

**ЧИСЕЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ БУРОІН'ЄКЦІЙНОЇ ПАЛІ  
У ПІЩАНИХ ҐРУНТАХ**

І. В. Масвська, А. В. Романенко

*Здійснено розрахункове оцінювання напружено-деформованого стану системи «буроін'єкційна паля – основа» на вертикальне навантаження. Порівняні результати статичних випробувань буроін'єкційних палей на вертикальне навантаження в польових умовах з результатами розрахунків.*

*Исполнено расчетное оценивание напряжено-деформированного состояния системы «буроинъекционная свая – основание» на вертикальную нагрузку. Сравнено результаты статических испытаний буроинъекционных свай на вертикальную нагрузку в полевых условиях с результатами расчетов.*

*The calculation evaluation of the tensely-deformed state of the system is carried out a «bored pile – ground» on the vertical loading. The results of static tests of bored piles are compared on the vertical loading in the field terms with the results of calculations.*

**Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими практичними завданнями**

Більшість сучасних багатоповерхових будинків споруджується на фундаментах із буроін'єкційних палей. Згідно з діючими нормами [1] для таких фундаментів обов'язково необхідно проводити випробування статичним вдавлюючим навантаженням. Як правило ці випробування проводять не до кінця через ряд причин: зрив анкерних палей, неможливість передачі великих навантажень (оскільки проектом передбачається не менше  $1,5 F_d$ ) та ряд інших причин. За такої ситуації побудувати повноцінну криву залежності осідання від навантаження та визначити реальну несучу здатність палей не завжди можливо. Таким чином палей як правило використовують свою несучу здатність не повністю. А загальна кількість палей на будівельному майданчику може збільшуватись на 10-20 %.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій,  
у яких започатковано розв'язання даної проблеми**

Для теоретичного прогнозу поведінки палей та палевих фундаментів дослідники брали за основу рішення Мелана для плоскої задачі та рішення Міндліна у випадку просторової задачі. Такі підходи використовували в своїх дослідженнях Абраменко П. Г., Барвашов В. А., Бартоломей А. А., Таланов Г. П., Личов П. П. та ін.

Останнім часом на зміну теоретичним методам розрахунку палевих фундаментів прийшло використання чисельного моделювання. Так для оцінки напружено-деформованого стану системи «буроін'єкційна паля – основа» використовуються різні програмні комплекси, як вітчизняні: SCAD, Lira, Мономах, так і закордонні: Plaxis, Ansys, Abugus, Z-soil.

Основною задачею при чисельному моделюванні є – як найточніше відобразити умови роботи фундаменту у розрахунковій моделі. До факторів, які необхідно при цьому враховувати, належать ґрунти, що просідають [2], фундаменти під різновисотні секції будинків [3], а також крок палей, рівень підземних вод, конструкція палей та ряд інших особливостей [4, 5].

Програмний комплекс «Plaxis 3D foundation» призначений для моделювання та аналізу різноманітних геотехнічних споруд: насипи, котловани, стовпчасті та палеві фундаменти та ін.. Досвід використання програмного комплексу закордонними вченими показує, що результати моделювання близькі до натурних випробувань, і їх можна використовувати для попередньої оцінки роботи майбутніх фундаментів. [2, 3, 4].

### Формулювання цілей статі

При будівництві житлового будинку у Дарницькому р-ні м. Києва були проведені натурні випробування бурінекційних паль. Випробування були проведені згідно з вимогами діючого нормативного документа [1] до осадки, що не перевищує 40 мм. З аналізу побудованої кривої залежності осідання від навантаження, дані бурінекційні палі мають ще запас по несучій здатності. Тому було поставлено за мету змоделювати процес натурального випробування та порівняти його з реальними результатами, а також з несучою здатністю, визначеною згідно з нормами [1].

