод не может непосредственно учесть ни влияния длительности сильных землетрясений, ни нелинейного поведения конструкций. Энергия, поступившая в сооружение и вызывающая повреждение его элементов, напрямую зависит от продолжительности и частотного состава колебаний грунта.

Входная энергия непосредственно зависит от рассматриваемой модели сооружения. Она может быть определена как на основе теоретических оценок, так и в результате динамического анализа выбранной модели. В результате входная энергия сравнивается с максимальной энергией, которую может воспринять сооружение до его разрушения, т.е. с энергоемкостью. Как правило, сравнению подлежит неупругая часть входной энергии (поглощенной сооружением). В этом заключается идея энергетического метода сейсмостойкого проектирования.

В настоящей работе рассматривается методика расчетного обоснования сейсмостойкости сооружений при помощи нелинейного статического анализа, который основан на энергетическом подходе. Произведены расчеты трехэтажной стальной рамы нелинейным статическим и нелинейным динамическим методами. Приведен сравнительный анализ этих методов, показана значимость высших форм колебаний и необходимость анализа их влияния на реакцию системы.

Ключевые слова: сейсмостойкость, нелинейный метод расчета, нелинейный статический метод расчета, нелинейный динамический метод расчета, pushover analysis, акселерограмма

Введение

Обеспечение надежности и безопасности строительства в сейсмических районах является сложнейшей инженерной задачей. Современные нормы проектирования допускают возможность работы материала конструкций за пределами упругости. Предполагается, что конструкции будут работать нелинейно, и отдельные несущие элементы даже могут быть разрушены. Повреждения этих элементов должны легко выявляться и достаточно просто ремонтироваться. При этом не должен наноситься сильный ущерб всей конструкции¹ [1, 2].

Здания и сооружения должны рассчитываться на сильные землетрясения так, чтобы повреждения и разрушения не превышали заданного уровня. То есть расчет должен производиться с заданным уровнем сейсмостойкости¹.

Нелинейный расчет конструкций требует применения более сложных математических моделей и теорий [1—18].

¹ СП 14.13330.2014. Строительство в сейсмических районах. Актуализированная редакция СНиП II-7—81*. М., 2014

В современных российских нормах по сейсмостойкому строительству при расчете применяется линейно-спектральный метод¹. Этот метод широко применяется во всем мире при расчете на сейсмические воздействия зданий и сооружений, работающих в пределах упругости. При расчете на МРЗ здания и сооружения подвергаются сильному землетрясению. Предполагается возможность возникновения неупругих деформаций и разрушений отдельных конструкций. Использование линейно-спектрального метода с применением коэффициента K_1 , учитывающего допустимые повреждения, может привести к неконсервативным результатам [1—3, 5—9].

Таким образом, при расчете на МРЗ следует применять методы, напрямую учитывающие физическую нелинейность материалов и конструкций. Таким методом является прямой динамический расчет во временной области [1, 5, 12]. Для проведения такого расчета необходимо наличие представительского набора акселерограмм и привлечение специалистов высокого уровня.

Еще один метод, позволяющий учесть нелинейную работу зданий и сооружений — нелинейный статический метод. Он основан на энергетических методах, а принятый в нем подход к проектированию можно рассматривать как проектирование с заданным уровнем сейсмостойкости² [5, 10, 11, 14, 18].

Величина поперечной силы, используемой в этом методе, контролируется параметром p . Распределение поперечной силы пропорционально матрице форм Φ (рис. 1). Вектор поперечной силы \mathbf{P} определяется по формуле:

$$\mathbf{P} = p\mathbf{m}\Phi \quad (1)$$

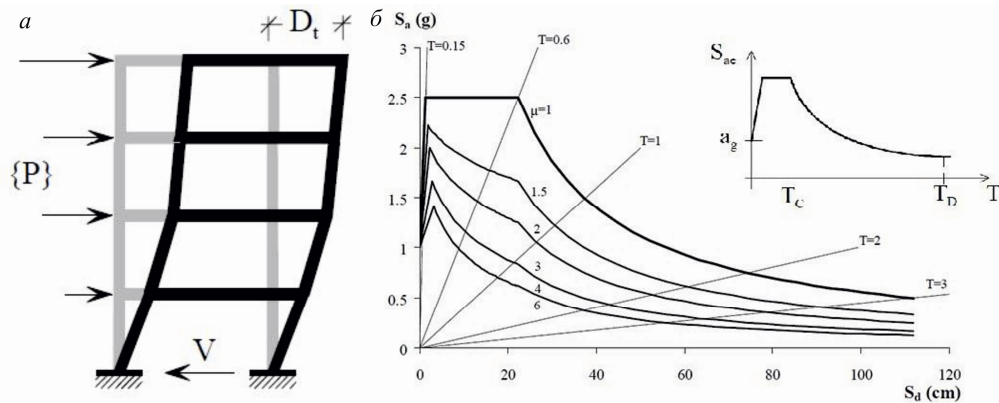


Рис. 1. *a* - Распределение поперечной силы в нелинейном статическом методе;
b - Неупругий спектр ускорений S_a в функции от спектра перемещений S_d
 [Fig. 1. *a* - The distribution of the lateral force in the nonlinear static method;
b - The inelastic acceleration spectrum S_a as a function of the displacement spectrum S_d]

² Applied Technology Council (ATC). Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings. Rep. No. ATC-40, Volumes 1 and 2, Redwood City, CA, 1996.

