

УДК 624.131.524

## ПОРІВНЯННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ОСНОВ НАБИВНИХ ПАЛІ У ПРОБИТИХ СВЕРДЛОВИНАХ У СКЛАДІ СТРІЧКОВОГО РОСТВЕРКУ ТА ЖОРСТКОГО СТРІЧКОВОГО ШТАМПУ

*д.т.н., проф. Винников Ю.Л., аспірант Мірошниченко І.В.*

*Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка*

**Постановка проблеми.** Набивні палі у пробитих свердловинах (НППС) вирізняє високий ступінь використання несучої здатності основи внаслідок формування в ній ущільненої зони. Вони дають змогу майже вилучити земляні й опалубочні роботи, знизити витрати бетону, металу, вартість і трудомісткість, прискорити зведення нульового циклу порівняно з фундаментами, що виготовляють з виїманням ґрунту та із забивних палей [1]. Але потребує удосконалення методика розрахунків НППС у складі стрічкових ростверків із урахуванням взаємодії цих палей із навколишнім масивом.

Сучасні рішення геотехнічних задач в межах вісесиметричної версії методом скінченних елементів (МСЕ) [2 – 4] у фізично й геометрично нелінійній постановці достатньо адекватно відбивають напружено-деформований стан (НДС) масиву при влаштуванні окремих фундаментів (палей) з ущільненням ґрунту та їх наступній роботі. Та ці рішення не коректно використовувати для оцінювання взаємодії палей у складі стрічкових ростверків з ґрунтами.

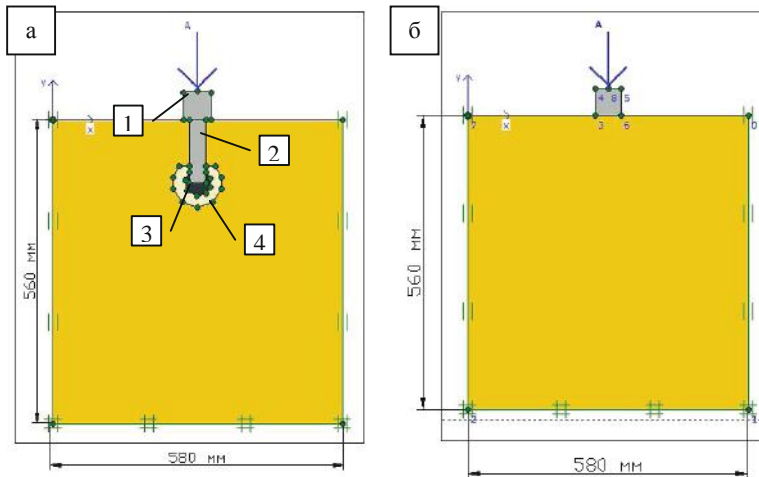
Натурні дослідження [5, 6] роботи системи «стрічковий ростверк – палі – основа» («СР – палі – О») підтвердили, що при відстані між осями палей  $3 - 4d$ , де  $d$  – бік поперечного перерізу палей, затиснутий між ними ґрунт можливо розглядати як єдиний масив. Тому доцільно довести коректність механічних моделей ґрунту й геомеханічних моделей плоскої (2D) і просторової (3D) версії МСЕ відомих програмних продуктів щодо розрахунків спільної роботи НППС у складі стрічкових ростверків з основою.

**Зв'язок з науковими та практичними завданнями й аналіз останніх досліджень і публікацій.** Автори довели коректність застосування МСЕ для розрахунку системи «СР – НППС – О». Так порівнянням результатів 2D і 3D моделювання МСЕ із застосуванням моделі ґрунту Мора – Кулона і лоткового досліду встановлено, що при відстані між осями НППС до п'яти діаметрів їх поперечного перерізу у складі СР ґрунт між палями і навколо них працює як єдиний масив. Для спрощення визначення осідань його основи коректно є розрахункова схема у вигляді умовного стрічкового фундаменту шириною, що дорівнює діаметру розширення палей й глибиною, що відповідає низу цього розширення, та з ущільненою зоною ґрунту під ним. Похибка результатів лоткових випробувань і їх моделювання не перевищила 18% [7 – 9].

