

УДК 624.15

DOI: 10.15587/2313-8416.2016.85841

ДОСЛІДЖЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ ДИНАМІЧНОЇ ПОВЕДІНКИ ВИСОТНИХ СЕКЦІЙ КУТОВОЇ ФОРМИ В СЕЙСМІЧНО НЕБЕЗПЕЧНИХ УМОВАХ

© О. Сахаров, В. Сахаров, О. Литвин

DYNAMIC BEHAVIOR FEATURES RESEARCH OF MULTISTORY SECTIONS WITH ANGULAR SHAPES IN SEISMIC HAZARD CONDITIONS

© O. Sakharov, V. Sakharov, O. Lytvyn

Представлено результати дослідження коливань багатопверхового двохсекційного будинку кутової форми при дії сейсмічних навантажень. Моделювання проводилось в просторовій постановці в складі системи «основа – фундамент – будівля» методом прямого інтегрування в часі за явною схемою. Показано, що кутова форма будівель призводить до підвищених вимог щодо мінімальної відстані до сусідніх конструкцій

Ключові слова: моделювання, прямий динамічний метод, сейсміка, багатопверхові будинки, основа – фундамент – будівля

The results of the oscillation of two-sectional multistory building with angular shapes under seismic loads are presented. The simulation was performed for the system "soil base – foundation – building" by explicit scheme of the direct time integration method in 3D. The results demonstrated that the angular shape of the buildings leads to increased minimum distances to neighboring structures

Keywords: simulation, direct dynamic method, seismicity, multistory buildings, soil base – foundation – building

1. Вступ

У сучасних умовах великих міст з обмеженим земельним ресурсом все частіше з'являються висотні будівлі зі складними конструктивними схемами. Поряд з цим в Україні фіксується загальна тенденція до підвищення сейсмічності, що ставить більш жорсткі вимоги до проектування будівель відносно забезпечення їх міцності та стійкості при сейсмічних впливах.

В умовах щільної забудови м. Києва нове будівництво часто ведеться в складних інженерно-геологічних умовах, що підвищує сейсмічні вимоги до забудови. Прагнення максимального використання площі забудови та зменшення витрат при зведенні несучого каркасу призводить до появи рішень із секціями кутової форми.

Одна з переваг об'ємно-планувального вирішення у вигляді куткових секцій багатопверхових будинків – доцільне використання дорогих вертикальних комунікацій (ліфтів, незадимлюваних сходів тощо) шляхом обслуговування ними найбільшої кількості квартир. З іншого боку, ускладнення форми плану секції не завжди є ефективним рішенням через збільшення периметра зовнішніх стін. Вузол ядра жорсткості найчастіше розміщують в темному просторі внутрішнього кута секції. Все це призводить до нерівномірного розподілу мас і жорсткості будівлі і, як наслідок, закручування будівлі в процесі сейсмічних навантажень.

2. Аналіз літературних даних

В значній кількості на сьогоднішній день для задач сейсміки використовуються спрощені методики, які базуються на лінійно-спектральній теорії. При динамічній взаємодії будівель з основою важливим є врахування втрат енергії коливань [1]. В роботах багатьох

вчених [2–4] приводяться порівняльні результати оцінки сейсмічного впливу на різні об'єкти, отримані за допомогою більш загальних підходів з використанням методів прямого інтегрування в часі та врахування нелінійної взаємодії елементів системи «основа – фундамент – будівля». Ці дослідження показують, що застосування спрощених постановок призводить до суттєвого викривлення результатів і найбільш повну інформацію про поведінку таких складних систем можуть дати тільки прямі динамічні методи.

В нормативній базі [5, 6] зазначається, що для складних об'єктів з підвищеними вимогами до надійності необхідно проводити розрахунки за прямими динамічними методами з урахуванням нелінійної роботи конструкцій та ґрунтової основи. Проте вимоги до алгоритмів та порядку розв'язку таких задач чітко не сформульовані.

Моделювання сейсмічного впливу на будівлі прямими методами інтегрування потребує значних ресурсів комп'ютерної техніки і обумовлює необхідність спеціальних ефективних методів та алгоритмів з відповідним програмним забезпеченням. Для зменшення кількості невідомих застосовуються методи динамічної редукції [7] в т. ч. з використанням підконструкцій [8]. В рамках Автоматизованої Системи Наукових Досліджень (АЧНД) «VESNA-DYN» була розроблена і реалізована методика моделювання з використанням нових спектральних суперелементів, яка забезпечила розв'язання задач щодо оцінки сейсмічного впливу на комплекс будівель [9].