Applied Technology Council (ATC). Improvement of nonlinear static seismic analysis procedures. Rep. No. ATC-55, Redwood City, CA, 2005.

Building Seismic Safety Council. NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings, FEMA-273, Federal Emergency Management Agency, Washington, DC, 1997.

European Standard. Eurocode-Basis of structural design: EN 1990: 2002(E). April, 2002. 87 p.

FEMA 273. Federal Emergency Management Agency. NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings, Washington, D.C. October, 1997.

FEMA-274. Federal Emergency Management Agency. NEHRP Commentary on the Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings, Washington, D.C. October, 1997.

FEMA 356. Prestandard and commentary for the seismic rehabilitation of buildings. American Society of Civil Engineers (ASCE), Washington, D.C. November, 2000.

NEHRP Recommended Provisions for Seismic Regulations for New Buildings and other Structures. Part 1: 1997 Edition. Building Seismic Safety Council (USA), 342 p.

Постановка и решение нелинейных задач

Система дифференциальных уравнений динамической системы с учетом нелинейной работы материала конструкций может быть записана следующим образом:

$$m\ddot{\mathbf{u}} + c\dot{\mathbf{u}} + \mathbf{f}_s(\mathbf{u}, \text{sign } \dot{\mathbf{u}}) = -m\mathbf{I}\ddot{u}_g. \quad (2)$$

Раскладывая перемещения нелинейной системы по формам соответствующей линейной системы,

$$\mathbf{u}(t) = \sum_{n=1}^N \boldsymbol{\varphi}_n q_n(t), \quad (3)$$

можно привести систему к «квазиортогональной» системе нелинейных осцилляторов:

$$\ddot{q}_n + 2\xi_n \omega_n \dot{q}_n + \frac{F_{sn}}{M_n} = -\Gamma_n \ddot{u}_g, \quad n = 1, 2, \dots, N, \quad (4)$$

где $F_{sn} = F_{sn}(\mathbf{q}, \text{sign } \dot{\mathbf{q}}) = \boldsymbol{\varphi}_n^T \mathbf{f}_s(\mathbf{u}, \text{sign } \dot{\mathbf{u}})$.

Решение уравнений (4) можно записать в виде:

$$q_n(t) = \Gamma_n D_n(t). \quad (5)$$

Подстановка (5) в (4) приведет к более удобной системе:

$$\ddot{D}_n + 2\xi_n \omega_n \dot{D}_n + \frac{F_{sn}}{L_n} = -\ddot{u}_g, \quad n = 1, 2, \dots, N, \quad (6)$$

где $F_{sn} = F_{sn}(D_n, \text{sign } \dot{D}_n) = \boldsymbol{\varphi}_n^T \mathbf{f}_s(D_n, \text{sign } \dot{D}_n)$.

Уравнение (6) можно интерпретировать как определяющее уравнение для нелинейного осциллятора по n -й упругой форме колебаний со свойствами малой амплитуды колебаний φ_n ; n -й собственной частотой ω_n и коэффициентом демпфирования ξ_n соответствующей линейной системы МДФ; и нелинейным соотношением $F_{sn} = F_{sn}(D_n, \text{sign } \dot{D}_n)$ между реактивной силой F_{sn}/L_n и модальной координатой D_n , определяемой уравнением (6).

Введение нелинейного осциллятора по n -й упругой форме позволяет расширить устоявшиеся концепции упругих и неупругих систем и позволяет обобщать модальный Pushover analyses [5, 11].

Апробация нелинейного статического метода

Ранее авторами была предложена методика нелинейного статического анализа для расчета зданий и сооружений на сейсмические воздействия с учетом физической и геометрической нелинейностей [3]. Затем была проведена апробация этой методики на простой стальной раме [4].

В данной статье рассмотрена более сложная система: трехэтажная стальная рама. Расчетная схема приведена на рис. 2. Колонны выполнены из стали С345, балки – С245. Диаграммы деформирования приняты упруго-пластическими с упрочнением (рис. 3).