Оскільки в аналітичних розрахунках НППС роботою ростверку звичайно нехтують, за мету прийнято – оцінювання НДС основи жорсткого стрічкового штамп у лотку 2D версією МСЕ для визначення частки навантаження, що сприймає саме він.

**Викладення основного матеріалу.** Чисельне моделювання виконано за допомогою 2D версії MCE програмного комплексу Plaxis. Для моделювання використані дані лоткових випробувань НППС у складі стрічкових ростверків [7]. Розрахункова область відповідає розмірам лотка – в плані 580×580 мм при висоті 560 мм. Моделі паль теж відповідають їх фактичним розмірам: глибина свердловин  $h_m = 120$  мм; їх діаметр  $d_m = 30$  мм. Крім того, в основі кожної палі задавалися параметри розширення зі щебеню та зони достатнього ущільнення ґрунту. Висота ростверку – 50 мм, його ширина – 40 мм.

Задачу для системи «СР – НППС – О» моделювали як поперечний переріз стрічки ростверку та НППС з розширенням і зоною достатнього ущільнення ґрунту навколо нього (рис. 1,а). Розрахунок умовно виконували на одиницю довжини ростверку. Розрахункова схема моделювання НДС основи жорсткого стрічкового штампу в 2D версії MCE подана на рис. 1,б.



*Рис. 1. Розрахункова схема задачі лоткових досліджень у комплексі Plaxis 2D: а – вигляд 2D моделі НППС у складі стрічкового ростверку; б – вигляд моделі жорсткого стрічкового штампу; 1 – ростверк; 2 – стовбур палі; 3 – розширення (щебінь); 4 – зона достатнього ущільнення ґрунту*

Задачі розв’язані за етапи: 1) гравітаційне навантаження розрахункової області ґрунтом і визначення початкового НДС масиву лотку; 2) влаштування НППС і стрічкового ростверку й стрічкового штампу; 3) прикладання вертикального погонного навантаження на систему «СР – НППС – О» та на жорсткий стрічковий штамп. На рис. 2,а подано точки розвитку пластичних деформацій у ґрунті навколо ростверку, палі та їх розширень після прикладання навантаження, на рис. 2,б – деформації системи «СР – НППС – О» за 2D моделюванням. На рис. 3 показано аналогічні точки розвитку пластичних деформацій та загальні переміщення жорсткого стрічкового штампу.

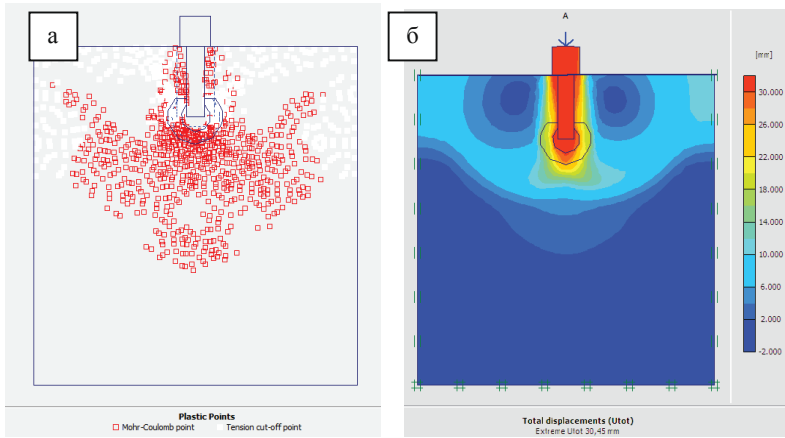


Рис. 2. Зони (точки) розвитку пластичних деформацій (а) та загальні деформації (б) у ґрунтовому масиві навколо ростверку, паль та їх розширень системи «СР – НППС – О» за результатами 2D моделювання МСЕ