3. Мета та задачі дослідження

Метою роботи є дослідження сейсмічного впливу на коливання каркасу багатопверхового будинку із секціями кутової форми в складі системи

«основа – фундамент – будівля» при врахуванні різних параметрів згасання, що дозволить оцінити вигоди щодо мінімальної відстані між конструкціями сусідніх секцій.

Для оцінки впливу різниці згасань для матеріалів ґрунту та конструкцій були досліджені задачі в трьох постановках:

- без урахування згасання коливань;
- з однаковим декрементом коливань ($\delta_k = \delta_{гр} = 0.3$);
- згасання у відповідності до середовищ ($\delta_k = 0.3, \delta_{гр} = 0.6$).

4. Матеріали і методи дослідження

Дослідження проводились шляхом чисельного моделювання засобами АСНД «VESNA» з урахуванням різних згасань для матеріалів ґрунтів та конструкцій. Розроблена скінченно-елементна модель пред-

ставлена на рис. 1. Елементи каркасу, фундаментів та шаруватої ґрунтової основи моделювались об'ємними ізотропними скінченними елементами за моментною схемою методу скінченних елементів [10].

Об'єкт являє собою двосекційний 25-ти поверховий житловий будинок з секціями кутової форми. Будинок має монолітний залізобетонний рамно-в'язевий каркас і тримається на пальових фундаментах із бурових паль довжиною 35 м. Ґрунтова основа складена з шарів пісків, суглинків та глин і віднесена до 3-ї категорії складності. Основою для паль служить глина напівтверда. Особливістю геологічної будови є значна неоднорідність ґрунтової товщі, чергування глинистих та пісчастих ґрунтів та наявність у частині ділянки ерозійного розмиву глибиною до 10 м. Ґрунтові води знаходяться на глибинах 10–11 м. Всі ці фактори призводять до нормативної сейсмічності ділянки забудови у 7 балів.

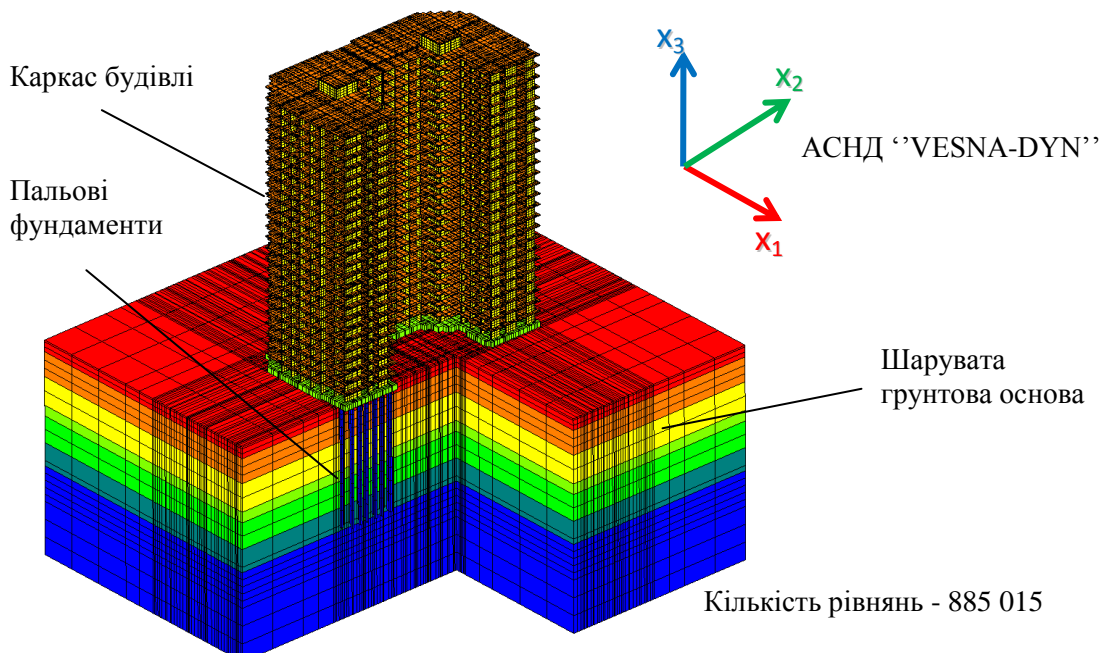


Рис. 1. Скінченно-елементна модель системи «основа–фундамент–будівля»

В якості сейсмічного навантаження використовувався врівноважений фрагмент трьохкомпонентної акселерограми № 8 [5] тривалістю 15 сек, переважаючі періоди якої близькі до періодів власних коливань будівлі. Загальний час моделювання склав 20 сек. Напрямок радіальної компоненти відповідає напрямку вісі X_1 .

