

**РОЗРАХУНОК КОНСТРУКТИВНИХ СИСТЕМ БУДІВЕЛЬ НА ОСНОВІ  
МЕТОДУ СПЕКТРУ НЕСУЧОЇ ЗДАТНОСТІ**

*В статті розглянуті основні положення, припущення та засади розробленої автором деталізованої методики нелінійних статичних розрахунків конструктивних систем на дію сейсміки та значних нерівномірних деформацій на основі методу спектру несучої здатності.*

*The main propositions, assumptions and grounds of developed by author itemized procedure of nonlinear static analysis of construction systems by influence of seismic loads and base substantial differential settlements based on capacity spectrum method are considered in the article.*

Територія України характеризується широким розповсюдженням складних і особливих інженерно-геологічних умов, зокрема, сейсмічної небезпеки, просідаючих ґрунтів, карстів, підроблювання, зсувонебезпеки тощо. Отже актуальними є питання розрахунку та захисту будівель і споруд в таких умовах.

Знаходячись під дією наведених вище впливів конструктивні системи будівель отримують підвищений розвиток нелінійних деформацій та місцевих пошкоджень, певний рівень яких може допускатися правилами ефективного з техніко-економічних міркувань захисту. Отже для підвищення якості та адекватності розрахунків необхідним є розвиток та впровадження в практику нелінійних методів розрахунку. Важливим чинником такого впровадження повинна бути прийнятна трудомісткість і складність таких розрахунків. Такими перевагами, а також універсальністю підходів та доброю наочністю характеризується статичний нелінійний розрахунок методом спектру несучої здатності. Враховуючи його першочергове пристосування до розрахунків на сейсмічні навантаження, а також новизну для України, наслідком є відсутність розгляду можливості застосування методу для розрахунку на інші особливі впливи, а також недостатня деталізація, з точки зору автора, для сейсмічного розрахунку.

Основні положення сейсмічного розрахунку методом спектру несучої здатності представлені у новій редакції ДБН «Будівництво у сейсмічних районах України» [1]. Вони розроблені на основі різних закордонних джерел [2-4 та ін.], в першу чергу Eurocode 8 [5], та узагальнено розглянуті у [6]. Але недостатня деталізація, а також пропозиція автора до застосування методу для розрахунку також й на дію значних нерівномірних деформацій основи (ЗНДО), стали поштовхом до розробки, обґрунтування та вдосконалення відповідної методики розрахунків. Перші кроки автора в даному напрямі наведені в роботі [7] та на даний момент отримали подальший розвиток.

Метою статті є висвітлення основних положень, припущень та засад розробленої автором деталізованої методики нелінійних статичних розрахунків конструктивних систем на дію сейсміки та значних нерівномірних деформацій на основі методу спектру несучої здатності.

Сфера використання пропонованої автором методики – це проектування нових та реконструкції існуючих будівель класу відповідальності СС-2 та СС-3, перевірка загальної міцності та стійкості конструктивної системи існуючих будівель в умовах 6 та більше балів сейсмонебезпеки, а також наявності чинників ЗНДО. Для розрахунку на сейсмічні впливи будівель з кількістю поверхів більше 12 рекомендують використання прямого динамічного методу та просторових динамічних моделей з врахуванням нелінійності та ґрунтової основи у вигляді масиву скінчених елементів (СЕ). В таблиці 1 наведені пропоновані загальні схеми розрахунку в різних варіантах сполучення складних впливів, що розглядаються. Перевірочні розрахунки конструктивних систем існуючих будівель виконують аналогічно без використання першого етапу в схемах, адже вхідними даними є вже наявні фактичні характеристики системи.

