

## Аналіз впливу нерівномірних деформацій основи на перерозподіл напружень у конструкціях двосекційної будівлі

Антоніна Байло, магістр<sup>1</sup> (ORCID: 0009-0005-1185-3636), Вероніка Жук, доц., канд. техн. наук<sup>1</sup> (ORCID: 0000-0002-1114-3192), Остап Кашоїда, PhD, доц.<sup>1</sup> (ORCID: 0000-0002-9234-4489)

<sup>1</sup> Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ, Україна

### АНОТАЦІЯ

У роботі проаналізовано вплив нерівномірних деформацій основи, спричинених можливим локальним водонасиченням просідаючих ґрунтів (зокрема внаслідок аварійних втрат із водопровідних мереж), на напружено-деформований стан двосекційної будівлі з секціями різної поверховості. Наведено результати перерозподілу зусиль та деформацій у несучих конструкціях за умов локального просідання ґрунтової основи. Дослідження виконано шляхом числового моделювання спільної роботи споруди з ґрунтовим масивом у ПК Ліра. Ґрунтовий масив моделювався об'ємними скінченими елементами, закономірність поведінки ґрунтового середовища під навантаженням прийнята пружна.

*Ключові слова:* Числове моделювання, метод скінчених елементів (МСЕ), напружено-деформований стан (НДС), взаємодія «основа - фундамент - споруда», об'ємний ґрунтовий масив, нерівномірні деформації, взаємовплив секцій.

### 1. ВСТУП

Лесові ґрунти проявляють небезпечні властивості при зволоженні – деформації просідання. Додаткову загрозу становлять аварійні витoki з водоносних мереж, що можуть призводити до локального насичення та нерівномірних осідань фундаментів. Такі деформації часто мають раптовий і локальний характер, що ускладнює їх прогнозування. Нерівномірні деформації особливо небезпечні для споруд зі складною конфігурацією або для секцій різної поверховості. Для таких об'єктів виникає необхідність у числовому моделюванні спільної роботи ґрунтової основи та будівлі [1]. Це дозволяє оцінити перерозподіл зусиль у конструкціях, передбачити можливі ушкодження.

### 2. ОСНОВНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ

Лесові ґрунти особливо чутливі до зволоження, бо їх пориста структура призводить до швидкого просідання - на 5–20% об'єму при насиченні водою, що може викликати нерівномірне осідання, перерозподіл напружень у фундаментних і надземних конструкціях. Для найнебезпечнішого сценарію (локальні втрати з водоносних мереж, що призводить до максимального нерівномірного просідання) слід звернути увагу на зонах, де вода може швидко насичувати шари лесу, посилюючи взаємний вплив секцій [2].

Ключові зони для розгляду сценаріями замочування - ті, де розмір і розташування зони насичення суттєво впливають на напружено-деформований стан (НДС) системи "основа-фундамент-будівля":

- 1) під центральною частиною фундаменту кожної секції (посилює асиметрію, якщо витік під однією секцією);
- 2) між секціями (посилює торсіонні ефекти, закручування через взаємний вплив секцій).

За принципом розповсюдження вологи в ґрунті від потенційних джерел водонасичення лесових порід слід розглядати найнебезпечніші варіанти між точковим,

лінійним і площинним замочуванням [3].

#### 2.1. НДС двосекційного будинку з ґрунтовою основою в природному стані

Для аналізу взаємодії двосекційного будинку з ґрунтовою основою виконано числове моделювання в ПК ЛІРА. Різнопверховість секцій будинку створює асиметричне навантаження на ґрунтову основу (Рис.1-а).

Через різницю у висоті секцій спостерігається нерівномірне осідання фундаментів (Рис.2-а). Максимальні вертикальні переміщення (5–7 см) зафіксовано під лівою секцією, тоді як під правою секцією ці значення менші (2–6 см). Це створює диференціальне осідання між секціями.

Взаємний вплив секцій призводить до утворення спільної воронки осідання, з центром, зміщеним до лівої секції через її більше навантаження на ґрунт. У зоні між секціями спостерігається перехідна зона з градієнтом осідань, що посилює локальні деформації лесового ґрунту.

Під лівою секцією вертикальні напруження в ґрунті значно вищі (Рис.1-а) порівняно з правою секцією. У зоні між секціями напруження перерозподіляються, створюючи зону підвищених зсувних напружень.

Асиметрія навантажень через різну висоту секцій і складну геометрію в плані призводить до закручування будинку відносно вертикальної осі. Закручування більш виражене в лівій (вищій) секції, де центр мас зміщений, викликаючи додаткові зсувні деформації в конструкціях.

#### 2.2. Замочування лесового ґрунту в центральній зоні секції

При замочуванні лесових порід під центральною частиною лівої секції зафіксовано нерівномірні вертикальні переміщення основи, що проявляються у вигляді «чашоподібного» осідання. Найбільші деформації ґрунту зосереджені в серединній зоні секції, тоді як крайові ділянки залишаються відносно стабільними. Такий характер осідань призвів до виникнення додаткових згинальних моментів у несучих елементах.

