

## ВЗАЄМОДІЯ КОНСТРУКЦІЙ БУДИНКІВ ІЗ ҐРУНТОВОЮ ОСНОВОЮ З УРАХУВАННЯМ ЦЕНТРІВ ВАГИ НАДЗЕМНИХ КОНСТРУКЦІЙ І ФУНДАМЕНТІВ

*Наведено порівняльні результати досліджень формування напружено-деформованого стану елементів системи «ґрунтова основа – пальовий фундамент – надземні конструкції» при наближенні та віддаленні центрів ваги надземних і фундаментних конструкцій одне відносно одного, а також розглянуто їх вплив на геометричне розташування паль у плані.*

**Ключові слова:** напружено-деформований стан, ґрунтова основа, пальовий фундамент, фундаментні конструкції, надземні конструкції, центр ваги, геометричне розташування паль, взаємодія, висотні будинки.

*Приведены сравнительные результаты исследований формирования напряженно-деформованного состояния элементов системы «грунтовое основание – свайный фундамент – надземные конструкции» при приближении и отдалении центров тяжести надземных и фундаментных конструкций друг относительно друга, а также рассмотрено их влияние на геометрическое расположение свай в плане.*

**Ключевые слова:** напряженно-деформированное состояние, грунтовое основание, свайный фундамент, фундаментные конструкции, надземные конструкции, центр тяжести, геометрическое расположение свай, взаимодействие, высотные здания.

*The comparative results of researches of forming of stress-strain state at the elements of the system are resulted "ground base – pile foundation - superstructure" at approaching and removal centre of gravity of superstructure and fundamental constructions in relation to each other, and also their influence on the geometrical location of piles in a plan.*

**Keywords:** stress-strain state, ground base, pile foundation, fundamental constructions, superstructure, centre of gravity, geometrical location of piles, interaction, height building.

**Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими практичними завданнями.** З кожним роком у мегаполісах при дефіциті земельних ресурсів зростає будівництво висотних споруд. Тому виникає необхідність у зведенні будинків даного класу, що зростають як вгору, так і вниз, захоплюючи надземні та підземні простори.

У даних умовах суттєво змінюється напружено-деформований стан (НДС) основи забудови, несучий шар якої розташований на значній глибині від поверхні. Такі будівлі необхідно влаштовувати на пальових фундаментах для того, щоб передавати значне навантаження від надземних конструкцій на несучі ґрунти основи, що залягають під слабкими верхніми шарами.

Улаштування пальових фундаментів передбачає розроблення пальового поля з фіксованим геометричним розташуванням паль у фундаменті з урахуванням при цьому характеру розташування надземних конструкцій. Як відомо, палі, розміщені в периферійній та середній зонах пальового фундаменту, працюють по-різному, що теж вимагає раціонального розташування паль, а також узгодження їх положення з надземними конструкціями з метою врахування їх центрів ваги. Тобто наближення центра ваги пальового фундаменту до центра ваги надземних конструкцій дозволяє зменшити екстремальні зусилля як у фундаментних конструкціях, так і у надземних, що зумовлює зниження крутильного моменту будинку в цілому.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій, у яких започатковано розв'язання даної проблеми.** Досить часто в наш час палі розташовують у пальовому полі по регулярній сітці [2, 3, 6, 8]. Наведений приклад розташування паль не враховує положення та взаємодію центрів ваги. Слід наголосити, що у нормативних документах звучить вимога щодо розташування паль таким чином, щоб «рівнодіюча постійних навантажень, які діють на фундамент, проходила якомога ближче до центра ваги плану паль» [1], тому що постійні навантаження передаються на пальовий фундамент через наземні конструкції. У багатьох роботах [3, 4, 7, 8] розглянуто вплив положення паль у плані на формування напружено-деформованого стану системи «грунтова основа – пальовий фундамент – надземні конструкції» та показано вплив розташування паль. Тому дана проблема є актуальною, вона ще недостатньо досліджена та потребує подальшого вивчення.

**Виділення не розв'язаних раніше частин загальної проблеми, яким присвячується означена стаття.** Точність розрахунків у геотехніці залежить від багатьох факторів, одним із яких є прийняття моделі деформування ґрунтового середовища [5, 7].

