

**Висновки.** Отримано області оптимальних геометричних характеристик для сталобетонної балки прямокутного поперечного перерізу з бетонами класу В20, В30, В40 та різною товщиною обойми.

### ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Чихладзе Е.Д., Черненко М.Г. Спрощена діаграма граничних станів сталобетонного елемента в задачах оптимізації стержневих конструкцій //Будівельні конструкції/ Зб. наук. праць .- К.: НДІБК, 2003. – Вип. 59. – Кн.1. – С.310-317.
2. Черненко М.Г. Узагальнена діаграма граничних станів елемента в задачах оптимізації стержневих конструкцій //Будівельні конструкції та матеріали/ Зб. наук. праць .- Х.: УкрДАЗТ, 2003. – Вип. 56. – с.100-105.
3. Стороженко Л.И., Плахотный П.И., Чорний А.Я. Расчет трубобетонных конструкций. – К.: Будівельник, 1991. – 120с.
4. Основы расчета и проектирования комбинированных и сталобетонных конструкций / [Чихладзе Э.Д., Ватуля Г.Л., Китов Ю.П. и др.]; под ред Э.Д. Чихладзе – Киев: Транспорт Украины, 2006. – 104с.

УДК 624.131.531

### ПІДСУМКИ МОДЕЛЮВАННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ БУРОІН'ЄКЦІЙНОЇ ПАЛІ

*д.т.н., проф. Винников Ю.Л., асистент Левченко В.П.*

*Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка*

**Постановка проблеми.** У геотехніці достатньо популярні буроін'єкційні палі різних діаметрів і глибин [1-3]. Під керівництвом проф. М.Л. Зоценка досліджено виготовлення і робота таких палей. Об'єм бетону, що укладався в свердловину при ін'єктуванні значно перевищував об'єм свердловини. Було введено коефіцієнт збільшення об'єму палі при ін'єктуванні (відношення об'ємів бетону й свердловини). Несуча здатність палей за даними статичних випробовувань у 1,7-2,3 рази перевищує розраховану за нормами. Урахування збільшення об'єму палей при ін'єктуванні дещо зменшує цю похибку. Найбільшу різницю зафіксовано для лесових суглинків. Такий ефект пояснюється ущільненням навколишнього ґрунту при ін'єктуванні [3].

**Аналіз публікацій.** Описаний ефект можливо врахувати моделюванням напружено-деформованого стану (НДС) системи „буроін'єкційна палія – основа”. Для оцінки НДС основи при влаштуванні буроін'єкційної палі та її наступній роботі використано програмний комплекс “PRIZ-Pile” [4], у якому реалізоване рішення вісесиметричної задачі методом скінчених елементів (МСЕ) кроково-ітераційними методами у фізично й геометрично нелінійній постановці. За моделлю в задачах ущільнення враховують геометричну і фізичну нелінійність роботи ґрунту, а для наступного стану основи під статичним навантаженням лише фізичну нелінійність [4]. Після першого

етапу напруження релаксуються, а наведені властивості ґрунту зберігаються. Особливість моделі за значної геометричної й фізичної нелінійності – опис у явній формі зміни характеристик при незворотних об'ємних деформаціях ґрунту залежно від зміни пористості та швидкості передачі на нього тиску. Її параметри встановлюють за стисненням ґрунту в режимі, що відповідає швидкості передачі тиску на основу при її влаштуванні чи експлуатації.

Застосування восьмивузлових ізопараметричних вісесиметричних СЕ, що мають властивості змінюватися за формою й об'ємом, дає можливість використання як прямокутної, так і криволінійної сітки СЕ, а врахування цих змін – визначення переміщень, напруг, наведених характеристик ґрунту на кожному кроці влаштування і навантаження фундаментів. Моделювання зведення чи попередньої роботи фундаментів полягає в завданні переміщень вузлів сітки СЕ з оцінкою НДС масиву. На етапі їх роботи враховується подальше ущільнення ґрунту, перехід його в пластичний стан, проковзування бічної поверхні фундаменту за ґрунтом [4].

**Невирішені питання.** Ця методика вже апробована для оцінювання НДС ущільнених основ фундаментів з лідируючими свердловинами, зокрема коротких пірамідальних паль і набивних паль з розширенням із щелею [5, 6]. Особливості підготовки вихідних даних для моделювання НДС основи паль з лідируючими свердловинами у тому, що: 1) на схемі поділу масиву на СЕ виділяють вісесиметричну область із розмірами цієї свердловини, яку не розбивають на СЕ; 2) об'єм СЕ, що буде деформуватися, не повинен бути меншим за частку об'єму вимушених переміщень вузлових точок (при імітації витиснення ґрунту, наприклад палею, трамбівкою) і пористості ґрунту цього СЕ. Утворення порожнини під палю на першому етапі моделюють заданням вимушених переміщень вузлових точок за контуром бічної та нижньої частини лідируючої свердловини, а в разі, коли свердловину проєктують не на всю висоту палі, то ще й заданням вимушених переміщень вузлових точок, розташованих на вертикальній осі симетрії розрахункової області [5, 6].

