УДК 624.154.5

СУЧАСНІ МЕТОДИ ПРОЕКТУВАННЯ ТА ВЛАШТУВАННЯ НАБИВНИХ ПАЛЬ У ПРОБИТИХ СВЕРДЛОВИНАХ

ЗОЦЕНКО М. Л.[1], *д. т. н, проф.,*
ВИННИКОВ Ю. Л.[2], *д. т. н, проф.,*
СЄДІН В. Л.[3*], *д. т. н, проф.*
[1] Кафедра видобування нафти і газу та геотехніки, Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, Першотравневий пр., 24, Полтава, 36011, Україна, тел. +38 (0532) 56-90-88, +38 (05322) 2-10-56, e-mail: zotcenco@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-1886-8898.
[2] Кафедра видобування нафти і газу та геотехніки, Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, Першотравневий пр., 24, Полтава, 36011, Україна, тел. +38 (0532) 56-90-88, +38 (05322) 2-10-56, e-mail: vynnykov@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0003-2164-9936.
[3*] Кафедра основ і фундаментів, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (0562) 47-02-63, e-mail: geotecprof@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-2293-7243.

Анотація. Постановка проблеми. Набивні палі у пробитих свердловинах (НППС) вирізняє високий ступінь використання несучої здатності основи внаслідок формування в ній ущільненої зони за рахунок витиснення ґрунту в об'ємі трамбівки і втрамбованого матеріалу розширення. Спосіб їх зведення майже вилучає земляні й опалубні роботи, знижує витрати бетону й металу, прискорює нульовий цикл порівняно з фундаментами, що зводяться із вийманням ґрунту та заглибленням у ґрунт збірних елементів. Для подальшого впровадження НППС у геотехнічну практику потрібне розширення нормативної бази їх проектування та зведення. ***Мета роботи*** – удосконалити методи проектування та зведення НППС. Слід удосконалити метод визначення осідань НППС у складі ростверків, який би враховував взаємодію зон впливу паль. Найбільш достовірний шлях розв'язання цієї задачі – порівняння розрахованих і виміряних осідань натурних об'єктів. Необхідно довести коректність геомеханічних моделей плоскої та просторової версій методу скінчених елементів (МСЕ) щодо розрахунків спільної роботи НППС у складі ростверків з основою. Слід виділити найбільш ефективні різновиди обладнання та технологічні схеми зведення НППС. ***Висновок.*** Наведено основні положення з проектування та влаштування НППС, що відповідають державним будівельним нормам України. Їх базу склали результати експериментальних і теоретичних досліджень, проведених авторами протягом тридцяти років, і досвід використання цих паль на об'єктах цивільного, промислового й сільськогосподарського будівництва. Обґрунтовано використання пружно-пластичної моделі з критерієм міцності Мора-Кулона для моделювання системи «ростверк – НППС – ґрунт». Моделюванням за плоскою та просторовою задачами МСЕ доведено, що при відстані між осями сусідніх паль до п'яти діаметрів коректним є вибір плоскої версії і спрощення розрахункової схеми до умовного стрічкового фундаменту. Удосконалено метод розрахунку НППС у складі стрічкових ростверків, за яким за ширину умовного фундаменту прийнято діаметр розширення палі, а глибина закладення відповідає його низу. Несучий шар основи під фундаментом складено з верхньої зони, достатнього ущільнення, і нижньої, природного ґрунту.

Ключові слова*: набивна паля у пробитій свердловині, ущільнена зона, осідання, напружено-деформований стан, пружно-пластична модель з критерієм міцності Мора-Кулона, метод скінчених елементів*

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И УСТРОЙСТВА НАБИВНЫХ СВАЙ В ПРОБИТЫХ СКВАЖИНАХ

ЗОЦЕНКО Н. Л. [1], *д. т. н, проф.,*
ВИННИКОВ Ю. Л. [2], *д. т. н, проф.,*
СЕДИН В. Л.[3*], *д. т. н, проф.*
[1] Кафедра добычи нефти и газа и геотехники, Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка, Первомайский пр., 24, Полтава, 36011, Украина, тел. +38 (0532) 56-90-88, +38 (05322) 2-10-56, e-mail: zotcenco@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-1886-8898.
[2] Кафедра добычи нефти и газа и геотехники, Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка, Первомайский пр., 24, Полтава, 36011, Украина, тел. +38 (0532) 56-90-88, +38 (05322) 2-10-56, e-mail: vynnykov@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0003-2164-9936.
[3*] Кафедра оснований и фундаментов, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепропетровск, Украина, тел. +38(0562)47-02-63, e-mail: geotecprof@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-2293-7243