Розрахунки проводились методом прямого інтегрування в часі по явній схемі. Крок інтегрування був прийнятий з умов забезпечення стійкості методу і склав 0,016 мс. Час розв'язку задачі в одній постановці склав 29 год.

5. Результати досліджень

Аналіз коливань будівлі без врахування процесів згасання коливань показав, що на всьому проміжку активного навантаження відбувається поступове нарощування амплітуд, що відповідає резонансному режиму роботи будівлі. При коливаннях кутова фор-

ма будівель призводить до закручування, що супроводжується значними переміщеннями в зоні деформаційного шва внаслідок обертання секцій. Періоди коливань сусідніх секцій близькі і після 5 с навантаження розташовувались в протифазі, рухаючись назустріч одна одній. Це пояснюється симетричним і близьким по величині розподілом мас та жорсткостей секцій і є визначальним для оцінки розміру деформаційного шва. Такі результати можна вважати граничними для оцінки динамічної реакції і коливань будівлі.

В реальних середовищах при динамічних процесах втрати енергії мають різну природу і величину. Процеси згасання коливань в ґрунтах основи (за виключенням скельних порід) більші, ніж в матеріалах несучих конструкцій будинку. При моделюванні за прямим динамічним методом процес розрахунку можна значно спростити шляхом використання методу нормальних координат (представлення переміщень через неповний спектр власних форм). Але при цьо-

му існує обмеження на врахування параметрів згасання, оскільки вони повинні бути однаковими для будівлі і основи.

У випадку врахування згасань, однакових для всієї системи в цілому, характер коливань змінився (рис 2). На початку навантаження відбувалось нарощування амплітуд коливань. Секції коливались в однаковому режимі, проте інтенсивність зростання коливань була менша (амплітуди зменшилися приблиз-

но в 1.7 раз порівняно з першим варіантом). Після 8 с активної фази навантажень коливання конструкцій секцій в більшості часу відбувались в зустрічному напрямку без подальшого зростання. У верхній частині будівлі амплітуди не перевищували 30 см. Тобто процеси згасання мають значний вплив не тільки на амплітуди, але і на характер коливань будинку в цілому, що відображається на картині розподілу напружено-деформованого стану (НДС) конструкцій.

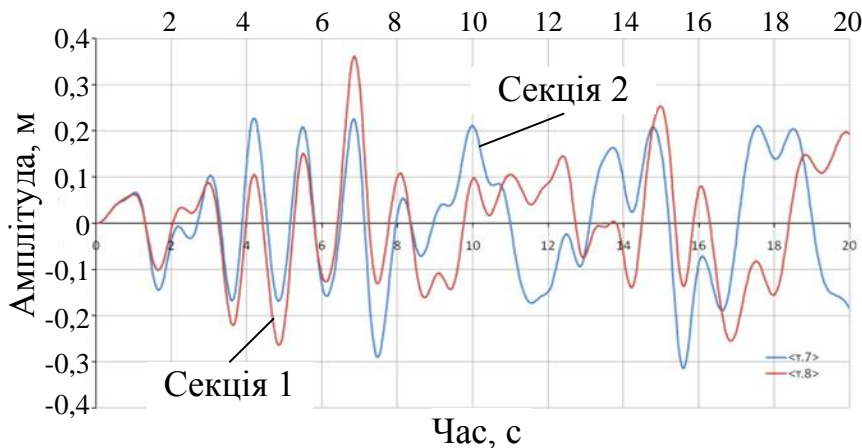


Рис. 2. Амплітуда коливань верху будівлі по напрямку X_2 ($\delta_k = \delta_{gp} = 0.3$)

Врахування різних декрементів коливань для основи і конструкцій при дослідженій тривалості навантажень також вплинуло на характер коливань.

Амплітуди коливань зменшилися в межах 23 % (рис. 3). Проте навіть незначні розбіжності у коливаннях секцій призвели до фактичного збере-

ження максимальних значень зближення секцій і відповідно до вимог щодо розмірів деформаційного шва. Для даної будівлі максимальне зближення складало 35 см. При недостатній ширині проектного шва це призведе до додаткових ударів, на які не розраховані конструкції.