Материалы и сечения были подобраны из расчета линейно-спектральным методом на 8-балльное землетрясение уровня ПЗ в соответствии с СП 14.13330.2014. Расчет был произведе-

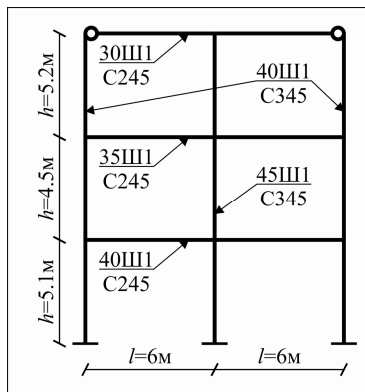


Рис. 2. Расчетная схема
[Fig. 2. The calculation scheme]

ден в программном комплексе Lira 10.6. Максимальный коэффициент использования 0.93. Частота первой формы собственных колебаний системы — 1.136 Гц.

Для анализа точности аппроксимации расчетов по нелинейному статическому методу, по аналогии с [4] данная система была рассчитана на соответствующие землетрясения уровня МРЗ с помощью нелинейного статического метода в ПК Lira 10.6 и Matlab и нелинейного динамического метода в ПК LS-DYNA. Нелинейный динамический расчет производился на Спитакское, Бухарестское и Калифорнийское землетрясения, нормированные на 8 баллов. Акселерограммы и соответствующие спектральные характеристики приведены на рисунках 4–6.

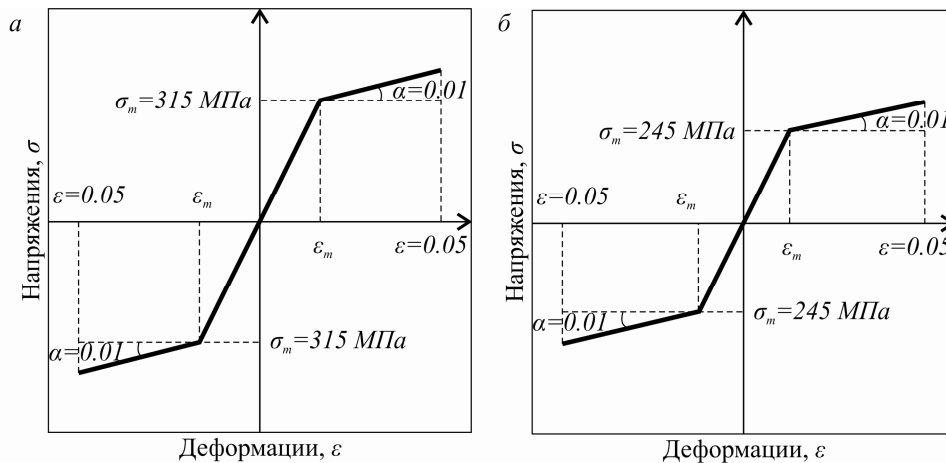


Рис. 3. Диаграммы деформирования стали: *a* – для колонн, *б* – для ригелей
[Fig. 3. Steel deformation diagrams: *a* – for columns, *б* – for crossbars]

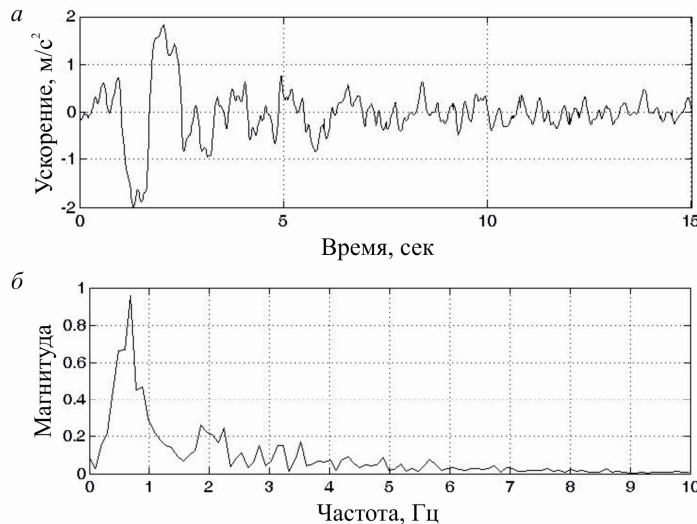


Рис. 4. Бухарестское землетрясение (4.03.1977):
a - акселерограмма; *б* - спектральный состав
[Fig. 4. Bucharrest earthquake (4.03.1977): *a* - accelerogram; *б* - spectral composition]

Далее приведены результаты, полученные нелинейным статическим методом (рис. 7, *a* - и нелинейным динамическим методом (рис. 7, *б* – рис. 7, *г*).
Результаты расчета сведены в табл. 1.