Оскільки в основі розрахунків за нормативними вимогами лежить принцип лінійного деформування ґрунтів основи як суцільного середовища, що відбувається в межах пружних деформацій, тому неможливо відобразити реальну роботу елементів системи «грунтова основа – пальовий фундамент – надземні конструкції» та відслідковувати перерозподіл внутрішніх зусиль у надземних та фундаментних конструкціях.

Використання методики чисельного моделювання, зокрема методу скінченних елементів (МСЕ), при застосуванні теорії пластичної течії з неасоційованим законом деформування та критерієм Кулона – Мора або Мізеса – Шлейхера – Боткіна дозволяє прогнозувати реальну роботу ґрунтового масиву, а відповідно, й усіх конструкцій будинку [5, 7].

Раціональне розташування паль дає змогу ефективно розподілити навантаження між палями, а також дозволяє враховувати центри ваги надземних і фундаментних конструкцій. Це виключає виникнення додаткового ексцентриситету від рівнодіючих ваги надземних та фундаментних конструкцій, що у свою чергу запобігає виникненню крутильного моменту і поліпшує взаємодію будинків з основою.

**Метою розв'язання даної задачі** є виявлення впливу взаємодії центрів ваги надземних і фундаментних конструкцій при їх наближенні та віддаленні одна від одної.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Для відстеження перерозподілу зусиль у фундаментних конструкціях залежно від взаємодії надземних і фундаментних конструкцій умовно прийнято симетричне розташування надземних конструкцій, а фундаментних виконано у двох варіантах: із симетричним розміщенням паль та з несиметричним. У першому варіанті центри ваги збігаються, в другому – не збігаються (рис. 1). Даний будинок є умовний і прийнятий за умови повної симетрії конструкцій будинку та навантаження з метою відстеження впливу центрів ваги конструкцій. Для цього змінюється тільки один параметр – порушення симетрії у фундаментних конструкціях.

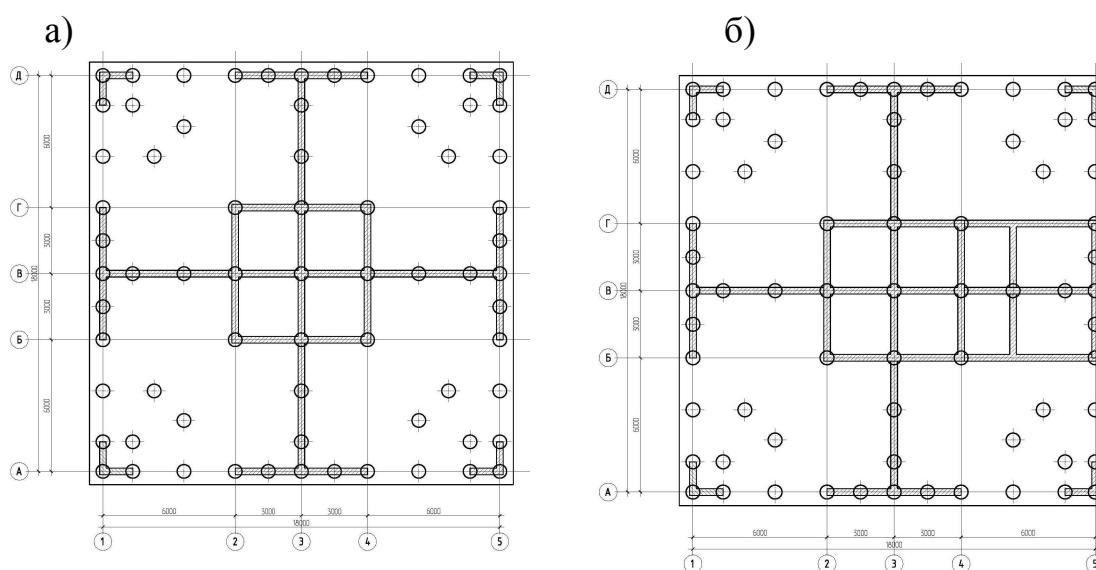


Рис. 1. Розташування надземних та фундаментних конструкцій:

а) симетричне; б) несиметричне

На основі попередніх розрахунків встановлено раціональне геометричне розташування паль (рис. 1), що використано для подальших розрахунків із дослідження впливу центрів ваги надземних та фундаментних конструкцій.

Для порівняння досліджень за наведеними вище варіантами влаштування конструкцій будинку була розроблена його скінченноелементна модель (рис. 2), представлена палевим фундаментом, зведеним на піщаному ґрунтовому масиві. Пальовий фундамент складається з 65 паль  $\varnothing 620$  мм довжиною 12,0 м, об'єднаних ростверком, товщиною 1,0 м.