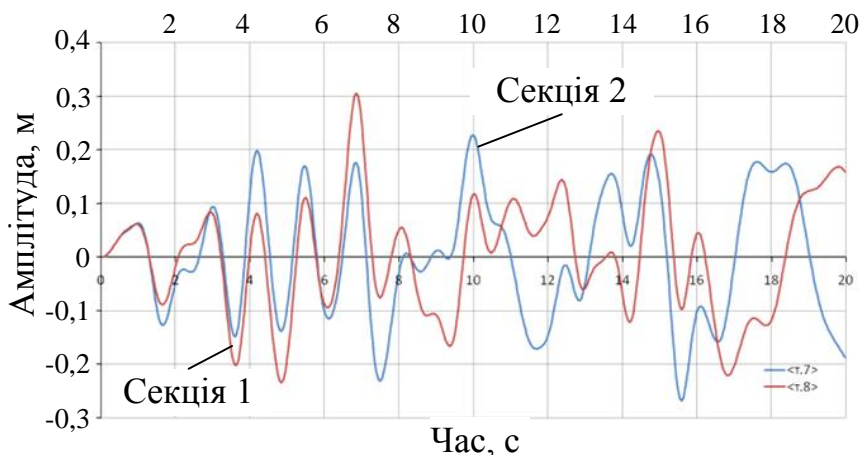


Рис. 3. Амплітуда коливань верху будівель по напрямку X_2 ($\delta_k = 0.3$, $\delta_{gp} = 0.6$)

6. Висновки

Аналіз отриманих результатів дозволяє зробити наступні висновки:

1. Для оцінки динамічної реакції будівель і споруд необхідно користуватись прямими динамічними методами, які дозволяють врахувати реальні властивості основи та несучого каркасу і забезпечують найбільш повний аналіз взаємодії елементів системи «основа – фундамент – будівля».

2. Коливання секцій кутової форми супроводжуються закрученням будинку, що призводить до

підвищених вимог щодо мінімальної відстані до сусідніх конструкцій. При недостатній ширині деформаційного шва це призведе до додаткових ударних навантажень, на які не розраховані конструкції.

3. Врахування згасань коливань призводить не тільки до зменшення амплітуд коливань, але змінює характер коливань, що в значній мірі може впливати на розподіл НДС в конструкціях та основі.

По результатам моделювання отримано, що для даних умов врахування різних значень декрементів коливань для ґрунтів і конструкцій переважно

привело тільки до зменшення амплітуд коливань. При цьому незначні зміни у фазі коливань будівель призвели до збереження величини максимального зближення сусідніх секцій.

Література

1. Красников, Н. Д. Динамические свойства грунтов и методы их определения [Текст] / Н. Д. Красников. – Л.: Стройиздат, 1970. – 240 с.
2. Bolisetti, C. Advanced Seismic Soil Structure Modeling [Text] / C. Bolisetti, J. Coleman // U. S. Department of Energy Office of Nuclear Energy. – 2015.
3. Boyko, I. P. Behavior of the multi-story building under seismic loads with the account of the viscoplasticity of the soil base [Text]: conference / I. P. Boyko, O. S. Sakharov, V. O. Sakharov // Soil Mechanics and Geotechnical Engineering. – Paris, 2013. – Vol. 2. – P. 1443–1446.
4. Sakharov, V. Dynamic behaviour of Zymne Monastery Cathedral on soil base with consideration of non-linear deformation of materials [Text] / V. Sakharov // Advances in Mechanics: Theoretical, Computational and Interdisciplinary Issues. – 2016. – P. 503–506. doi: 10.1201/b20057-107
5. ДБН В.1.1-12:2014. Будівництво у сейсмічних районах України [Текст]. – К.: Мінрегіон України, 2014. – 110 с.
6. Немчинов, Ю. И. Проектирование зданий с заданным уровнем обеспечения сейсмостойкости (с учетом рекомендаций Еврокода 8, международных стандартов и требований ДБН) [Текст]: сб. науч. тр. / Ю. И. Немчинов, Н. Г. Марьенков, А. К. Хавкин, К. Н. Бабик // Строительные конструкции. – К., 2012. – № 76. – С. 6–8.
7. Guyan, R. J. Distributed mass matrix for plate element bending [Text] / R. J. Guyan // AIAA Journal. – 1965. – Vol. 3, Issue 3. – P. 567–568. doi: 10.2514/3.2922
8. Lia, M. Influence of soil-structure interaction on seismic collapse resistance of super-tall buildings [Text] / M. Lia, X. Lub, X. Lua, L. Yea // Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering. – 2014. – Vol. 6, Issue 5. – P. 477–485. doi: 10.1016/j.jrmge.2014.04.006
9. Сахаров, В. О. Застосування спектральних суперелементів в задачах динаміки системи «основа – фундамент – будівля» [Текст] / В. О. Сахаров // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. – 2015. – Т. 1, № 202. – С. 35–44.