Аннотация. Постановка проблемы. Набивные сваи в пробитых скважинах (НСПС) отличает высокая степень использования несущей способности основания вследствие формирования в ней уплотненной зоны за

счет вытеснения грунта в объеме трамбовки и втрамбованного материала уширения. Способ их возведения почти исключает земляные и опалубочные работы, снижает расход бетона, металла, ускоряет нулевой цикл по сравнению с фундаментами, возводимыми с выемкой грунта и погружением в грунт сборных элементов. Для дальнейшего внедрения НСПС в геотехническую практику необходимо расширение нормативной базы их проектирования и возведения. ***Цель работы*** – усовершенствовать методы проектирования и возведения НСПС. Следует усовершенствовать метод расчета осадок НСПС в составе ростверков, который бы учитывал взаимодействие зон влияния свай. Самый достоверный путь решения этой задачи – сравнение расчетных и измеренных осадок натурных объектов. Необходимо доказать корректность геомеханических моделей плоской и пространственной версий метода конечных элементов (МКЭ) для расчетов совместной работы НСПС в составе ростверков з основанием. Следует выделить наиболее эффективные разновидности оборудования и технологические схемы возведения НСПС. ***Выводы.*** В работе представлены основные положения по проектированию и устройству НСПС, соответствующие строительным нормам Украины. Их базу составили итоги экспериментальных и теоретических исследований, проведенных авторами на протяжении тридцати лет, и опыт использования этих свай на объектах гражданского, промышленного и сельскохозяйственного строительства. Обосновано использование упруго-пластической модели с критерием прочности Мора-Кулона для моделирования системы "ростверк – НСПС – грунт". Моделированием в плоской и пространственной задачах МКЭ доказано, что при расстоянии между осями соседних свай до пяти диаметров корректен выбор плоской версии и упрощение расчетной схемы к условному ленточному фундаменту. Усовершенствован метод расчета НСПС в составе ленточных ростверков, в котором в качестве ширины условного фундамента принят диаметр уширения сваи, а глубина его заложения соответствует его низу. Несущий слой основания под фундаментом состоит из верхней зоны, достаточного уплотнения, и нижней, природного грунта.

Ключевые слова: *набивная свая в пробитой скважине, уплотненная зона, осадка, напряженно-деформированное состояние, упруго-пластическая модель с критерием прочности Мора-Кулона, метод конечных элементов*

MODERN METHODS OF DESIGN AND ARRANGEMENT OF RAMMING PILES IN PUNCHED HOLES

ZOTSENKO N. L. [1],*Dr. Sc. (Tech.), Prof.,*
VYNNYKOV Yu. L. [2],*Dr. Sc. (Tech.), Prof.,*
SEDIN V. L.[3*], *Dr. Sc. (Tech.), Prof.*

[1] Department ofoil and gas industry and geotechnics, Poltava Yuriy Kondratiuk National Technical University, Pervomayskyavenue, 24, Poltava, 36011, Ukraine, tel. +38 (0532) 56-90-88, e-mail: zotcenco@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-1886-8898.

[2] Department ofoil and gas industry and geotechnics, Poltava Yuriy Kondratiuk National Technical University, Pervomayskyavenue, 24, Poltava, 36011, Ukraine, tel. +38 (0532) 56-90-88, e-mail: vynnykov@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0003-2164-9936.

