

## 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 буроінекційних 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

стану. Проблемним напрямом підвищення точності розрахунків є урахування параметрів областей (шарів) ґрунту з наведеними характеристиками.

**Зв'язок з науковими та практичними завданнями та аналіз останніх досліджень і публікацій.** За підходом до їх урахування при моделюванні МСЕ НДС штучних основ фундаментів доцільно виділити групи методик. За методами першої групи, зокрема НДІБК (Клепиков С.М., Матвеев І.В.), – параметри основ ураховують коефіцієнтами жорсткості, що визначають за площею передачі навантаження як для умовного фундаменту.

Добре апробовані програмні продукти другої групи: І.П. Бойка; О.К. Бугрова; М.Л. Зоценка; С.Ф. Клованича; О.О. Петракова; О.В. Пілягіна; В.М. Уліцького, О.Г. Шашкіна та К.Г. Шашкіна [4]; Д.М. Шапіро; комплексів PLAXIS; Ansys та ін., – в яких наведені параметри ґрунту задають окремим областям. Загальна проблема цих методів – трудомісткість призначення наведених характеристик ґрунту в СЕ розрахункової області.

Наведені параметри ущільнених ґрунтів подушок можливо отримати моделюванням швидкоплинних процесів (група 3). Зокрема, відомі праці І.В. Ананьєва, В.Н. Апукова, А.О. Бартоломея, І.П. Бойка, Г.Г. Болдирєва, Ю.Л. Винникова [5], М.М. Дубини, О.О. Петракова та Лобачьової Н.Г. [6], В.М. Парамонова [7], О.М. Трофимчука, Шаповала В.Г., Нажі П.М. і Шаповала А.В. [8], A. Bakkarı, G. Heibroek [9], M. Kelm і J. Grabe [10], A. Pak [11], В. Schrefler, R. Seed й ін. Найбільші труднощі числових досліджень пов'язані зі: значною фізичною нелінійністю ґрунтів, у т. ч. через проблеми врахування характеру та швидкості їх навантаження. Це ускладнює вибір адекватної моделі механічної поведінки середовища, а звідси й нескладної методики визначення її параметрів; суттєвою геометричною нелінійністю (великі незворотні деформації ґрунтів), через яку реалізацію задач супроводжує значне спотворення сітки СЕ, звідси виникає необхідність її нерегулярної перебудови, що створює технічні труднощі й підвищує похибки числових рішень; невідомістю подекуди області контакту робочого органа з ґрунтом. Тому рішення, що базуються на традиційній мірі малих деформацій, здебільше непридатні до моделювання швидкоплинних процесів. Тобто, є питання про універсальну методику моделювання останніх у ґрунтах. Звичайно їх моделюють МСЕ у межах вісесиметричної задачі. Ґрунт представляють однофазним ізотропним пружно-пластичним середовищем.

Рішення просторових задач МСЕ з використанням пружно-пластичних моделей ґрунту доводять можливість коректного моделювання ущільнення ґрунту. **Невирішеним питанням** залишається апробація цих методик для моделювання укочування малозв'язних розкривних порід у складі подушки.

Тому за **метою статті** прийнято – встановити коректні умови моделювання МСЕ у межах вісесиметричної задачі процесу укочування малозв'язних розкривних порід у складі подушки.

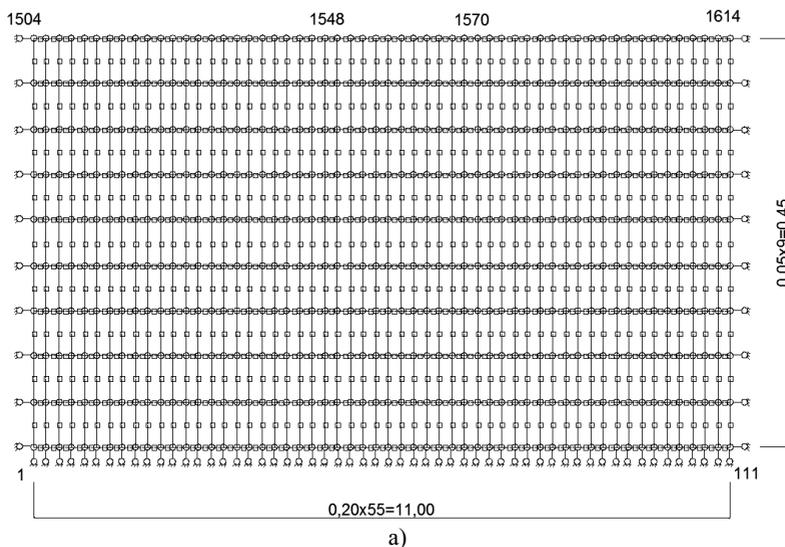
**Викладення основного матеріалу досліджень.** Як вихідні використані дані контролю якості ущільнення насипу заводу “Ворскла-Сталь” поблизу м. Комсомольськ Полтавської області [2, 3]. Матеріал – розкривні породи Лавриковського і Єристовського родовищ (піски мілкі й середньої крупності). Потужність подушки – 4-5 м, середня товщина відсипаного шару  $h = 0,45$  м.