Та особливості НДС основ навколо свердловини при ін'єктуванні бетону поки шляхом моделювання МСЕ практично не досліджувались.

Звідси й **мета** – у межах рішення вісесиметричної задачі МСЕ у фізично й геометрично нелінійній постановці дослідити особливості НДС глинистого масиву навколо буроін'єкційні палі при її влаштуванні та наступній роботі.

**Викладення основного матеріалу.** Вихідні параметри моделі ґрунту: залежність модуля деформації від об'єму ґрунту (в компресійному кільці, СЕ) на  $i$ -ому ступені тиску (кожній технології зведення паль відповідає свій режим стиснення ґрунту); залежність опору ґрунту зрізуванню  $\tau$  від нормального напруження  $\sigma$ , що встановлюють за одноплосинним зрізом; питома вага ґрунту  $\gamma$ ; коефіцієнти Пуассона  $\nu$  для кожного шару ґрунту.

В якості вихідних даних для моделювання використано натурний експеримент на ділянці, де застосовано буроін'єкційні палі довжиною 7 м і діаметром бурової свердловини 0,36 м). Після ін'єктування бетону її діаметр досяг 0,43 м. Значення коефіцієнта збільшення об'єму палі при ін'єктуванні бетону склало 1,43. Прив'язка палі до інженерно-геологічної колонки наведена на рис. 1, а фізико-механічні характеристики ґрунтів – у табл. 1.

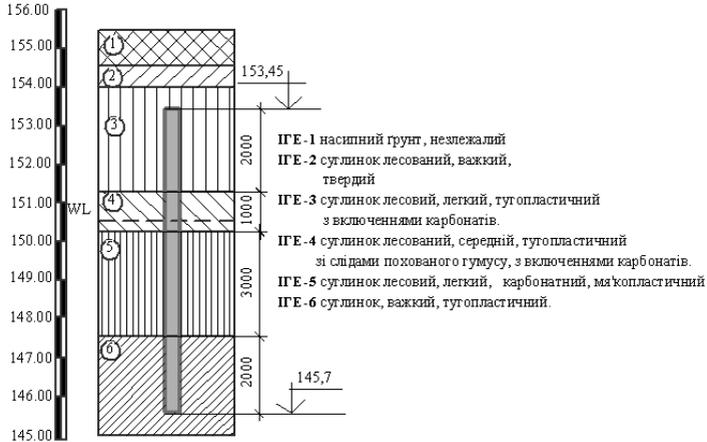
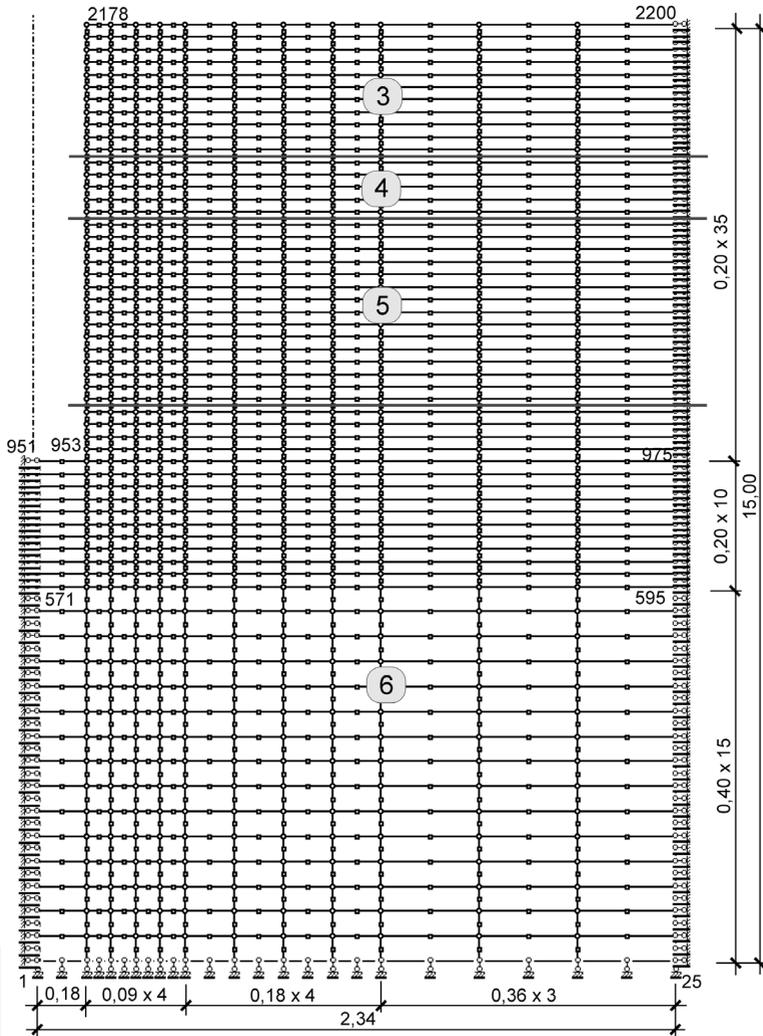