[3*] Foundation Engineering Department, State Higher Education Establishment «Pridneprovs'ka State Academy of Civil Engineering and Architecture», 24-A, Chernyshevskogo str., Dnipropetrovsk 49600, Ukraine, тел. +38 (0562) 47-02-63, e-mail: geotecprof@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-2293-7243

Summary. Problem statement. Ramming piles in punched holes (RPPH) differ of high degree of use of supporting capacity of base because of forming in it a compacted zone at the expense of displacement of soil in the volume rammer and compacted material of expansion. The method of their construction almost exclude excavation and formwork, reducing the consumption of concrete, metal, accelerates zero cycle compared to the foundations raised and excavation and immersion into the soil of precast elements. The expansion of the normative base, their design and construction should be for further implementation of of natural objects. The correctness of the geomechanical model of plane and spatial version of finite element method (FEM) should be proved for the calculation of cooperative work of RPPH as part of grillages with base. The most effective kinds of equipment and technological schemes of construction of RPPH should be noticed. **Conclusions**. The paper presents the main regulations on the design and the arrangement RPPH, corresponding of construction norms of Ukraine. The results of experimental and theoretical studies conducted by the authors for over thirty years, and the experience of the use of these piles on the objects of civil engineering, industrial and agricultural construction made their base. The use of the elastoplastic model with the criterion of Mohr-Coulomb strength for designing of the system "grillage -RPPH- soil" was substantiated. The designing in plane and spatial problems of FEM is proved that in the distance between the axes of adjacent piles up to five diameters is a correct choice of a flat version and simplifying of calculating scheme to the conventional strip foundation. An improved. The method of calculating of RPPH as part of grillages ribbon, where as the width of the foundation was taken a diameter of the broadening of the pile, and the depth of its inception corresponds to the bottom of it. The supporting layer of base under the foundation consist of upper zone, of sufficient sealing and a RPPH in geotechnical practice. The purpose is improvement of the methods of design and construction of RPPH. It should be improved the method of calculating the sediment of RPPH as part of grillages, considering the interaction of zones of influence of the piles. The most reliable way of solving this problem is a comparison of the calculated and measured of sinking lower of natural soil.

Key words: *ramming pile in punched hole, sealing zone, sinking, finite element method, intense and deformed state, elastoplastic model with Mohr-Coulomb strength criterion, the method of finite elements*

Постановка проблеми. НППС звичайно зводять шляхом пробивання свердловин у ґрунті циліндричною трамбівкою діаметром 0,4–0,6 м, масою 3–6 т із заповненням їх бетоном, залізобетоном, ґрунтобетоном, сумішшю щебеню й глини. Для збільшення опору навантаженню в їх нижній частині влаштовують розширення з утрамбованого щебеню чи жорсткого бетону. Розміри НППС складають: діаметр стовбура b_p = 400–800 мм; його висота h_k = 1,5–10 м; діаметр розширення 700–1200 мм. Ці палі вирізняє високий ступінь використання несучої здатності основи внаслідок формування в ній ущільненої зони за рахунок витиснення ґрунту в об'ємі трамбівки і втрамбованого матеріалу розширення. В її межах значно підвищуються характеристики міцності й деформативності, ліквідуються властивості просідання ґрунту. Спосіб зведення НППС дає змогу майже повністю вилучити земляні й опалубні роботи, знизити витрати бетону в 1,2–2, металу – в 1,5–4, вартість і трудомісткість – у 1,5–2 рази, прискорити нульовий цикл в 1,5–2 рази порівняно з фундаментами, що зводяться із вийманням ґрунту та заглибленням у ґрунт збірних елементів [5; 6; 8].

НППС найбільш ефективні в лесових макропористих ґрунтах природної вологості, що поширені на 65 – 70 % території України, здебільшого на надзаплавних і вододільних терасах річок. Але набули апробації й схеми влаштування цих паль у замоклих ще до початку будівництва лесових ґрунтах.

Однак для подальшого впровадження НППС у геотехнічну практику є нагальна потреба в розширенні нормативної бази проектування та зведення НППС.

Аналіз публікацій. На базі натурних досліджень фахівці ПолтНТУ, НДІБК і ПДАБА створили інженерну методику розрахунку НППС [6; 7]. За нею параметри розширених і ущільнених зон цих паль визначають залежно від параметрів трамбівок, матеріалу розширення, фізичних властивостей ґрунту, відстані між осями паль. Але потребують удосконалення методи визначення осідань НППС у складі ростверків, які б ураховували взаємодію зон впливу паль. Так, недолік методів визначення осідань будівель на НППС у складі стрічкових ростверків за схемою одиночних паль із розширенням полягає у невраховуванні взаємного впливу сусідніх паль у складі ростверку, що зі зменшенням відстані між їх осями, особливо до 3-4 b_p, суттєво занижує порівняно з фактичними осіданнями основ.