Таблиця 1

Загальні схеми розрахунку в різних варіантах сполучення складних впливів

Тип розрахунку	Схема	Примітки
На сейсміку	<p><b>Em. 3.</b> Ітераційний перерахунок схеми при суттєвих змінах (більше 10%) кількісних параметрів форм коливань від нелінійної зміни загальних жорсткостей системи, можливих відривів підшви від основи тощо</p> <p><b>Em. 1.</b> Попереднє проектування та підбір перерізів конструкцій з використанням спектрального методу (при першій ітерації розрахунку значення жорсткостей конструктивних елементів – початкове)</p> <p><b>Em. 2.</b> Оціночний нелінійний розрахунок методом СНС з визначенням фактичної сейсмостійкості конструктивної системи і можливою корекцією попередніх проектних рішень</p>	Статичні навантаження для розрахунку – згідно ДБН. Фізико-механічні (ФМХ) характеристики матеріалів – з граничними значеннями.
На ЗНДО	<p><b>Em. 3.</b> Ітераційний перерахунок схеми при суттєвих змінах (більше 10%) загальних жорсткостей системи, відривів підшви від основи тощо</p> <p><b>Em. 1.</b> Попереднє проектування та підбір перерізів конструкцій з використанням лінійного розрахунку (при першій ітерації розрахунку значення жорсткостей конструктивних елементів – початкове)</p> <p><b>Em. 2.</b> Оціночний нелінійний розрахунок конструктивної системи з подальшою можливою корекцією попередніх проектних рішень</p>	Статичні навантаження – згідно ДБН В.2.1-10 «Основи та фундаменти споруд», ДБН В.1.1-5 «Будинки і споруди на підроблюваних територіях і просідаючих ґрунтах» та ін. спеціалізов. норм. ФМХ матеріалів – з граничними значеннями.
Можливе суміщення сейсміки та ЗНДО	<p><b>Em. 3.</b> Ітераційний перерахунок схеми при суттєвих змінах, наведених в попередніх пунктах</p> <p><b>Em. 1.</b> Попереднє проектування та підбір перерізів конструкцій окремо на дію сейсміки та ЗНДО (при першій ітерації розрахунку значення жорсткостей конструктивних елементів – початкове)</p> <p><b>Em. 2.</b> Оціночний нелінійний розрахунок на сполучення складних впливів дій і можливою корекцією попередніх проектних рішень</p>	Статичні навантаження – згідно ДБН. ФМХ матеріалів – з граничними значеннями; для нелінійного розрахунку на сполучення складних впливів – з характеристичним і значеннями.

Слід відмітити, що загальні графіки аналогічні спектру несучої здатності при сейсмічних впливах можуть бути побудовані й при розвитку ЗНДО.

Наведемо основні припущення та засади пропонованої методики розрахунків:

- в цілому розрахунок за методом спектру несучої здатності (СНС) передбачає врахування нелінійності роботи конструктивної системи будівлі, але на початку для визначення розподілу горизонтальних сейсмічних навантажень (форм коливань) необхідно використати лінійний спектральний метод розрахунку;

- для сейсмічного розрахунку слід врахувати підвищену динамічну жорсткість основи через відповідні коефіцієнти жорсткості або шляхом створення масиву скінчених елементів основи ґрунту в межах стискаємої товщі по вертикалі та горизонталі з власною вагою (при цьому також враховується інерція основи);

- за наявності деформованої схеми будівлі форми коливань слід визначати з врахуванням відповідних змін лінійних жорсткостей поверхів та, за необхідності, положення конструкцій у просторі.

Наведемо деякі додаткові припущення та засади для розрахунку при врахуванні сумісної дії сейсміки та ЗНДО:

- враховується постдія («законсервований» напружено-деформований стан (НДС) – попереднє напруження) ЗНДО, яка є по суті постійним навантаженням, та складається зі складного НДС конструктивної системи та отриманих деформацій і пошкоджень;

- враховуючи аварійний характер поєднання впливів та відповідний значний ступінь сумарних напружень і деформацій в конструктивній системі, метою розрахунку є недопущення загального руйнування системи або її значної частини (за принципом недопущення прогресуючого руйнування). Отже, передбачається використання характеристичних значень фізико-механічних характеристик матеріалів несучих конструкцій, що допускається нормами

проектування будівельних конструкцій (наприклад, ДБН В.2.6-98:2009 «Бетонні та залізобетонні конструкції» [8], ДБН В.2.2-24:2009 «Проектування висотних житлових і громадських будинків» [9]);

- врахування нелінійності роботи конструктивної системи.