Геометричні характеристики: поверховість – 15 пов., розмір у плані – 18x18 м, висота будинку – 45 м. Розміри навколишнього ґрунтового масиву приймалися таким чином, щоб найбільш точно врахувати особливості взаємодії основи під фундаментом із навколишнім ґрунтовим масивом. Так, ширина ґрунтового масиву по боках будинку становить 15,0 м, а під палями ґрунт враховано на глибину 10 м, тобто загальна потужність ґрунтового масиву становить 22 м (рис. 2).

Параметри матеріалів: конструкції будинку – залізобетон:  $E=30\,000\text{ МПа}$ ,  $\rho=2,75\text{ г/см}^3$ ,  $\mu=0,167$ , ґрунтовий масив – пісок:  $E=30\text{ МПа}$ ,  $\rho=1,70\text{ г/см}^3$ ,  $\mu=0,3$ .

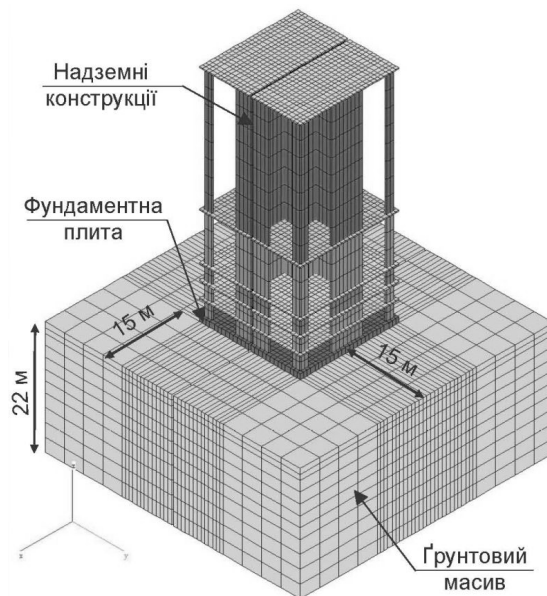


Рис. 2. Скінченноелементна модель

При проведенні моделювання було підібрано сітку скінченних елементів із такою умовою, що при її ущільненні різниця в результатах за попередніми розрахункам та за розрахунками зі щільнішою сіткою не перевищувала 1 %. Граничні умови накладено таким чином, щоб переміщення та напруження можна було вважати досить малими в крайових зонах (на поверхнях закріплення).