Для удосконалення розрахунку осідань будівель на НППС у складі стрічкових ростверків за базове доцільно прийняти розв'язання плоскої задачі механіки ґрунтів. Найбільш достовірний шлях розв'язання такої задачі – у порівнянні розрахованих і виміряних осідань натурних об'єктів [1; 10].

Вісесиметрична версія МСЕ адекватно відображає напружено-деформований стан (НДС) масиву у процесі влаштування окремих паль з ущільненням ґрунту і їх наступній роботи [3; 4; 12]. Та ці рішення некоректно приймати для оцінювання взаємодії паль у складі ростверків із ґрунтом. Тому слід довести коректність геомеханічних моделей плоскої та просторової версій МСЕ щодо розрахунків спільної роботи НППС у складі ростверків з основою [2; 4; 9; 11].

Слід також виділити найбільш ефективні різновиди обладнання та технологічні схеми зведення НППС.

Мета роботи – удосконалити методи проектування та зведення НППС для цивільних, сільськогосподарських і промислових будівель та споруд.

Виклад матеріалу. Практика довела, що для пробивання в ґрунті свердловин і втрамбовування в них жорсткого матеріалу оптимально застосовувати установки на базі: екскаваторів Е-10011, Е-5011, Е-652; пневмоколісного трактора Т-150К (рис. 1 *а*); автомобіля КрАЗ; СЕВМ-7, трактора С-100. Робочий орган трамбівки виконано зі сталевої труби із заповненням бетоном чи залізобетоном. Обладнання обслуговують два робітники: один із кабіни базового механізму здійснює його переміщення з точки на точку та скидання робочого органа трамбівки, а другий контролює пробивання свердловини й втрамбовування жорсткого матеріалу.

Розрахунок НППС проводять на центрально- та позацентрово- прикладені навантаження: за несучою здатністю матеріалу сто-

вбура (рис. 1, *б*), розширення (рис. 1, *в*), ущільненого ґрунту й підстильного природного ґрунту; за деформаціями – розрахунок абсолютних і нерівномірних осідань. Кількість паль у складі фундаменту (ростверку) призначають з максимального використання міцності їх матеріалу при допустимому розрахунковому навантаженні на палю, що визначають за властивостями основи. Оцінюючи взаємодію споруди, фундаменту й основи, формують просторову розрахункову модель системи "основа – фундамент – споруда" згідно з п. 8.4 [2].

а *б* *в*

Рис. 1. Мобільне обладнання для зведення НСПС (а), НППС (б) та її розширення (в) після натурних досліджень

Фундаменти з НППС проектують відповідно до конструктивної схеми споруди і розрізняють за конструкцією залежно від способу об'єднання у плані голів паль ростверком і розрахункової схеми: у складі стрічкових ростверків під стіни безкаркасних будівель; безростверкові фундаменти під стіни безкаркасних будівель з панелей і об'ємних блоків; одиночні палі з оголовком під окремо розташовані опори, фундаменти стаканного типу під колони для каркасних будівель, опори естакад; у кущі паль – під колони чи стовпи зі стовпчастим або плитним ростверком і розташуванням паль у плані для каркасних будівель. Відстань між осями сусідніх НППС має бути не менше ніж $3b_p$.

Розрахункову схему НППС наведено на рисунку 2. Форма розширення з жорсткого матеріалу – еліпсоїд обертання з напівосями h_{br} і r_{br} [7]. Співвідношення $¦ = h_{br}/r_{br}$ залежить від коефіцієнта водонасичення ґрунту S_r і об'єму втрамбованого жорсткого матеріалу V_{cr}, м^3.