Повзучість матеріалів не враховують крім випадків її суттєвого впливу на зміну розрахункової схеми конструктивної системи (впливи 2-го порядку) або може бути врахована непрямо шляхом відповідного збільшення отриманих без неї деформацій для оцінки фактичних значень переміщень системи. Береться до уваги наступні фактори [8,10Мет та ін.]: повзучість чинить незначний вплив на руйнування структури матеріалу та відповідне поглинання енергії; при роботі конструктивної системи на піддатливій основі, як правило, спостерігається взаємна компенсація зусиль, тобто їх збільшення від розвитку повзучості в ґрунтах при ЗНДО компенсується зниженням при розвитку деформацій повзучості в матеріалах конструктивної системи; неврахування повзучості в матеріалах конструкцій, як правило, є «в запас» міцності, адже при цьому не враховується відповідний перерозподіл і зниження зусиль, крім цього враховується несприятливий варіант розвитку ЗНДО, який передбачає їх високу швидкість та незначний розвиток деформацій повзучості; чинні норми з розрахунку конструкцій передбачають врахування повзучості тільки, як правило, за II групою граничних станів; неврахування повзучості при сейсмічних розрахунках (в розповсюджених програмних комплексах не має можливості замінити СЕ зі збереженням в них передісторії по напруженнях-деформаціях).

На основі викладеного вище можна зробити наступні висновки. Застосування нелінійного статичного розрахунку методом спектру несучої здатності для оцінки впливу сейсмічних навантажень на конструктивну систему є універсальним і зручним та може бути розповсюджено на розрахунки впливу значних нерівномірних деформацій основи різної природи. При цьому необхідними є розробка, обґрунтування та розвиток деталізованих методик

такого розрахунку на вплив сейсміки та(або) ЗНДО. Автором запропоновані відповідні деталізовані методики, основні положення, припущення та засади якої розглянуті у даній статті.

## Література

1. Будівництво у сейсмічних районах України: ДБН В.1.1-12:2014. – Офіц. вид. – [На заміну ДБН В.1.1-12:2006; Чинні від 2014-10-01]. – К.: Укрархбудінформ: Мінрегіон України, 2014. – 110 с.
2. ATC-40. Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings – Volume 1 and 2 Applied Technology Council. Report No. SSC 96-01, Seismic Safety Commission, Redwood City, CA. – November 1996.
3. Chopra A. K. Capacity-demand diagram methods based on inelastic design spectrum. / Chopra A. K., Goel R. K. – 12WCEE-2000/1612. – P. 1-8.
4. Paulay T. Seismic design of reinforced concrete and masonry buildings / T. Paulay, M. J. N. Priestley. – A Wiley Interscience Publication, New York. – 1992. – 744 p.
5. Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance.
6. Проектирование зданий с заданным уровнем обеспечения сейсмостойкости : монография / Ю.И. Немчинов, Н.Г. Марьенков, А.К. Хавкин, К.Н. Бабик. – К.: Гудименко С.В., 2012. – 384 с.
7. Хохлін Д.О. Розрахунок будівель на сейсмічні навантаження з врахуванням значних нерівномірних деформацій основи / Д.О. Хохлін // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. – Рівне: НУВГП, 2015. – Вип. 31. – С. 524-530.
8. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення: ДБН В.2.6-98:2009. – Офіц. вид. – [На заміну СНиП 2.03.01-84\*; Чинні від 2011-07-01]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2011. – 71 с.
9. Проектування висотних житлових і громадських будинків: ДБН В.2.2-24:2009. - Офіц. вид. – [Введено вперше; Чинні від 2009-09-01]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2009. – 103 с.
10. Метелюк Н.С. Совершенствование расчета сооружений, возводимых в сложных грунтовых условиях / Метелюк Н.С. – К.: Будівельник, 1980. – 144 с.