Рис. 1. Інженерно-геологічні умови дослідної ділянки

Таблиця 1

Нормативні та розрахункові значення характеристик ґрунту

Характеристики	Одиниці вимірювань	Номер ІГЕ			
		3	4	5	6
Нормативні характеристики					
Вологість на межі текучості, $w_L$	%	35	39	32	39
Вологість на межі пластичності, $w_p$	%	20	19	17	23
Число пластичності, $I_p$	%	15	20	15	16
Природна вологість, $w$	%	25	28	25	29
Показник текучості, $I_L$		0,33	0,45	0,53	0,38
$I_L$ у водонасиченому стані		0,59	0,45	0,53	0,38
Щільність частинок ґрунту, $\rho_d$	т/м <sup>3</sup>	2,68	2,68	2,68	2,69
Щільність ґрунту, $\rho$	т/м <sup>3</sup>	1,81	1,83	1,90	1,92
Щільність сухого ґрунту, $\rho_d$	т/м <sup>3</sup>	1,44	1,43	1,52	1,49
Коефіцієнт пористості, $e$		0,85	0,87	0,76	0,81
Коефіцієнт водонасичення, $S_r$		0,78	0,86	0,88	0,97
Кут внутрішнього тертя, $\varphi$	град	21	24	25	22
Питоме зчеплення, $c$	кПа	43	41	34	32
Модуль деформації, $E$	МПа	4	4,5	5	7
Питома вага ґрунту, $\gamma_{II}$	кН/м <sup>3</sup>	17,9	18,3	18,3	19,0
Кут внутрішнього тертя, $\varphi_{II}$	град	17	23	23	21
Питоме зчеплення, $c_{II}$	кПа	28,5	34,9	28	24
Питома вага ґрунту, $\gamma_I$	кН/м <sup>3</sup>	17,8	18,2	18,2	18,9
Кут внутрішнього тертя, $\varphi_I$	град	15	22	21	19
Питоме зчеплення, $c_I$	кПа	19,1	30,9	22	18



*Рис. 2. Вихідна схема розбивки на СЕ розрахункової схеми основи бурині 'скційної палі після буріння свердловини*

Схема розбивки основи на СЕ після буріння свердловини діаметром 0,36 м і глибиною 7,00 м подана на рис. 2 (свердловина обмежена вузлами 951, 953 і 2178). Вона містить 685 СЕ розмірами від 0,09x0,20 до 0,36x0,40 м і 2200 вузлів (з них 195 закріплених). Розрахункова область – циліндр діаметром 4,68 м, висотою 15,00 м.

Ін'єктування бетону змодельовано завданням вимушених горизонтальних і вертикальних переміщень 68 вузлових точок (від 951 до 2096), розташованих за контуром свердловини. Фрагмент схеми деформування основи подано на рис. 3.

Наведені властивості ґрунту біля палі використані на другому етапі моделювання (навантаженні палі). Порожнину після вибурювання та ін'єктування бетону “заповнили” конструкційним матеріалом (бетоном) і ввели додаткові 35 (від 686 до 720) СЕ й 105 (від 2001 до 2305) вузлів, що імітують стовбур палі.

Графіки залежності осідання буроін'єкційної палі від навантаження за даними її моделювання і статичних випробувань подані на рис. 4. В обох випадках несуча здатність палі при навантаженні складає 550 кН. При цьому обидва графіки „зриву” ще не мають.