Несучу здатність НППС визначають для випадку повного замокання ґрунту основи як найменшу з трьох розрахункових значень: за жорстким матеріалом, втрамбованим у дно свердловини; за ущільненим ґрунтом у межах ущільненої зони; за ґрунтом природного складу, що підстилає ущільнену зону. Опір ґрунту за бічною поверхнею стовбура палі з розширенням ураховують лише на ділянці h від верху стовбура до місця його перетину з поверхнею умовного конуса, твірною якого є лінія, що проведена через межу розширення в місці його найбільшого діаметра поперечного перерізу d_{br} під кутом $\bar{\cdot}/4$ до осі стовбура палі, де $\bar{\cdot}$ – середнє арифметичне значення кута внутрішнього тертя ґрунту, що залягає в межах указаного конуса [7].

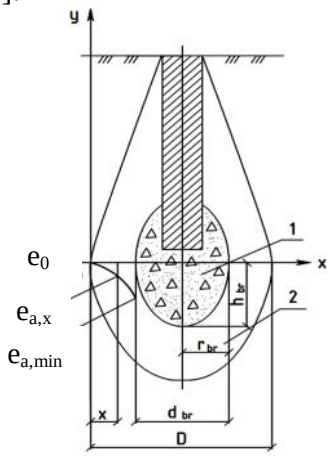

Рис. 2. Розрахункова схема НППС:
1 – розширення; 2 – ущільнена зона

Осідання одиночної палі з розширенням визначають за схемою двошарової основи [2]. У разі, коли НППС працюють у складі стрічкових ростверків, а відстань між їх

осями $l_w > 5b_p$, осідання їх основ визначають як для одиночної палі з розширенням з урахуванням взаємного впливу паль.

За тих же умов, але при $l_w \le 5b_p$, осідання основ паль визначають, наприклад, методом пошарового підсумовування чи ін., як для умовного стрічкового фундаменту шириною b_y, що дорівнює діаметру розширення d_{br} при однорядному розташуванні паль, і глибиною, яка відповідає його низу. Якщо палі розташовані у шаховому порядку чи в кілька рядів, ширина умовного стрічкового фундаменту складає $b_y = nl_n + d_{br}$, де l_n – відстань між осями рядів паль; n – к-ть цих рядів; d_{br} – діаметр поперечного перерізу розширення палі. При цьому враховують зону достатнього ущільнення під розширенням.

Модуль деформації ґрунту в межах зони достатнього ущільнення під розширенням h_s складає $3E$ (E – модуль деформації ґрунту природного складу). У розрахунках осідань основ НППС модуль деформації замоклих лесових ґрунтів приймають за компресійними дослідами без підвищувальних коефіцієнтів.

Розраховуючи НППС у котлованах глибиною понад 5 м, ураховують ефект повторного навантаження, за якого в межах напружень від вийнятого ґрунту приймають модулі пружності ґрунту основи [2].

Розрахунок за деформаціями на спільну дію вертикальних, горизонтальних і моментних навантажень виконують за [2]. Горизонтальні та моментні навантаження, що діють на ростверк, який об’єднує кілька НППС, можна приймати рівномірно розподіленими між усіма палями.

Розрахунок НППС за деформаціями основ для споруд класу СС2, як правило, виконують у складі загальних розрахункових схем, в нелінійній постановці із застосуванням адекватних моделей ґрунтової основи та числових методів розрахунку. Розрахункову модель НППС представляютьяк систему «ростверк – НППС – основа». Вона повинна враховувати їх просторову жорсткість. Палі, розширення, ростверки подають як скінченні елементи деформованого твердого тіла, а ущільнену зону й ґрунт – як скінченні елементи за пружно-пластичною теорією.

Схему основи при використанні як її моделі пружно-пластичного середовища задають як суцільний напівпростір, поділений на скінченні елементи. Його розмір у схемі приймають за умови виключення впливу умов закріплення на його межах на результати розрахунку. Бічні межі розрахункової зони (у просторовій задачі – паралелепіпед) приймають на достатній відстані від паль для максимального зменшення її впливу за умови заборони горизонтальних переміщень, концентрації напружень й ущільнення ґрунту на контакті з межею зони. Верхню межу зони розміщують на рівні поверхні землі. Нижня межа зони відповідає глибині межі стислої товщі основи НППС. Приклад скінченноелементної моделі системи "стрічковий ростверк – НППС – основа" подано на рисунку 3.