Заключение

В настоящей работе апробирована методика нелинейного статического анализа, предложенная в [3, 4]. Проведенные исследования показали, что нелинейный статический метод для рассматриваемой трехэтажной рамы является неконсервативным по сравнению с нелинейным динамическим методом для всех трех землетрясений. Это может быть связано с тем, что:

- используемый при расчете нелинейным статическим методом спектр реакции по СП 14.13330.2014¹ не учитывает особенности рассмотренных выше акселерограмм;
- при расчете нелинейным статическим методом учтена только 1-я форма колебаний рамы.

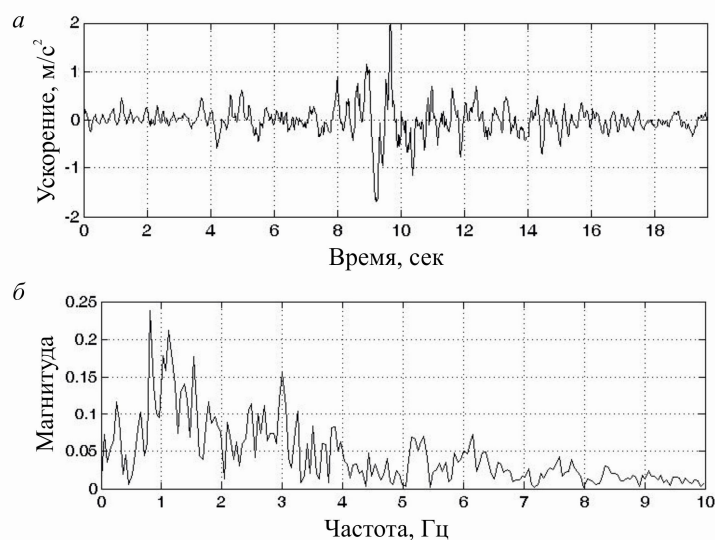


Рис. 5. Спитакское землетрясение (7.12.1988):

a - акселерограмма; *б* - спектральный состав

[Fig. 5. Spitak earthquake (7.12.1988): *a* - accelerogram; *б* - spectral composition]

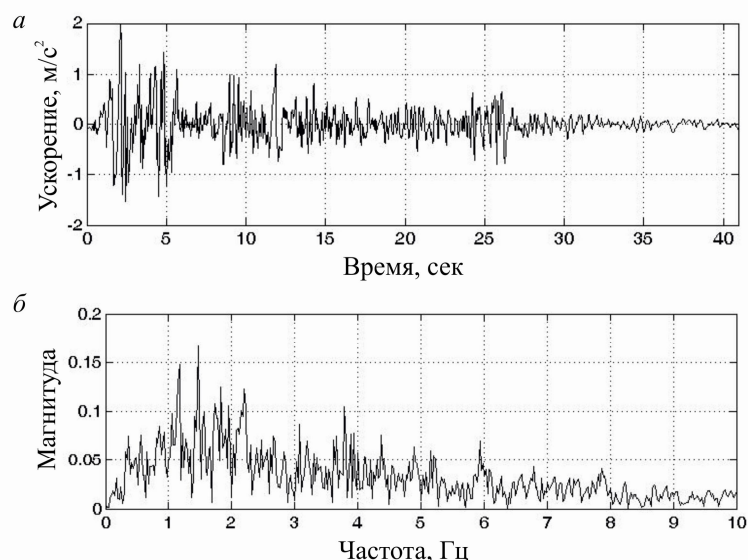


Рис. 6. Калифорнийское землетрясение (18.05.1940):

a - акселерограмма; *б* - спектральный состав

[Fig. 6. California earthquake (18.05.1940): *a* - accelerogram; *б* - spectral composition]

Проведенное исследование показывает значимость высших форм колебаний и необходимость анализа их влияния на реакцию системы [4, 5, 11].

Методика нелинейного статического анализа позволяет отказаться от концепции коэффициента K_1 в СП 14.13330.2014¹, учитывающего допустимые повреждения зданий и сооружений. Это позволяет с большей точностью оценивать реакцию систем определенной конструктивной схемы, допускающих повреждения и пластические деформации, на сейсмическое воздействие.