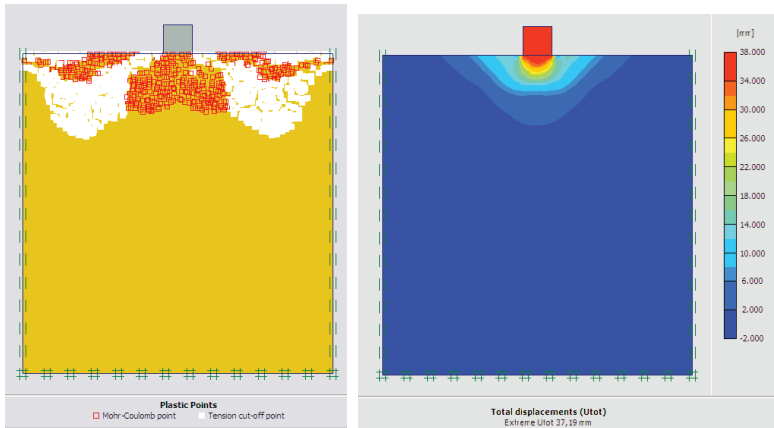


Рис. 3. Результати 2D моделювання НДС основи жорсткого стрічкового штампту в лотку при щільності скелету ґрунту  $\rho_d = 1,55 \text{ г/см}^3$ : а – зони утворення пластичних деформацій; б – загальні переміщення в масиві ґрунту

З рис. 2 чітко видно, що при перевищенні критичної сили  $F_2$  зони пластичних деформацій вже сформовані навколо бічної поверхні паль, під ростверком і під нижньою поверхнею розширення паль, тобто загальні переміщення в масиві відповідають формуванню зон пластичних деформацій

грунту. При досягненні основою несучої здатності, що відповідає критичній силі  $F_2$ , ущільнене ядро, яке утворилось під розширенням, залишається незмінним і під навантаженням починає рухатись разом з НППС. Ущільнене ядро починає розсовувати ґрунт в боки, що зумовлює значні осідання основи НППС, утворюючи області випинання ґрунту в масиві («втрата несучої здатності основи НППС»). При такому напруженому стані в масиві ґрунту переважають бічні зміщення часток, розвиток суцільної поверхні ковзання і, кінець-кінцем, втрата стійкості основи, тощо.

Під жорстким стрічковим штампом після досягнення максимальної несучої здатності його основи утворюється ущільнене ядро (як і при випробуванні НППС у складі стрічкового ростверку) (рис. 3,б), котре рухається разом зі штампом. Зони пластичних деформацій ґрунту (рис. 3,а), зі збільшенням навантаження переміщуються аналогічно зонам НППС.

За результатами 2D моделювання МСЕ, побудовано графік залежності «навантаження – осідання» НППС у складі стрічкового ростверку та графік «навантаження на жорсткий стрічковий штамп – осідання його основи» (рис. 4) та проведено їх порівняння.

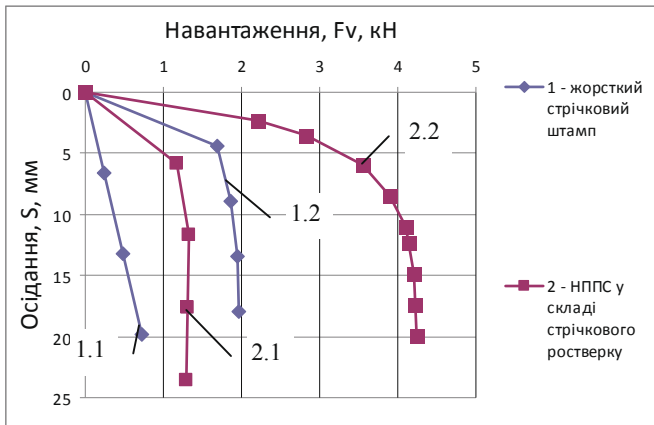


Рис. 4. Графіки 2D-моделювання МСЕ:

