

Особливості формування напружено-деформованого стану конструкцій у багатосекційних будівлях

Євгенія Задача, магістр ¹(ORCID: 0009-0006-2828-9784), Олександр Гаврилюк, асистент ¹ (ORCID: 0000-0001-7252-0679)

¹ Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ, Україна

АНОТАЦІЯ

Проаналізовано вплив спільної роботи секцій будівлі на формування напружено-деформованого стану елементів системи «основа – фундамент – будівля». Актуальність роботи пов'язана з тим, що традиційно секції розглядають як відносно незалежні конструктивні блоки, що може призводити до недооцінки їх взаємодії та неточних розрахунків. Дослідження виконано шляхом числового моделювання спільної роботи споруди з ґрунтом у ПК Ліра. ґрунтовий масив моделювався об'ємними скінченими елементами, закономірність поведінки ґрунтового середовища під навантаженням прийнята пружна. Результати показали, що при спільній роботі секцій формується єдина воронка осідання ґрунтової основи, що суттєво відрізняється від характеру осідання окремих секцій. Це спричиняє перерозподіл зусиль в конструкціях секцій будинку.

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

1. ВСТУП

Удосконалення методів проектування та підвищення надійності сучасних багатопверхових споруд неможливі без врахування взаємодії з основою. Питання формування напружено-деформованого стану (НДС) у системі «основа - фундамент - будівля» особливо актуальне для багатосекційних будівель, де різноманітність конструктивних рішень і нерівномірність навантажень можуть спричинити складні просторові ефекти [1].

Актуальність дослідження зумовлена тим, що при проектуванні багатосекційних будівель часто нехтують особливостями їх спільної роботи в системі «основа - фундамент - будівля», що може призводити до неточного визначення НДС, виникнення нерівномірних деформацій.

Метою дослідження є порівняння НДС окремих секцій з НДС будівлі в цілому та виявлення особливостей перерозподілу напружень і деформацій у системі. Для досягнення мети застосовано числове моделювання з урахуванням реальних ґрунтових умов.

2. ОСНОВНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ

Незважаючи на врахування закономірностей взаємодії «основа - фундамент - конструкція», у практиці проектування часто застосовуються спрощені підходи: секції будинку розглядають як відносно незалежні блоки або ж застосовують наближення рівномірного навантаження. Такі спрощення не завжди адекватно відображають просторову поведінку багатосекційних споруд у реальних ґрунтових умовах і можуть призводити до недооцінки негативних ефектів, зокрема утворення спільної воронки осідання або закручування асиметричних секцій [2]. Тому було виконано дослідження, яке порівнює НДС окремих секцій та НДС будівлі, як єдиного просторового об'єкта, з урахуванням реальних ґрунтових умов і конструктивних параметрів. Дослідження було виконано на прикладі двосекційного житлового будинку з

секціями різної поверховості, що викликає асиметричне розподілення навантаження на ґрунтову основу.

2.1. НДС секції №1

Для секції №1, розглянутої як окремий конструктивний блок у взаємодії з ґрунтовою основою (Рис.1-а), зафіксовано утворення локальної воронки осідання. Центр воронки збігається з положенням центра ваги секції, що просторово відповідає її ядру жорсткості (Рис.1-б).

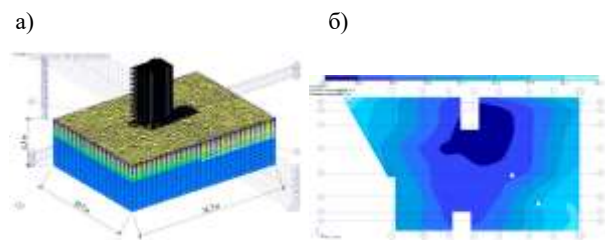


Рисунок 1. Визначення НДС секції №1: а - скінчено-елементна модель; б - осідання фундаменту (мм)

Такий характер деформування є закономірним для ізольованої секції за умови симетричного розподілу навантаження, оскільки результуюча вертикальна сила прикладається в межах ядра жорсткості й не викликає додаткових крутильних впливів.

2.2. НДС секції №2

Для секції №2, яка має меншу поверховість і аналогічно розглядалася як самостійний блок у взаємодії з ґрунтовою основою (Рис.2-а), результати моделювання засвідчили також утворення локальної воронки осідання (Рис.2-б). Аналогічно до секції №1, центр воронки співпадає з положенням центра ваги конструкції, тобто з ядром її жорсткості.

Менша поверховість зумовлює зниження величини навантаження на основу, у результаті чого характер осідання зберігає загальну тенденцію, проте амплітуда

вертикальних переміщень є меншою. Це підтверджує закономірність формування осідань для окремих секцій за умов симетричного навантаження та створює підґрунтя для подальшого аналізу їх спільної роботи у складі будівлі.