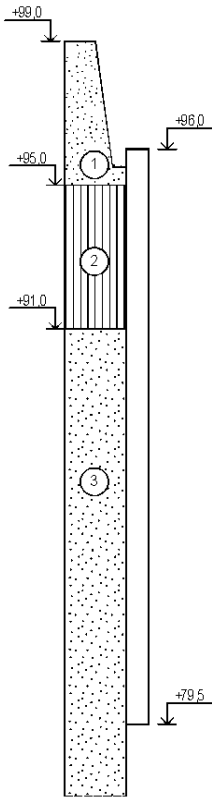


Рис. 1. Інженерно-геологічна колонка та розташування бурінекційної палі

### Виклад основного матеріалу

Будівельний майданчик поданий переважно піщаними ґрунтами (інженерно-геологічні колонки див. рис. 1)

ІГЕ1 – намівний пісок середньої крупності, жовто-сірий;

ІГЕ2 – супісок з домішками органічних речовин та прошарками піску;

ІГЕ3 – пісок різнозернистий сірий, щільний, глинистий.

Для моделювання роботи бурінекційної палі був використаний програмний комплекс «Plaxis 3D foundation» (version 1.6). У розрахунку були прийняті такі передумови та параметри.

Ґрунт: подається пружно-пластичною моделлю Мора-Кулона з врахуванням таких змінних параметрів: питома вага  $\gamma$ , питоме зчеплення  $c$ , кут внутрішнього тертя  $\varphi$ , коефіцієнт Пуасона  $\nu$ , модуль деформації  $E$ .

Бурінекційна паля: моделюється як лінійно деформоване тіло. Розрахункові характеристики матеріалу палі задаються такими параметрами як: модуль деформації  $E=3 \cdot 10^6$  кПа, коефіцієнт Пуасона  $\nu = 0,2$ . Довжина палі становить 16,5 м, з них 16 м знаходяться у ґрунті, діаметр палі 0,62 м.

Розрахунок напружено-деформованого стану основи бурінекційної палі складається з таких етапів. До першого етапу (фази) відноситься генерування початкових напружень від власної ваги ґрунту та води. У другій фазі генеруються умови натурального випробування. Це безпосередньо паля із зазначенням довжини та діаметра, а також виїмка ґрунту, у якій знаходилась дослідна паля. Оскільки глибина котловану становить 3,5 м, то виїмка змодельована уступами, щоб забезпечити її стійкість (загальний вигляд розрахункової моделі див. рис. 2)

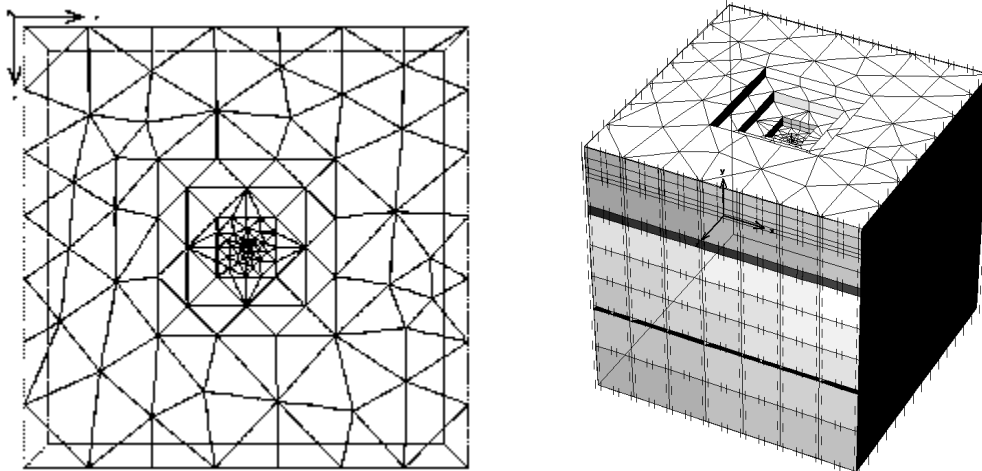


Рис. 2. Розрахункова схема бурінекційної палі

Навантаження на палю передавалось ступенями, відповідно до натурних випробувань (300, 600, 900, 1050, 1200, 1350, 1500, 1650, 1800, 1950, 2100, 2250, 2500 кН). На контакті поверхні палі з ґрунтом в розрахунках вводилися понижувальні коефіцієнти, що відповідає коефіцієнту умов роботи палі по боковій поверхні [1].