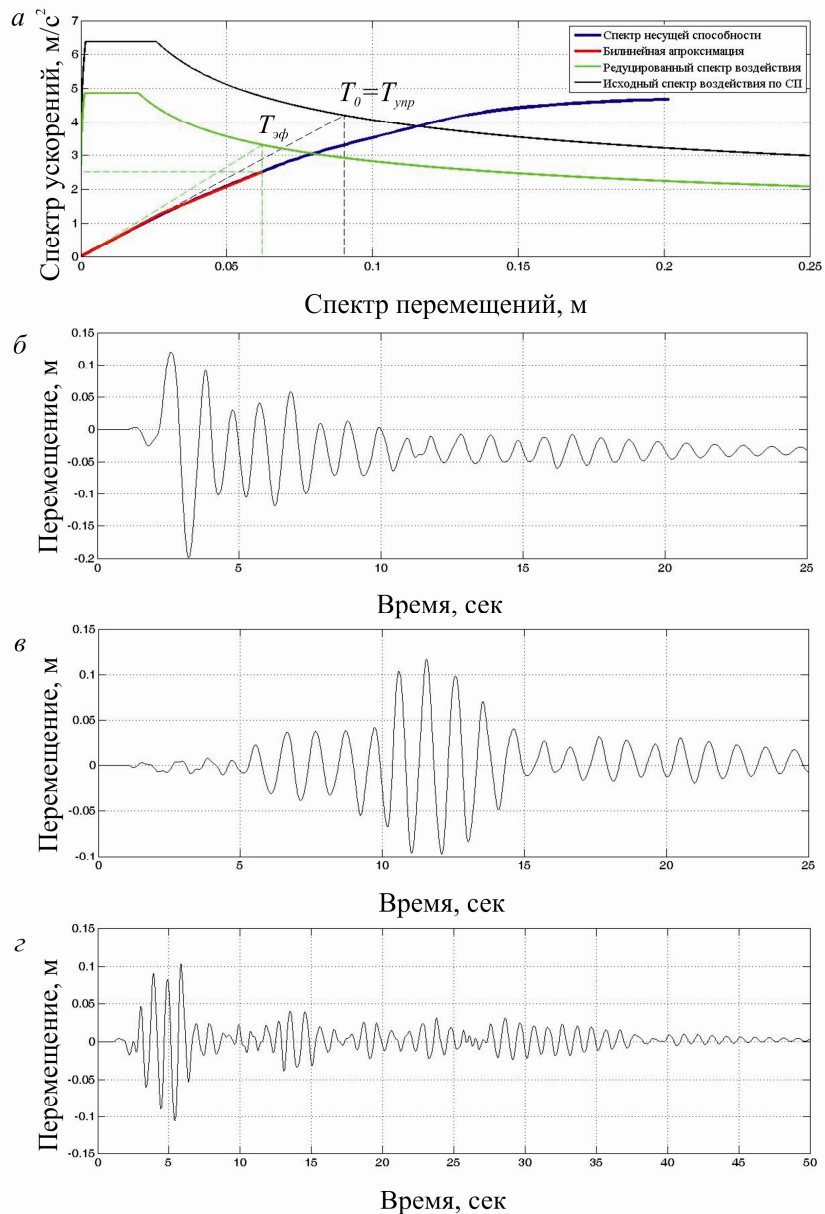


Рис. 7. Перемещения верха конструкции: *a* - нелинейный статический метод; нелинейный динамический метод; *б* - Бухарестское землетрясение; *в* - Спитакское землетрясение; *г* - Калифорнийское землетрясение
 [Fig. 7. Movements of the top of the structure: *a* - nonlinear static method; nonlinear dynamic method; *б* - Bucharest earthquake; *в* - Spitak earthquake; *г* - California earthquake]

Таблица 1. Результаты расчета [Table 1. Results of calculation]

Методы расчета		Доминирующая частота воздействия, Гц	Разница с основной собственной частотой конструкции, %	Максимальное перемещение верха рамы, м	Разница с нелинейным статическим методом, %
Нелинейный статический метод		–	–	0.099	–
Нелинейный динамический метод	Бухарест, 1977	0.684	-39.79	0.199	101.01
	Спитак, 1988	0.815	-28.26	0.117	18.18
	El-Centro, 1940	1.47	29.40	0.105	6.06