#### 2.3. Замочування лесового ґрунту між секціями

У випадку локального замочування лесового ґрунту в

зоні стику секцій встановлено збільшення нерівномірності осідань. Найбільші вертикальні деформації основи спостерігаються безпосередньо під міжсекційним швом (Рис.2-б). Це призвело до виникнення диференційних осідань між секціями різної висоти: ліва (вища) секція зазнає більших вертикальних переміщень у порівнянні з правою, що спричиняє додаткове перекошування конструктивної системи.

Додаткові напруження в зоні міжсекційного шва збільшилися від 120-180 кПа до 240 кПа після лінійного замочування лесових порід. Спостерігається утворення концентратора напружень під подошвою паль в зоні між секціями (Рис.1-б). Аналіз НДС показав:

- у зоні контакту між секціями формується підвищений рівень розтягувальних і згинальних напружень;
- у несучих стінах та перекриттях, прилеглих до деформаційної зони, відмічено концентрацію зусиль, що перевищують середні значення у 1,3–1,5 рази.

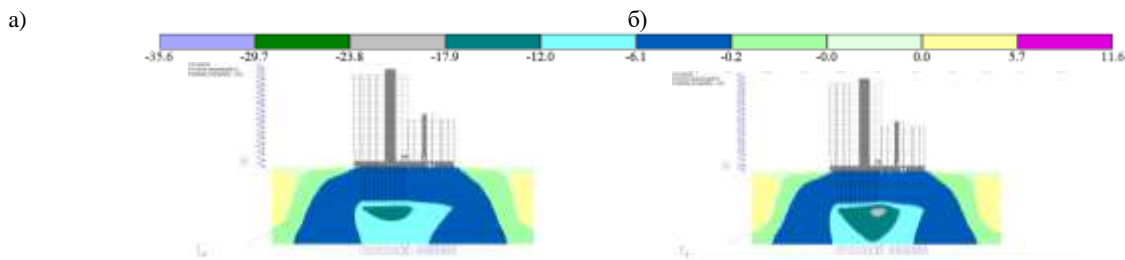


Рисунок 1. Додаткові напруження в основі  $\sigma_{zp}$  (т/м<sup>2</sup>) двосекційного будинку з секціями різної поверховості: а - ґрунти в природному стані; б – варіант замочування лесових ґрунтів між секціями будинку



Рисунок 2. Ізополя осідання (мм) фундаментів двосекційного будинку з секціями різної поверховості: а - ґрунти в природному стані; б – варіант замочування лесових ґрунтів між секціями будинку

### 3. ВИСНОВКИ

1. Локальне зволоження та просідання лесових ґрунтів суттєво впливають на НДС двосекційної будівлі з різною поверховістю секцій, викликаючи нерівномірні осідання та перерозподіл зусиль у конструкціях.
2. У випадку замочування ґрунту між секціями спостерігається найбільш небезпечний сценарій — перекошування конструктивної системи та концентрації напружень у зоні міжсекційного шва.
3. Замочування ґрунту під центральною частиною вищої секції формує «чашоподібний» характер осідань, що викликає додаткові згинальні моменти в перекриттях і стінах. При цьому вплив на нижчу секцію є меншим, однак внутрішні зусилля у несучих елементах самої вищої секції істотно зростають.
4. Дослідження підтвердило високу чутливість будівель складної конфігурації до локальних деформацій ґрунтової основи. Це вимагає врахування можливих аварійних замочувань у проєктних розрахунках.

### 2.4. Аналіз результатів дослідження

Отримані результати свідчать, що навіть локальне зволоження лесової основи може викликати помітний перерозподіл зусиль у каркасі будівлі та створити потенційну небезпеку для експлуатаційної надійності споруди.

Моделювання аварійних витоків з водоносних мереж показало, що просідаючий лесовий ґрунт у зоні між секціями зазнає додаткових деформацій просідання (додаткові 3 см). Це посилює торсіонні ефекти (кут закручування секцій збільшується).

Порівняно з варіантом замочування між секціями, локалізація деформацій під центральною частиною вищої секції меншою мірою впливає на праву (нижчу) секцію, однак значно підвищує внутрішні зусилля всередині самої лівої секції. Це свідчить про підвищену чутливість вищої секції до локальних просідань ґрунтової основи під центральними зонами.

### Список літератури

- [1] Carbonell, J. M., et al. (2022). Geotechnical particle finite element method for modeling of soil-structure interaction under large deformation conditions. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 14(3), 967–983. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2021.06.012>
- [2] Charlier, R., et al. (2021). Deterministic Numerical Modeling of Soil–Structure Interaction. In: *Soil-Structure Interaction: Numerical Analysis and Modeling*. Springer.. URL: <https://orbi.uliege.be/bitstream/2268/293144/1/Deterministic%20Numerical%20Modeling%20of%20Soil-Structure%20Interaction%20-%20Charlier.pdf>
- [3] Жук, В., П'ятков, О., & Тарамбула, С. (2020). Напружено-деформований стан фундаментів будинку з врахуванням можливого водонасичення лесових ґрунтів. *Основи та Фундаменти*, (41), 22–31. DOI: <https://doi.org/10.32347/0475-1132.41.2020.22-31>