- 1.1 – жорсткого стрічкового штампу при щільності скелету ґрунту  $\rho_d = 1,45 \text{ г/см}^3$  ; 1.2 – жорсткого стрічкового штампу при  $\rho_d = 1,55 \text{ г/см}^3$  ;  
 2.1 – НППС у складі стрічкового ростверку при  $\rho_d = 1,45 \text{ г/см}^3$  ;  
 2.2 – НППС у складі стрічкового ростверку при  $\rho_d = 1,55 \text{ г/см}^3$

**Обговорення результатів.** З рис. 2 – 4 помітно, що робота систем «СР – НППС – О» та «жорсткий стрічковий штамп – О» відрізняється, зокрема: – максимальна частка навантаження, що може сприйняти стрічковий ростверк самостійно (без паль) зростає зі збільшенням величин фізико-механічних

характеристик грунту масиву, наприклад, від 19% при щільності скелету грунту  $\rho_d = 1,45 \text{ г/см}^3$  до 38% – при  $\rho_d = 1,55 \text{ г/см}^3$ ;

– при наявності паль лінійна стадія деформування основи в кілька разів довша.

**Висновки.** Отже, порівнянням результатів моделювання НДС основи НППС у складі стрічкових ростверків зі станом основи жорсткого стрічкового штампу доведено, що їх якісні та кількісні показники суттєво відрізняються. Частка навантаження, що може сприйняти стрічковий ростверк самостійно (без участі НППС) зростає з покращенням геотехнічних властивостей грунту, а при наявності паль лінійна стадія деформування основи в кілька разів довша.

### ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Крутов, В.И Проектирование и устройство оснований и фундаментов на просадочных грунтах / В.И. Крутов, А.С. Ковалев, В.А. Ковалев – М.: АСВ, 2012. – 560 с.
2. Винников, Ю.Л. Методики моделювання взаємодії фундаментів з ущільненою основою (огляд) / Ю.Л. Винников // Будівельні конструкції: Міжвід. наук.-техн. зб. – Вип.71. – Кн.1 – К.: НДІБК, 2008. – С. 325 – 333.
3. Парамонов, В.Н. Метод конечных элементов при решении нелинейных задач геотехники / В.Н. Парамонов. – СПб.: Группа компаний «Геореконструкция», 2012. – 264 с.
4. Henke, S. Numerical modeling of pile installation / S. Henke, J. Grabe // Proc. of 17th Intern. Conf. on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (Alexandria, 2009). – Amsterdam: IOS Press, 2009. – P. 1321 – 1324.
5. Бартоломей, А.А. Прогноз осадок свайных фундаментов / А.А. Бартоломей, И.М. Омельчак, Б.С. Юшков. – М.: Стройиздат, 1994. – 384 с.
6. Тугаенко, Ю.Ф. Процессы деформирования грунтов в основаниях фундаментов, свай и свайных фундаментов / Ю.Ф. Тугаенко. – Одесса: Астропринт, 2008. – 216 с.
7. Мірошніченко, І.В. Лоткові дослідження деформованого стану водонасиченої глинистої основи набивних паль у пробитих свердловинах / І.В. Мірошніченко // Будівельні конструкції: Міжвід. наук.-техн. зб. наук. праць (будівництво) – Вип. 75. – Кн. 1. – К.: ДП НДІБК, 2011. – С. 598 – 604.
8. Винников, Ю.Л. Чисельне моделювання лоткових випробувань системи «стрічковий ростверк – набивні палі у пробитих свердловинах – основа» / Ю.Л. Винников, В.І. Марченко, І.В. Мірошніченко // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: Зб. наук. пр. Вип. 25. – Рівне: НУВГП, 2013. – С. 635 – 642.
9. Винников, Ю.Л. Математическое моделирование лотковых испытаний набивных свай в пробитых скважинах в составе ленточных ростверков / Ю.Л. Винников, И.В. Мирошниченко // Модернизация и научные исследования в транспортном строительстве. – Материалы междунар. научн.-практ. конф. – Т. 3. – Пермь: Изд-во ПНИПУ, 2013. – С. 119 – 128.