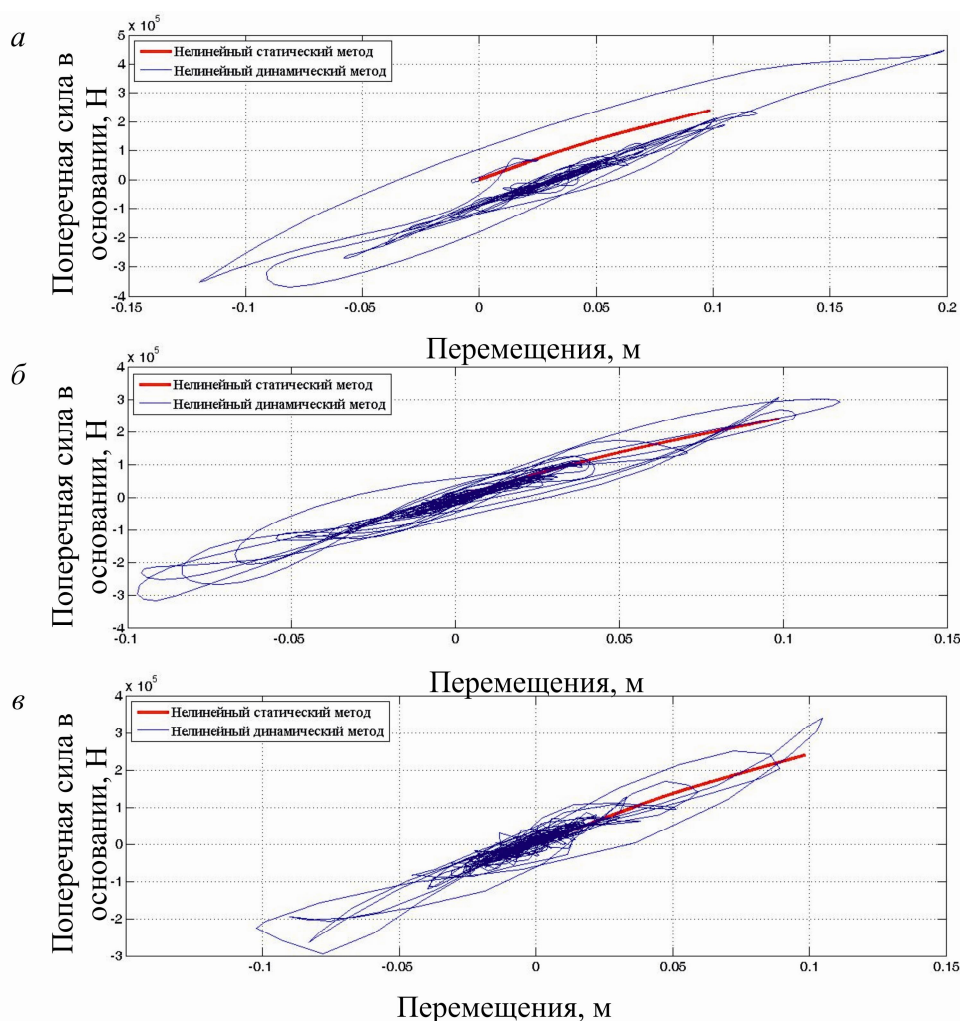


Рис. 8. Зависимость поперечной силы в основании от перемещения верха конструкции:
 а - Бухарестское землетрясение;
 б - Спитакское землетрясение;
 в - Калифорнийское землетрясение

[Fig. 8. Dependence of the lateral force in the base on the displacement of the top of the structure: а - Bucharest earthquake; б - Spitak earthquake; в - California earthquake]

Методика является достаточно простой, что позволяет применять ее в инженерной практике. Так же она может быть внедрена в существующие расчетные комплексы, например в Liga 10.6 [3].

Посвящается светлой памяти Гурама Автандиловича Джинчвелашвили.

Мы потеряли блестящего учёного, исследователя, коллегу, друга, педагога, кристально порядочного человека с талантливым сердцем и огромной душой, мудрого и надежного в науке, работе, семье, дружбе. Рядом с ним все становилось чуть-чуть лучше, чем были. Он так умел видеть людей.

Друзья, коллеги, ученики.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

1. *Мкртычев О.В., Джинчвелашвили Г.А.* Проблемы учета нелинейностей в теории сейсмостойкости (гипотезы и заблуждения). М. : МГСУ, 2012. (Библиотека научных разработок и проектов МГСУ). 192 с.
2. *Соснин А.В.* Об особенностях методологии нелинейного статического анализа и его согласованности с базовой нормативной методикой расчета зданий и сооружений на действие сейсмических сил // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2016. Т. 16. № 1. С. 12—19.
3. *Джинчвелашвили Г.А., Булушев С.В., Колесников А.В.* Нелинейный статический метод анализа сейсмостойкости зданий и сооружений // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2016. № 5. С. 39—47.
4. *Джинчвелашвили Г.А., Булушев С.В.* Оценка точности нелинейного статического метода анализа сейсмостойкости сооружений // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2017. № 2. С. 41—48.
5. *Джинчвелашвили Г.А.* Нелинейные динамические методы расчета зданий и сооружений с заданной обеспеченностью сейсмостойкости : автореф. дисс. ... д-ра. техн. наук. М. : МГСУ, 2015. 46 с.
6. *Задоян П.М.* Оценка сейсмостойкости методом спектра несущей способности // Известия Ереванского государственного университета архитектуры и строительства. 2009. № 2.
7. *Мкртычев О.В., Джинчвелашвили Г.А., Держинский Р.И.* Философия многоуровневого проектирования в свете обеспечения сейсмостойкости сооружений // Геология и геофизика Юга России. 2016. № 1. С. 71—81.
8. *Мкртычев О.В., Джинчвелашвили Г.А.* Оценка работы зданий и сооружений за пределами упругости при сейсмических воздействиях // Theoretical Foundation of Civil Engineering : XXI Russian-Slovak-Polish Seminar. Moscow-Archangelsk 03.07– 06.07.2012. Pp. 177—186.
9. *Немчинов Ю.И., Марьенков Н.Г., Хавкин А.К., Бабик К.Н.* Проектирование зданий с заданным уровнем обеспечения сейсмостойкости (с учетом рекомендаций ЕВРОКОДА 8, международных стандартов и требований ДБН) : монография. Киев : Минрегион Украины, ГП НИИСК, 2012. 53 с.
10. *Chopra A.K., Goel R.K.* Capacity-demand diagram methods based on inelastic design spectrum // Proceedings of 12 World Conference on Earthquake Engineering, Auckland, New Zealand, 2000. Paper № 1612.
11. *Chopra A.K., Goel R.K.* A modal pushover analysis procedure for estimating seismic demands for buildings // Earthquake engineering and structural dynamics Earthquake Engng Struct. Dyn. 2002. Vol. 31. Pp. 561—582. DOI: 10.1002/eqe.144.
12. *Clough R.W., Penzien J.* Dynamics of Structures (Third Edition). Computers & Structures, Inc. University Ave., Berkeley, CA 94704, USA. 1995. 752 p.
13. *Datta T.K.* Seismic Analysis of Structures, John Wiley & Sons (Asia) Pte Ltd. 2010. 464 p.
14. *Fajfar P., Krawinkler H.* Performance-Based Seismic Design Concepts and Implementation // Proceedings of the International Workshop Bled, Slovenia, June 28 — July 1, 2004. PEER Report 2004/05, College of Engineering, University of California, Berkeley. 2004.