Переважно використані одnobарабанні гладкі та кулачкові самохідні котки (діаметр 1600 мм, довжина 2200 мм) НАММ 3516 масою 15,75 т (рис. 1). Кількість проходів ущільнюючого механізму за одним слідом – 12. Зниження поверхні шару ґрунту під котками склало  $\Delta h \approx 50$  мм.



Рис. 1. Натурні дослідження зведення подушки з розкривних порід:  
а – коток НАММ 3516; б – поверхня шару подушки після укочування

При моделюванні укочування гладким котком шару розкривних порід товщиною 450 мм прийнята вихідна розрахункова схема (рис. 2, а), що містить 495 СЕ (55х9) з розмірами 200х50 мм і 1614 вузлів (147 закріплені).



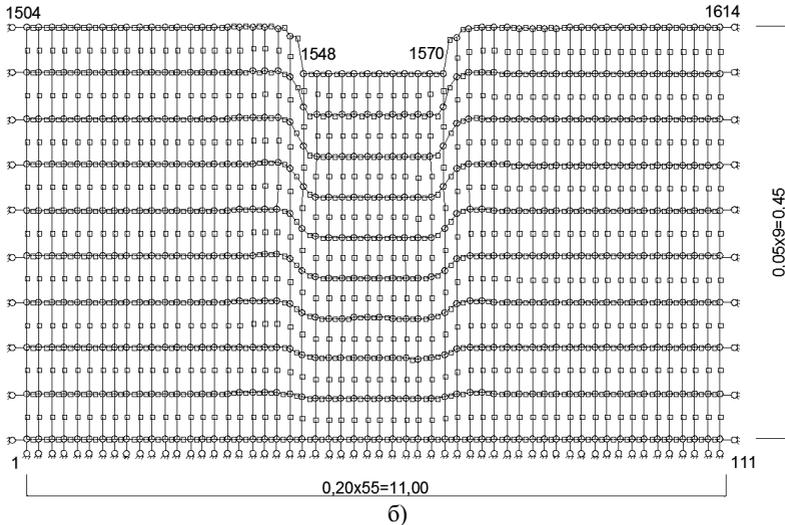


Рис. 2. Схеми розбивки розрахункової зони на СЕ для моделювання процесу укочування шару насипного ґрунту: а – вихідна; б – після проходки котків

Укочування розкривних порід змодельовано в програмному комплексі “PRIZ-Pile” (автори – С.Ф.Клованич і Ю.Л.Винников [5]), у якому реалізоване рішення вісесиметричної задачі МСЕ кроково-ітераційними методами у фізично і геометрично нелінійній постановці. Застосування восьмивузлових ізопараметричних вісесиметричних СЕ, що змінюються за формою й об’ємом, дає можливість використання як прямокутної, так і криволінійної сітки СЕ, а врахування цих змін – визначення переміщень, напружень, наведених характеристик ґрунту на кожному кроці влаштування та навантаження штучних основ і фундаментів.

Зокрема, процес укочування шару кожного ґрунту подушки моделюють заданням вертикальних переміщень вузлових точок верхньої межі розрахункової області.

Розмір утворюючої розрахункової області 11x0,45 м. З досвіду [2, 3] підстильний шар приймали як нестисливий. Вимушені вертикальні переміщення задавали вузловим точкам СЕ верхньої межі розрахункової області (відповідають низу котків). Зокрема, 23 вузлам (від 1548 до 1570) верхньої межі розрахункової області були задані вертикальні переміщення величиною 50 мм (рис. 2, б).

При моделюванні укочування такого ж шару розкривних порід кулачковим котком (кулачки мають форму усічених пірамід з основами 200x200 та 100x100 мм і висотою 50 мм) з тими ж геометричними розмірами вихідна розрахункова схема при однаковому розмірі утворюючої розрахункової області містить 594 СЕ (66x9) з двома типами розмірів

100x50 мм (в області, де моделюється прохідка котку) і 200x50 мм та 1933 вузли (з них 169 закріплені). Вертикальні переміщення від 50 мм до 100 мм задані 45 вузлам (від 1845 до 1889) верхньої межі розрахункової області.

Розміри розрахункової області та розташування поверхні укочування на ній призначались з умов мінімізації впливу на результати моделювання бічних меж розрахункової області та умов вісесиметричної задачі [5].

У підсумку моделювання укочування шару насипного мілкого піску гладким котком, зокрема, встановлено його ущільнення в нижній частині кожного шару подушки до щільності скелету ґрунту  $\rho_{d,s} = 1,69-1,70 \text{ г/см}^3$ , а при використанні кулачкового котку приблизно на  $0,02 \text{ г/см}^3$  більше при кращому контакті між сусідніми шарами ґрунту в подушці, що, в цілому, добре корелюється з даними натурних досліджень [2, 3].

Таким чином, за підсумками викладених чисельних досліджень можливо зробити наступний **висновок**.