Результати проведених розрахунків подані на рис. 3 у вигляді графіка залежності осідання від вертикального навантаження палі.

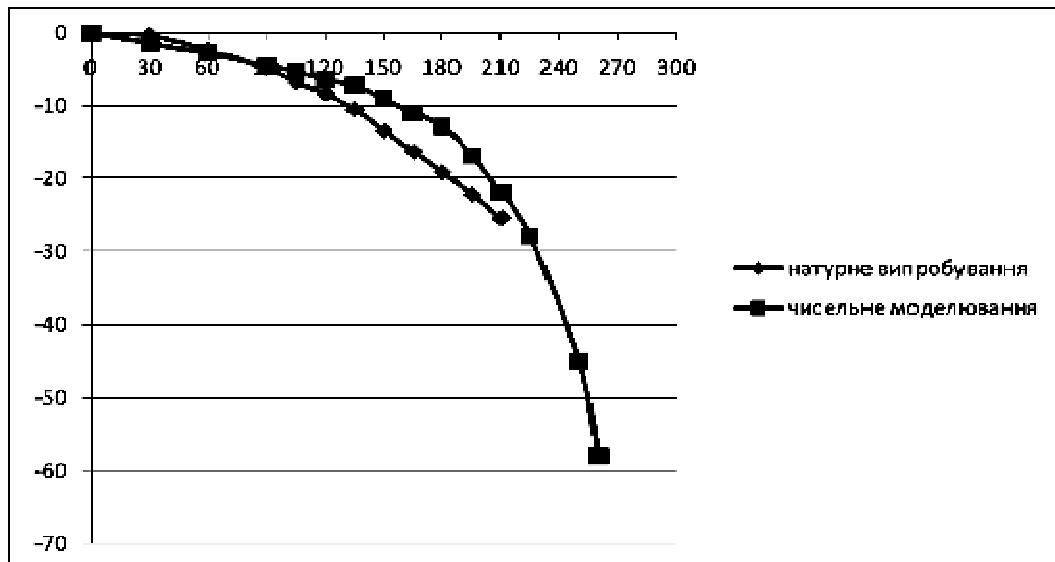


Рис. 3. Графік залежності «осідання -навантаження» при натурному випробуванні та моделюванні, відповідно

Ізополя переміщень ґрунту у вертикальному напрямку (рис. 4) показують, що у даних ґрунтових умовах найбільші переміщення відбуваються у нижній частині палі, як по боковій поверхні, так і під нижнім кінцем.