10. Метод конечных элементов в механике твердых тел [Текст] / под ред. А. С. Сахарова, И. Альтенбаха. – К.: Вища школа, 1982. – 80 с.

References

1. Krasnikov, N. D. (1970). Dinamicheskie svojstva gruntov i metody ih opredelenija [Dynamic properties of soils and methods of their determination]. Leningrad: Strojizdat, 240.
2. Bolisetti, C., Coleman, J. (2015). Advanced Seismic Soil Structure Modeling. U. S. Department of Energy Office of Nuclear Energy.
3. Boyko, I. P., Sakharov, O. S., Sakharov, V. O. (2013). Behavior of the multi-story building under seismic loads with the account of the viscoplasticity of the soil base. Soil Mechanics and Geotechnical Engineering. Paris, 2, 1443–1446.
4. Sakharov, V. (2016). Dynamic behavior of Zymne Monastery Cathedral on soil base with consideration of non-linear deformation of materials. Advances in Mechanics: Theoretical, Computational and Interdisciplinary Issues, 503–506. doi: 10.1201/b20057-107
5. DBN V.1.1-12:2014. Construction in seismic regions of Ukraine (2014). Kyiv: Minregion of Ukraine, 110.
6. Nemchinov, Yu. I., Maryenkov, N. H., Havkin, A. K., Babik, K. N. (2008). Building design with a given level of seismic resistance (with the recommendations of Eurocode 8, international standards and requirements DBN). Building constructions. Kyiv, 76, 6–8.
7. Guyan, R. J. (1965). Distributed mass matrix for plate element bending. AIAA Journal, 3 (3), 567–568. doi: 10.2514/3.2922
8. Li, M., Lu, X., Lu, X., Ye, L. (2014). Influence of soil-structure interaction on seismic collapse resistance of super-tall buildings. Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering, 6 (5), 477–485. doi: 10.1016/j.jrmge.2014.04.006
9. Sakharov, V. O. (2015). Use of spectral superelements in dynamic analysis of “soil base – foundation – building” systems. Visnyk of Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture, 1 (202), 35–44.
10. Sakharov, A., Altenbah, I. (Ed.) (1982). The finite elements method in the mechanics of solids. Kyiv: Vishcha Shkola, 80.

Дата надходження рукопису 09.11.2016

Сахаров Александр Сергійович, доктор технічних наук, професор, кафедра основ і фундаментів, Київський національний університет будівництва і архітектури, пр. Повітрофлотський, 31, м. Київ, Україна, 03680

E-mail: alexsakahrov@gmail.com

Сахаров Володимир Олександрович, доктор технічних наук, професор, кафедра будівельної механіки, Зеленогурський Університет, вул. Ліцеальна, 9, Зелена Гура, Польща, 65-417

E-mail: vladland@gmail.com

Литвин Олександр Володимирович, аспірант, молодший науковий співробітник, кафедра основ і фундаментів, Київський національний університет будівництва і архітектури, пр. Повітрофлотський, 31, м. Київ, Україна, 03680

E-mail: sasha32582@gmail.com

Sakharov Olexandr, Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Base and Foundation, Kyiv National University of Construction and Architecture, Povitroflotsky ave., 31, Kyiv, Ukraine, 03680

E-mail: alexsakahrov@gmail.com

Sakharov Volodymyr, Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Structural Mechanics, University of Zielona Góra, Licealna str., 9, Zielona Góra, Poland, 65-417

Email: vladland@gmail.com

Lytvyn Olexandr, Postgraduate student, Junior Scientific Researcher, Department of Base and Foundation, Kyiv National University of Construction and Architecture, Povitroflotsky ave., 31, Kyiv, Ukraine, 03680

E-mail: sasha32582@gmail.com