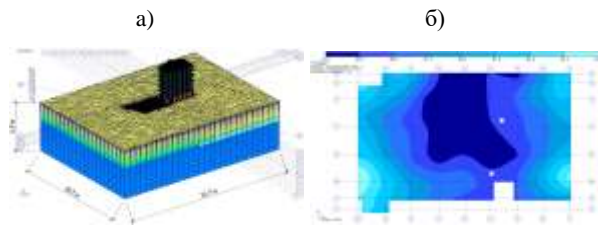


Рисунок 2. Визначення НДС секції №2: а - скінчено-елементна модель; б - осідання фундаменту (мм)

2.3. НДС двосекційного будинку

При розгляді будівлі як єдиного просторового об'єкта, що взаємодіє з ґрунтовою основою (Рис.3-а), результати числового моделювання продемонстрували суттєві відмінності порівняно з аналізом окремих секцій. Замість локальних воронки осідання сформувалася спільна загальна воронка під усією будівлею (Рис.3-б). Центр цієї воронки зміщений у бік секції більшої поверховості, що пояснюється асиметричним розподілом навантаження.

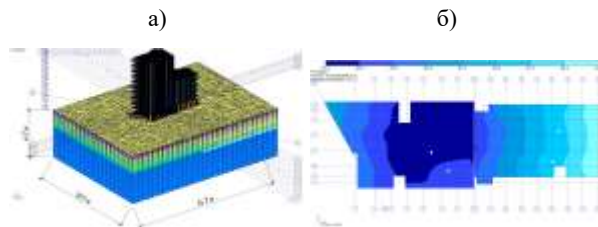


Рисунок 3. Визначення НДС двосекційного будинку: а - скінчено-елементна модель; б - осідання фундаментів (мм)

Крім того, було зафіксовано закручування секції більшої поверховості, зумовлене асиметричною плановою формою будівлі та просторовим перерозподілом зусиль у несучих елементах. Такі результати підкреслюють необхідність урахування спільної роботи секцій у розрахунках, оскільки поведінка будівлі в цілому суттєво відрізняється від поведінки її окремих частин.

2.4. Аналіз результатів дослідження

Аналіз результатів числового моделювання секцій №1 та №2, розглянутих як окремі конструктивні блоки у взаємодії з основою, показав однакову закономірність деформування: в обох випадках формується локальна воронка осідання з центром під ядром жорсткості секції. Різниця між ними полягає у величині вертикальних переміщень, яка є більшою для секції більшої поверховості і меншою для секції меншої поверховості. Така тенденція є очікуваною враховуючи відмінність навантаження, що передається на основу.

Результати моделювання показали, що секція з меншою поверховістю зазнала втягування у спільну воронку осідання, сформовану ґрунтовою основою під усією будівлею. Це спричинило її додаткові горизонтальні переміщення (Рис.4) та виникнення крену відносно вертикальної осі.

Результати дослідження демонструють, що спільна робота секцій призводить до утворення спільної воронки осідання, яка відрізняється за формою і величиною від характеру деформування ізолюваних секцій.

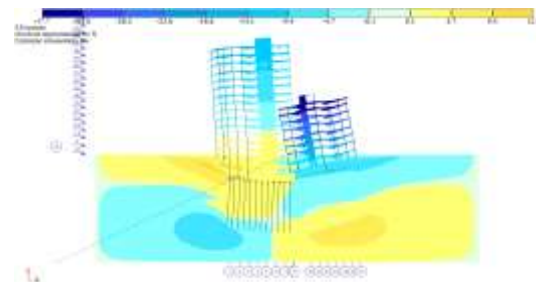


Рисунок 4. Горизонтальні переміщення вздовж Х (мм) секцій будинку при врахуванні їх взаємовпливу

Крім того, асиметрична планова форма секції спричинила її закручування під дією деформацій ґрунту, що ускладнює просторовий характер напружено-деформованої роботи конструкцій. Ці явища супроводжуються суттєвим перерозподілом внутрішніх зусиль у несучих елементах.

3. ВИСНОВКИ

Продемонстровано важливість аналізу спільної роботи секцій у складі будівлі, де характер осідань і перерозподіл зусиль відрізняються від поведінки ізолюваних блоків:

- спільна робота секцій зумовлює формування єдиної воронки осідання ґрунтової основи, параметри якої суттєво відрізняються від характеру осідання окремих секцій;
- асиметрія по висоті та планувальній формі секцій призводить до зміщення результуючих сил відносно центра жорсткості фундаменту, що, у свою чергу, призводить до їх закручування під час деформування основи та ускладнює просторовий характер роботи конструкцій;
- секція з меншою поверховістю зазнала втягування в зону максимальних деформацій спільної воронки осідання будинку, що призвело до появи крену секції і додатково ускладнило просторову роботу будівлі. Це свідчить про важливість урахування не лише деформацій, а й поворотних переміщень секцій у розрахунках багатосекційних споруд.
- урахування взаємодії секцій та ґрунтової основи дозволяє підвищити надійність і безпеку будівель, оптимізувати витрати матеріалів та запобігти експлуатаційним дефектам.

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] Blasone, A., et al. (2025). Incorporating soil-structure interaction into simplified numerical models for fragility analysis of RC structures. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*. DOI: <https://doi.org/10.1002/eqe.4259>

^і Робота виконана під керівництвом канд. техн. наук, доц. Вероніки Жук