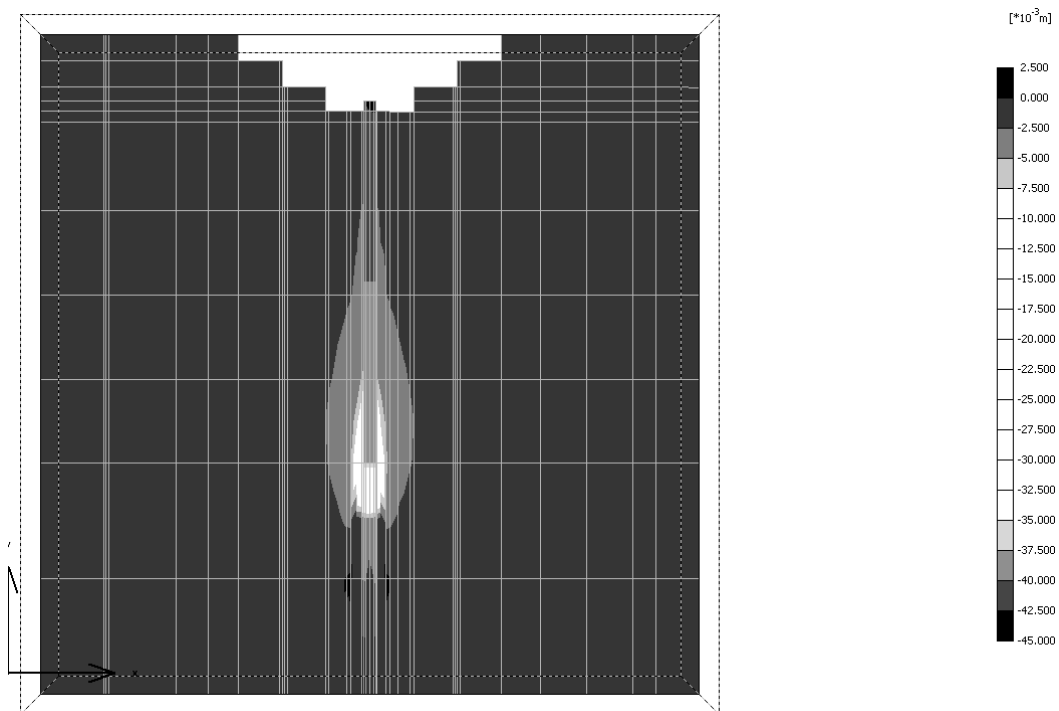


Рис. 4. Ізополя переміщень ґрунту у вертикальному напрямку

Критерієм для порівняння результатів розрахунків чисельного моделювання та натурних випробувань була прийнята несуча здатність, що визначалась за графіками. В даному випадку вона дорівнювала навантаженню при якому різко збільшувались осідання.

Так, несуча здатність за натурними випробуваннями становить 2100 кН, за результатами моделювання 2500 кН. В той же час несуча здатність визначена і теоретично становить 3100 кН, що значно перевищує натурні випробування.

Розбіжність кривих на рис. 1 можна пояснити використанням інженерно-геологічного розрізу не у точці дослідження, а на певній відстані.

#### Висновки

- Внаслідок проведених досліджень доведено, що несуча здатність буроін'єкційних паль визначена теоретично згідно з [1], завищена порівняно із натурними випробуваннями та чисельним моделюванням.
- За даними статичних випробувань розрахункове навантаження при дії вертикального навантаження майже збігається з результатами моделювання і не перевищує 5 %.
- Побудована крива залежності осідання від вертикального навантаження дозволяє більш чітко визначити резерв за несучою здатністю буроін'єкційної палі порівняно із натурними випробуваннями.

#### Використана література

1. Свайные фундаменты: СНиП 2.02.03-85. – М : Госстрой, СССР, 1986. – 48 с.
2. Корнієнко М. В. Чисельне моделювання роботи стовпчастих пальових фундаментів з розширенням в лесових ґрунтах // Основи та фундаменти: Міжвід. наук.-техн. зб. / М. В. Корнієнко, Д. А. Карпенко.– К. : КНУБА, 2008. Вип. № 31.
3. Носенко В. С. Напружено-деформований стан пальово-плитних фундаментів багатопверхових секційних будинків // Будівельні конструкції: Збірн. наук. праць. / В. С. Носенко – К.: НДІБК. – Вип. 71-1, 2008. – С. 255-259.
4. Лапін М. І. Оцінка напружено-деформованого стану системи «буронабивна паля в ґрунтоцементній оболонці-основа» / М. І. Лапін, М. В. Петруняк // Збірник наукових праць Полтавського національного технічного університету імені Юрія Кондратюка. Серія Галузеве машинобудування, будівництво. – Вип. 19. Полтава.: 2008. – С. 38-43.
5. Тугаєнко Ю. Ф. Предельная нагрузка и силы трения по боковой поверхности сваи по результатам полевых исследований // Збірник наукових праць. (Полтавського національного технічного університету імені Юрія Кондратюка. Серія Галузеве машинобудування, будівництво / Ю. Ф. Тугаєнко, А. П. Ткалич. – 2009. – Вип. 22. – С. 38-43.

**Маєвська Ірина Вікторівна** – к.т.н., доцент кафедри промислового та цивільного будівництва, Вінницький національний технічний університет.

**Романенко Андрій Васильович** – аспірант кафедри промислового та цивільного будівництва, Вінницький національний технічний університет.