Модель пружно-пластичної основи характеризують: при навантаженні до напружень, які відповідають міцності ґрунту, його модуль деформації; із досягненням напружень, відповідних міцності ґрунту, – умовний модуль деформації (до 0,001 модуля деформації); при розвантаженні й при повторному навантаженні до напружень, з яких розвантажували, – модуль пружності (лінійна залежність між напруженнями та пружною деформацією ґрунту); коефіцієнт поперечної деформації в стадії, близькій до руйнування ґрунту; питоме зчеплення c і кут внутрішнього тертя ґрунту φ (табл.) [9].

Для урахування ефекту неоднорідності ущільнення середовища від улаштування НППС у межах скінченного елемента чи їх груп зони впливу навколо палі параметри ґрунту (E, φ, c) допускається визначати за рівняннями взаємозв’язку залежно від його коефіцієнта пористості e [7].

Визначення несучої здатності НППС за за даними польових випробувань проводять згідно з нормами [2]. Так, за поодиноке значення граничного опору НППС $F_{u.n}$ вдавлювальному навантаженню приймають те, за дії якого паля, яку випробовують, досягає осідання S

$$S = ¶S_{u.mt}\,, \qquad (1)$$

де $S_{u.mt}$ – граничне значення середнього осідання будівлі (споруди), яку проектують, яке встановлюють за додатком И [2]; ξ – ко-

ефіцієнт переходу від граничного значення середнього осідання будівлі $S_{u.mt}$ до осідання палі, отриманий під час статичних випробувань з умовною стабілізацією осідання. Коефіцієнт ξ залежить від коефіцієнта водонасичення ґрунту основи S_r при випробуванні НППС

$$\xi = 0{,}8S_r - 0{,}2. \qquad (2)$$

Вираз (2) отримано з аналізу результатів тривалих геодезичних спостережень за осіданнями будівель на НППС [1; 7].