15. Gupta B. Enhanced pushover procedure and inelastic demand estimation for performance-based seismic evaluation of buildings : Ph.D. Dissertation. Orlando, Florida, University of Central Florida, 1998.

16. Mkrtychev O.V., Dzhinchvelashvili G.A., Busalova M.S. Calculation accelerograms parameters for a "Construction-Basis" model, nonlinear properties of the soil taken into account // Procedia Engineering. 2014. Vol. 91. Pp. 54—57.

17. Paz M. Structural Dynamics: Theory and Computation / Mario Paz, William Leigh. 5th ed., 2004. 844 p.

18. Themelis S. Pushover analysis for seismic assessment and design of structures, Heriot-Watt University, School of Built Environment, 2008.

История статьи:

Дата поступления в редакцию: 4 ноября 2017

Дата принятия к публикации: 3 декабря 2017

Об авторах:

Джинчвелашвили Гурам Автандилович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой высшей математики и естественных наук, Российский университет транспорта (МИИТ). Контактная информация: e-mail: guram2004@yandex.ru

Булушев Сергей Валерьевич, инженер, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ). Контактная информация: e-mail: sergey.bulushev@gmail.com

Для цитирования:

Джинчвелашвили Г.А., Булушев С.В. Расчетное обоснование заданного уровня сейсмостойкости сооружений // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2018. Т. 14. № 1. С. 70—79. DOI: 10.22363/1815-5235-2018-14-1-70-79.

FEASIBILITY EVALUATION FOR A PREDEFINED SEISMIC RESISTANCE OF STRUCTURES

G.A. DZHINCHVELASHVILI*, S.V. BULUSHEV**

* Russian University of Transport, Moscow

9 Obratsov Street, Moscow, 127994, Russian Federation

** Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Moscow

26 Yaroslavskoye Shosse, Moscow, 129337, Russian Federation

Nowadays seismic resistant structural design is based on force analysis and on representing the earthquake effect as equivalent static forces set as elastic response spectra (response spectrum method). These response spectra link the law of earth motion to the absolute acceleration of the structure's model. This approach takes no account of either the effect of intense motion duration or of the plastic behavior of the structure. The frequency content and the duration of earth oscillations immediately influence the energy taken in by the building and causing damage to its elements.

In theoretical terms, the input energy depends on the model of the structure in question. The input energy is determined by a dynamic calculation for the selected model or by theoretical assessment. Then, the energy is compared to the energy capacity, i.e. maximum energy which can be conveyed to the building before it collapses. Conventionally, the energy capacity is compared to the plastic component of the input energy (absorbed by the building). This forms the basis for the energy method of seismic structural design.

The present paper considers a seismic resistance feasibility calculation technique employing non-linear statistical analysis based on the energy-centered approach. Non-linear static and non-linear dynamic calculations were run for a three-story frame. The two methods were benchmarked against each other, the importance of the higher modes of vibration was exposed, the importance of analyzing their influence on the system's response was emphasized.