Доведено можливість достатньо коректного моделювання методом скінчених елементів за умов вісесиметричної задачі процесу ущільнення розкривних малозв'язних порід укочуванням. Маючи вихідні параметри кожного шару насипного ґрунту (товщину відсипаного шару  $h$ , щільність скелету ґрунту в ньому  $\rho_d$ ) і технологічного обладнання та задаючись величиною зниження поверхні кожного шару насипу під котком  $\Delta h$ , проектувальник має змогу отримати відповідну щільність скелету ґрунту ( $\rho_{d,s}$ ) кожного шару подушки.

## ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА

7. Зоценко М.Л. Використання “хвостів” Полтавського ГЗК при влаштуванні земляних споруд / М.Л. Зоценко // Світ геотехніки, 2005. – № 4. – С. 7 – 11.
8. Винников Ю.Л. Взаємозв'язок модуля деформації ущільнених малозв'язних ґрунтів з їх фізичними характеристиками / Ю.Л. Винников, Р.М. Лопан // Строительство, материаловедение, машиностроение: Сб. науч. трудов. Вып. 56. – Дн-вск., ПГАСА, 2010. – С. 92 – 96.
9. Лопан Р.М. Взаємозв'язок характеристик міцності ущільнених малозв'язних ґрунтів з їх фізичними властивостями / Р.М. Лопан // Зб. наук. праць (галузево машинобуд., буд-во) / Полт. нац. техн. ун-т ім. Юрія Кондратюка. Вип. 3 (28). – Полтава: ПНТУ, 2010. – С. 133 – 137.
10. Улицкий В.М. Геотехническое сопровождение развития городов / В.М. Улицкий, А.Г. Шашкин, К.Г. Шашкин. – СПб.: Стройиздат Северо-Запад; «Геореконструкция», 2010. – 552 с.
11. 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.

12. Лобачева Н.Г. Изменение расчетных параметров грунта основания при использовании метода уплотняющих давлений / Н.Г. Лобачева, А.А. Петраков // Строительные конструкции: Межвед. науч.-техн. сб., Вып. 61. – Т. 2. – К.: НИИСК, 2004. – С. 59 – 63.
13. Парамонов В.Н. Конечноеэлементное моделирование нестационарных задач геомеханики / В.Н. Парамонов, Н.И. Стеглянникова // Актуальные вопросы геотехники при решении сложных задач нового строительства и реконструкции: сб. тр. науч.-техн. конф. / Санк-Петербургский госуд. архит.-строит. ун-т. – СПб., 2010. – С. 218 – 223.
14. Шаповал В.Г. Особенности взаимодействия весомого водонасыщенного основания с расположенными на нем зданиями и сооружениями / В.Г. Шаповал, П.Н. Нажа, А.В. Шаповал. – Дн-вск: «Пороги», 2010. – 251 с.
15. Heibroek G. On predicting of vibrocompaction performance using numerical models / G. Heibroek, S. Kebler, T. Triantafullidis // Proc. of 14<sup>th</sup> European Conf. on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering. Geotechnical Engineering in Urban Environments. – Madrid, 2007. – P. 1323 – 1327.
16. Kelm M. FE-simulation of soil compaction / M. Kelm, J. Grabe // Proc. XIII<sup>th</sup> European Conf. on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering. Vol. 1. – Prague, 2003. – P. 739 – 742.
17. Pak A. Behavior of dry and saturated soils under impact load during dynamic compaction / A. Pak, H. Shahir, A. Ghassemi // Proc. 16<sup>th</sup> Intern. Conf. on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering. – Osaka, 2005. – P. 1245 – 1248.

УДК 624.131.524

**РЕЗУЛЬТАТИ ТРИВАЛИХ ГЕОДЕЗИЧНИХ СПОСТЕРЕЖЕНЬ ЗА ОСІДАННЯМИ БУДІВЕЛЬ НА НАБИВНИХ ПАЛЯХ У ПРОБИТИХ СВЕРДЛОВИНАХ ЗА УМОВ ЗАМОКЛИХ ЛЕСОВИХ ҐРУНТІВ**

*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) дають змогу майже вилучити земляні та опалубочні роботи, знизити витрати бетону в 1,2 – 2 рази, металу – в 1,5 – 4 рази, вартість і трудомісткість – у 1,5 – 2 рази, прискорити зведення нульового циклу в 1,5 – 2 рази порівняно з фундаментами, що виготовляють з вийманням ґрунту та із забивних паль [1]. Однак, при замоканні лесові ґрунти знижують свої механічні властивості.

На базі натурних досліджень у ПолтНТУ створена інженерна методика розрахунку НППС [2]. За нею параметри розширених і ущільнених зон паль установлюють залежно від параметрів трамбівок, матеріалу розширення, фізичних властивостей ґрунту, відстані між осями паль. Але потребує подальшого удосконалення методика визначення осідань будівель на НППС у складі стрічкових ростверків, зокрема за умов замоклих лесових ґрунтів.

**Аналіз публікацій.** Авторами раніше [3] було обґрунтовано коректні умови використання плоскої версії програмного комплексу PLAXIS при