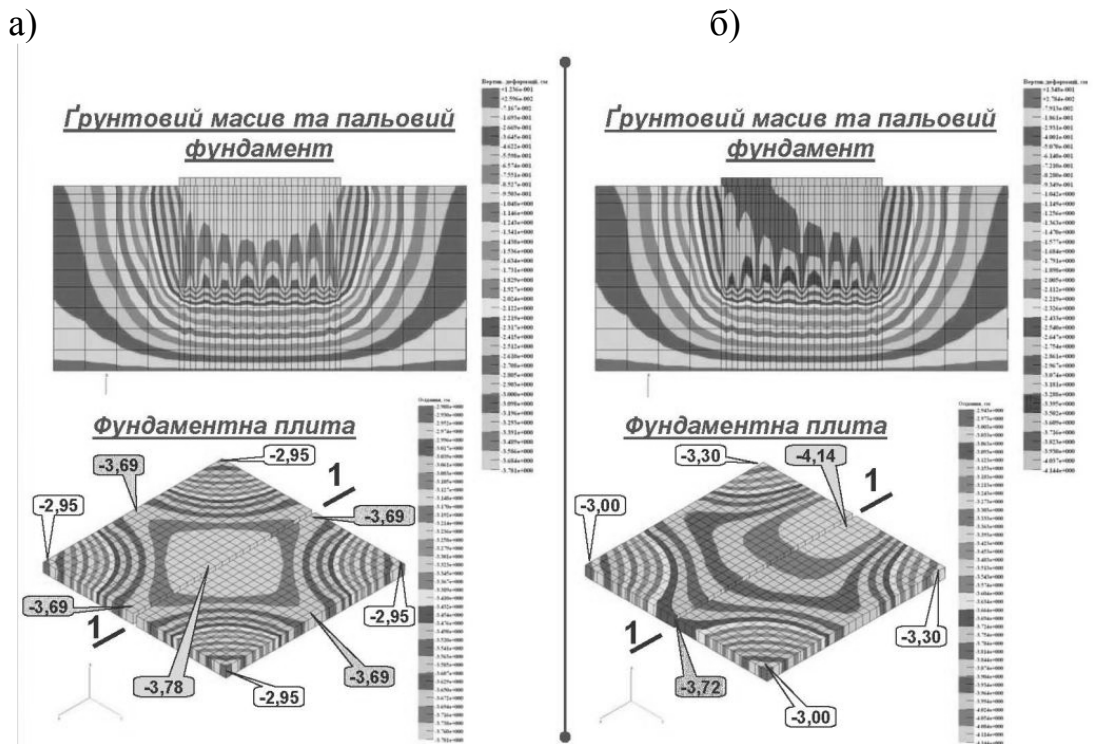


Рис. 3. Вертикальні деформації, см:

- а) центри ваги надземних і фундаментних конструкцій збігаються;
- б) центри ваги надземних та фундаментних конструкцій не збігаються

Після проведення даних розрахунків та досліджень можна сказати, що вертикальні деформації будинку відрізняються принципово (рис. 3). При зміщенні центра ваги надземних конструкцій відносно центра ваги фундаментних відбувається перекус будівлі в бік зміщення центра ваги надземних конструкцій. Воронка осідання також зміщується в той же бік, супроводжуючись появою крену будинку. Тому у зв'язку із цим виконано раціональне розташування паль у фундаменті: додано палі в зоні додаткових надземних конструкцій (рис. 4, а). Завдяки даним заходам відбувається наближення центрів ваги надземних та фундаментних конструкцій.

При симетричному розташуванні паль зусилля в них теж виникають симетрично. При зміщенні центра ваги надземних конструкцій відбувається нерівномірний перерозподіл зусиль на палі. А при коригуванні пального поля шляхом наближення центрів ваги надземних та фундаментних конструкцій навантаження на палі вирівнюються, крен будинку зменшується (рис. 4, б; 4, в; 4, г).

Проведені дослідження показують, що з наближенням центрів ваги надземних та фундаментних конструкцій зусилля в палях вирівнюються і нерівномірність завантаження не перевищує 10%.