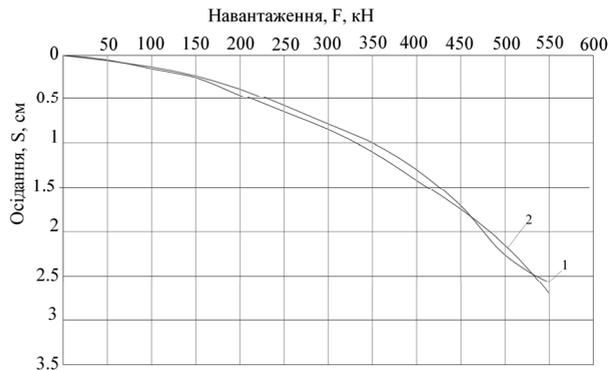
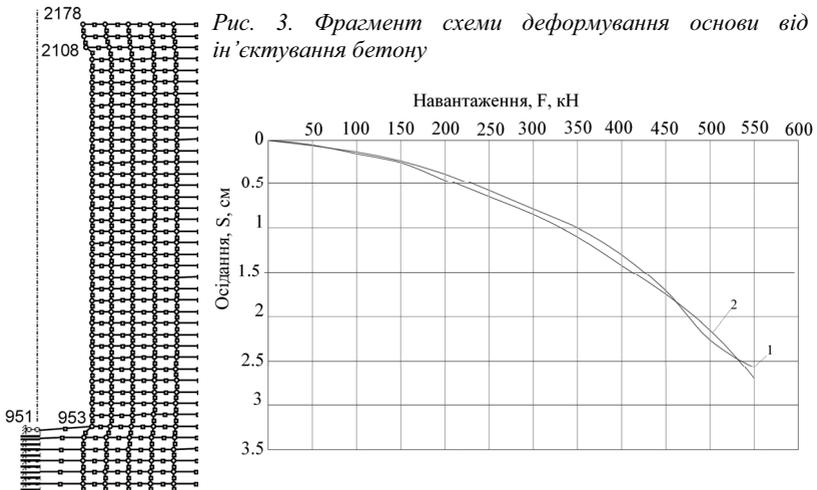


Рис. 4. Залежність осідання буроін'єкційної палі від навантаження: 1 – моделювання; 2 – випробування

**Висновки.** Встановлена можливість визначення параметрів ущільнення ґрунту навколо буроін'єкційної палі та побудови графіка залежності її осідання від навантаження в межах рішення вісесиметричної задачі методом скінчених елементів у фізично й геометрично нелінійній постановці.

## ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Мангушев Р.А. Современные свайные технологии: Учебное пособие / Р.А. Мангушев, А.В. Ершов, А.И. Осокин. – М.: АСВ, 2010. – 240 с.
2. Никитенко М.И. Буроинъекционные анкеры и сваи при возведении и реконструкции зданий и сооружений / М.И. Никитенко. – Мн.: БНТУ, 2007. – 580 с.
3. Зоценко М.Л. Особливості влаштування буроінскційних паль у водонасичених піщаних ґрунтах / М.Л. Зоценко та ін. // Зб. наук. праць (галузеve машинобуд., буд-во)/ Полт. нац. техн. ун-т ім. Ю. Кондратюка. Вип. 3 (28). – Полтава: ПНТУ, 2010. – С. 82 – 88.
4. Винников Ю.Л. Математичне моделювання взаємодії фундаментів з ущільненими основами при їх зведенні та наступній роботі: Монографія / Ю.Л. Винников. – Полтава: ПолтНТУ ім. Ю. Кондратюка, 2004. – 237 с.
5. Винников Ю.Л. Числове моделювання напружено-деформованого стану паль із лідируючими свердловинами// Зб. наук. праць (галузеve машинобуд., буд-во)/ Полт. держ. техн. ун-т ім. Ю. Кондратюка. Вип. 7. – Полтава: ПДТУ, 2001. – С. 64 – 69.
6. Винников Ю.Л. До математичного моделювання розмірів ущільнених зон пірамідальних паль з лідируючими свердловинами// Коммунальное хозяйство городов: Науч.-техн. сб. Вып. 38 – К.: Техника, 2002. – С. 66 – 70.

УДК 624.131.38

## МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ УКОЧУВАННЯ РОЗКРИВНИХ ПОРІД

*д.т.н., проф. Винников Ю.Л., асистент Лопан Р.М.*

*Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка*

**Постановка проблеми.** Піщані подушки використовують для заміни насипних і слабких ґрунтів. Економічно доцільно в якості матеріалу насипів використовувати чотвертинні розкриті породи кар'єрів [1-3].

Авторами, зокрема, встановлено взаємозв'язок модуля деформації та характеристик міцності ущільнених малозв'язних розкритих порід з їх фізичними властивостями та проаналізовано вплив на механічні властивості ґрунтів піщаних подушок параметрів ущільнюючих механізмів [2, 3].

Крім аналітичних рішень у проектуванні подушок є сенс користуватись моделюванням методом скінчених елементів (МСЕ). Його переваги: простота отримання конкретних рішень; можливість згущення сітки СЕ, де очікують високі градієнти параметра, що досліджують; можливість реалізації довільних механічних властивостей ґрунту, будь-яка послідовність навантаження; можливість оцінки сумісної роботи основ і фундаментів без поділу на розрахунки за несучою здатністю та деформаціям. Ґрунт описують моделями пружно-пластичного середовища, теорії пластичної текучості та критичного