Keywords: seismic resilience, non-linear calculation technique, non-linear dynamic calculation technique, pushover analysis, accelerogram

References

1. Mkrtychev, O.V., Dzhinchvelashvili, G.A. (2012). *Accounting Problems of Nonlinear Seismic Stability in the Theory (Hypothesis and Errors)*. Moscow: MGSU publ. 192. (In Russ.).
2. Sosnin, A.V. (2016). On the peculiarities of the methodology of nonlinear static analysis and its consistency with the basic normative methodology for calculating buildings and structures for the action of seismic forces. *Bulletin of the South Ural University. Ser. Construction Engineering and Architecture*, 16(1), 12–19. (In Russ.).
3. Dzhinchvelashvili, G.A., Bulushev, S.V., Kolesnikov, A.V. (2016). Nonlinear static method of analysis of seismic resistance of buildings and structures. *Sejsmostojkoe stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzhenij*. (5), 39–47. (In Russ.).
4. Dzhinchvelashvili, G.A., Bulushev, S.V. (2017). Accuracy evaluation of the nonlinear static analysis method of the structures seismic resistance. *Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings*, (2), 41–48. (In Russ.).
5. Dzhinchvelashvili, G.A. (2015). *Nonlinear Dynamic Methods of Calculation of Buildings and Structures with a Given Security Seismic Stability*: Ph.D. in Technical science Thesis. Moscow. 46. (In Russ.).
6. Zadojan, P.M. (2009). Estimation of seismic stability by the spectrum load capacity. *Izvestija Erevanskogo gosudarstvennogo universiteta arhitektury i stroitel'stva*, (2). (In Russ.).
7. Mkrtychev, O.V., Dzhinchvelashvili, G.A., Dzerzhinskij, R.I. (2016). The philosophy of multi-level design in light of the provision of seismic stability of buildings. *Geologija i Geofizika Juga Rossii*, (1), 71–81. (In Russ.).
8. Mkrtychev, O.V., Dzhinchvelashvili, G.A. (2012). Assessment of buildings and structures beyond the elastic limit at the seismic influences. *XXI Russian-Slovak-Polish Seminar, "Theoretical Foundation of Civil Engineering"*, Moscow-Archangelsk 03.07 – 06.07.2012, 177–186. (In Russ.).
9. Nemchinov, Ju.I., Mar'enkov, N.G., Havkin, A.K., Babik, K.N. (2012). *Designing Buildings with a Given Level of Seismic Resistance* (taking into account the recommendations of EUROCODE 8, int. standards and DBN requirements): Monograph. Kiev: Minregion Ukrainy, GP NIISK. 53. (In Russ.).
10. Chopra, A.K., Goel, R.K. (2000). Capacity-demand diagram methods based on inelastic design spectrum. *Proc. of 12th World Conference on Earthquake Engineering*, Auckland, New Zealand, paper № 1612.
11. Chopra, A.K., Goel, R.K. (2002). A modal pushover analysis procedure for estimating seismic demands for buildings. *Earthquake Engineering And Structural Dynamics. Earthquake Engin. Struct. Dyn.*, 2002, (31), 561–582. DOI: 10.1002/eqe.144.
12. Clough, R.W., Penzien, J. (1995). *Dynamics of Structures* (Third Edition). Computers & Structures, Inc. 1995 University Ave., Berkeley, CA 94704, USA, 752 p.
13. Datta, T.K. (2010). *Seismic Analysis of Structures*, John Wiley & Sons (Asia), p. 464.
14. Fajfar, P., Krawinkler, H. (2004), Performance-Based Seismic Design Concepts and Implementation. *Proceedings of the International Workshop Bled*, Slovenia, June 28 — July 1, 2004. PEER Report 2004/05, College of Engineering, University of California, Berkeley.
15. Gupta, B. (1998). Enhanced pushover procedure and inelastic demand estimation for performance-based seismic evaluation of buildings: Ph.D. Diss. Orlando, Florida, Univ. of Central Florida.
16. Mkrtychev, O.V., Dzhinchvelashvili, G.A., Busalova, M.S. (2014). Calculation accelerograms parameters for a "Construction-Basis" model, nonlinear properties of the soil taken into account. *Procedia Engineering*, (91), 54–57. (In Russ.).
17. Paz, M.; Mario Paz, William Leigh, eds. (2004). *Structural Dynamics: Theory and Computation*, 5th ed. 844.
18. Themelis, S. (2008). *Pushover Analysis for Seismic Assessment and Design of Structures*, Heriot-Watt University, School of Built Environment.

Article history: Received: November 4, 2017

Revised: November 30, 2017

Accepted: December 3, 2017

About the authors:

Guram A. Dzhinchvelashvili, DSc (in Engineering), Professor, Head of Department of Advanced Mathematics and Natural Sciences, Moscow State University of Transport. *Contact information:* e-mail: guram2004@yandex.ru

Sergey V. Bulushev, engineer, Moscow State University of Civil Engineering (National Research University). *Contact information:* e-mail: sergey.bulushev@gmail.com

For citation:

Dzhinchvelashvili, G.A., Bulushev, S.V. (2018). Feasibility evaluation for a predefined seismic resistance of structures. *Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings*, 14(1), 70–79. DOI: 10.22363/1815-5235-2018-14-1-70-79.