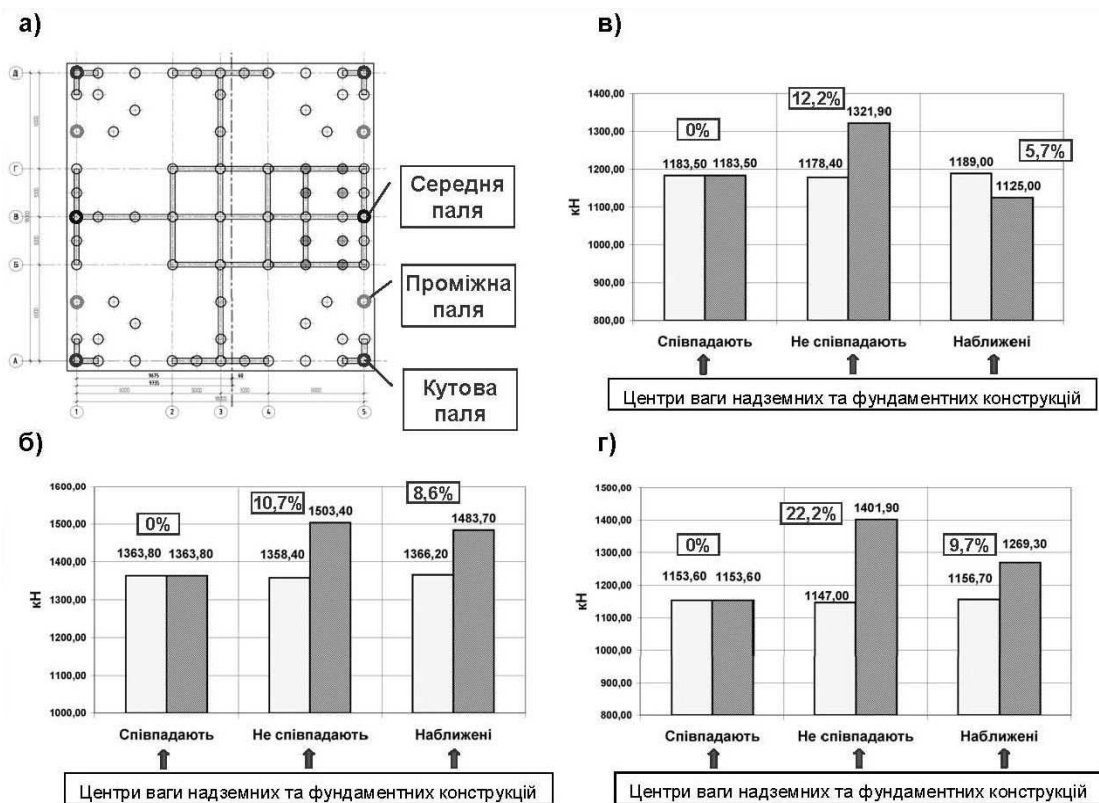


Рис. 4. Зусилля в палях, кН:

а) план пальового поля; б) кутова паля; в) середня паля; г) проміжна паля

Аналіз виконаних розрахунків дозволяє зробити такі **ВИСНОВКИ**:

1. Методика чисельного моделювання дає змогу виявити перерозподіл внутрішніх зусиль між надземними та фундаментними конструкціями.

2. Установлено, що врахування центрів ваги надземних і фундаментних конструкцій дозволяє виключати виникнення додаткового ексцентриситету від рівнодіючих ваги надземних та фундаментних конструкцій, що у свою чергу запобігає виникненню крутильного моменту і поліпшує взаємодію будинків з основою.

3. Так, урахування центрів ваги надземних та фундаментних конструкцій дозволяє вирівнювати вертикальні деформації будинку й осідання фундаментної плити, що у свою чергу призводить до зменшення крену будинку.

4. Установлено, що відносна різниця осідань фундаментної плити при неврахуванні центрів ваги надземних та фундаментних конструкцій призводить до нерівномірних деформацій. Дана величина в 1,5 разу більша за відповідну величину при врахуванні центрів ваги.

5. Неврахування центрів ваги надземних і фундаментних конструкцій призводить до нерівномірного завантаження палей окремих зон. Так, кутові палі перевантажуються до 11%, середні – на 12 – 21%, проміжні – на 15 – 25%.

6. При наближенні центрів ваги надземних та фундаментних конструкцій зусилля в палях вирівнюються і нерівномірність завантаження не перевищує 10%.

## Література

1. СНиП 2.02.03.-85. Свайные фундаменты. – М.: Стройиздат, 1985.
2. Бартоломей А.А. Современные проблемы свайного фундаментостроения в СССР / А.А. Бартоломей. – Пермь, 1985. – 154 с.
3. Бойко І.П. Особливості взаємодії пальових фундаментів під висотними будинками з їх основою / І.П. Бойко // Основи і фундаменти: міжвідомчий науково-технічний збірник. Вип. 30 / під. ред. І.П. Бойко. – К.: КНУБА, 2006. – 152 с.
4. Напружено-деформований стан пальового фундаменту висотної каркасної будівлі з урахуванням спільної роботи з ґрунтовим масивом/ І.П. Бойко, В.В. Жук, М.В. Корнієнко, О.С. Сахаров // Будівельні конструкції. – К.: НДІБК, 2004. – Вип.61, Т. 1. – С. 19 – 22.
5. Бойко І.П. Свайные фундаменты на линейно-деформируемом основании: дис. докт. техн. наук.: 05.23.02 / Бойко І.П. – М.: НИИОСП, 1988. – 372 с.
6. Зоценко М.Л. Сучасні проблеми пальового фундаментобудування / М.Л. Зоценко // Будівельні конструкції. – К.: НДІБК, 2004. – Вип. 61, Т. 2. – С. 33 – 39.
7. Сахаров В.О. Моделирование взаимодействия пальового фундамента с нелинейной основой в условиях пригрузки: диссер. канд. техн. наук.: 05.23.02 : Сахаров В.О. – К.: КНУБА, 2005. – 215 с.
8. Підлуцький В.Л. Вплив центрів ваги надземних та фундаментних конструкцій на раціональне розташування паль в плані / В.Л. Підлуцький // Наукова конференція молодих вчених, аспірантів і студентів КНУБА: тези доповідей / відп. за вип. П.П. Лізунов. – К.: КНУБА, 2007. – С. 51.

Надійшла до редакції 2.06.2009

© В.Л. Підлуцький