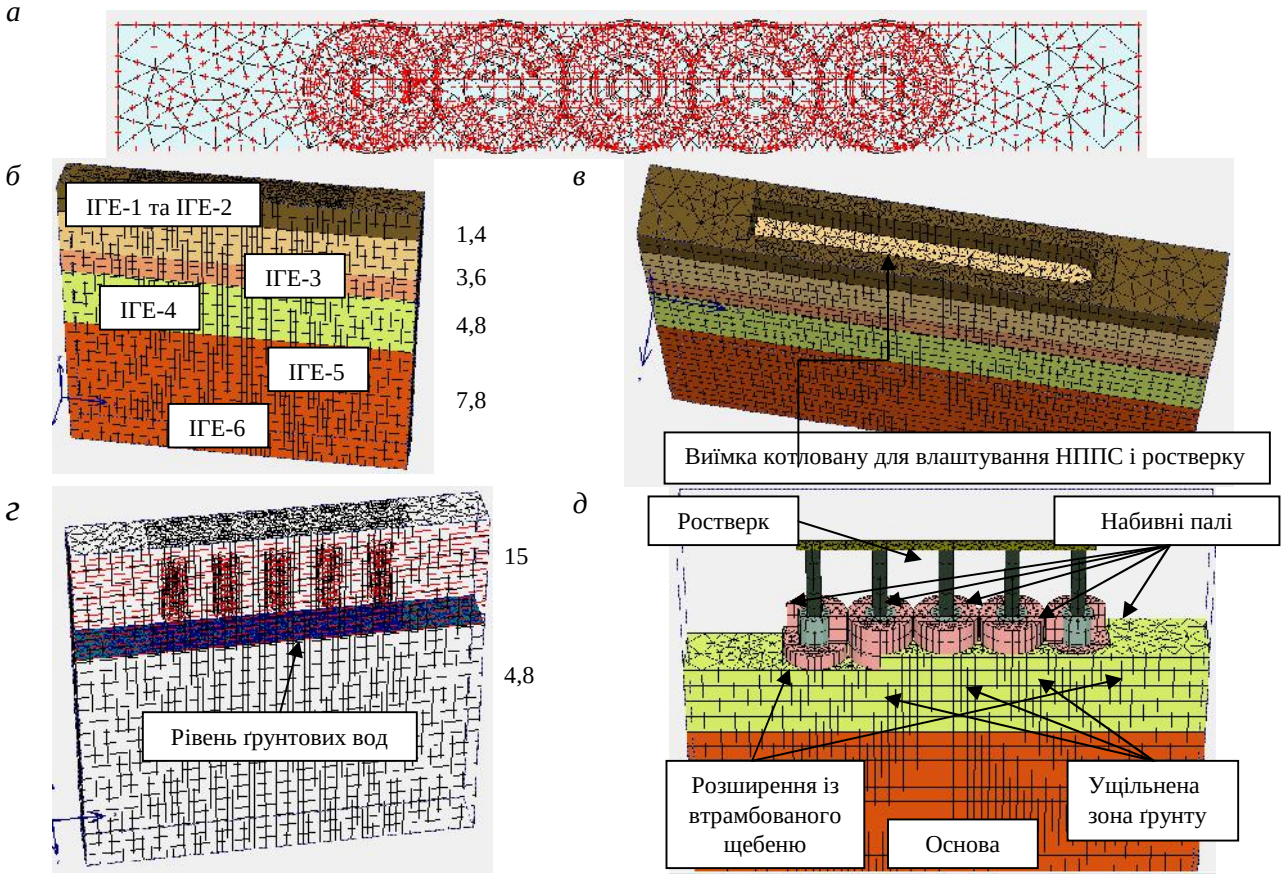

Рис. 3. Скінченноелементна модель системи "стрічковий ростверк – НППС – основа": а – 2D скінченноелементна сітка; б – 3D скінченноелементна сітка; в – на стадії виїмки ґрунту; г – рівень ґрунтових вод; д – улаштування НППС і ростверку; ІГЕ-1…ІГЕ-6 – інженерно-геологічні елементи, на які розбито основу

Таблиця

Моделі та фізико-механічні властивості елементів системи "стрічковий ростверк – НППС – основа"

№ ІГЕ, матеріал	Модель	Питома вага		Зчеплення *c*, кПа	Кут внутріш-нього тертя φ,°	Модуль деформації *E*, МПа	Коефіцієнт Пуассона ν
		ґрунту (бетону) γ, кН/м^3	замоклого ґрунту γ, кН/м^3				
1, 2	MCDrained	15	17	10	10	5	0,30
3	MCDrained	17,2	18	13	20	9	0,35
4	MCDrained	17,6	17,6	17	20	11	0,35
5	MCDrained	18,2	18,2	8	19	6	0,35
6	MCDrained	18,9	18,9	16	21	14	0,35
Ущільнена зона	MCDrained	19	19	20	30	18	0,30
Розширення	MCDrained	22	22	1	50	50	0,2
Стовбур	Linear Elastic	25	-	Non-porous		$2{,}3\cdot10^4$	0,2
Ростверк	Linear Elastic	25	-	Isotropic		$2{,}3\cdot10^4$	0,2

Оптимальний термін відпочинку НППС після його зведення до статичного випробування *T* визначають за формулою:

$$T = A\cdot(1+C\cdot A_{zi})(1+I_L)^2, \qquad (3)$$

де A_{zi} – площа поперечного перерізу зони поширення ущільнення НППС, м^2;

$$A_{zi} = \pi D^2/4 - A_{br}, \qquad (4)$$

де D – діаметр зони поширення ущільнення, м [7]; I_L – показник текучості ґрунту, в якому розташоване розширення; A, C –

емпіричні коефіцієнти; A = 12,5 доби; $C=0,5$ м ^{2}.

У процесі дослідницьких робіт визначають:

– кількість ударів трамбівки, необхідних для пробивання свердловини;

– кількість ударів трамбівки, необхідних для втрамбовування кожної порції жорсткого матеріалу в розширення, а також контрольні відмови трамбівки в кінці пробивання свердловини та утворення розширення;

– оптимальну висоту скидання трамбівки при пробиванні свердловини і для втрамбовування жорсткого матеріалу в розширення;

– мінімально допустиму відстань між двома сусідніми свердловинами, які влаштовують у конкретних ґрунтових умовах;

– за необхідності параметри ґрунту ущільненої зони (ρ, ρ_d, w, φ, c, E);

– за необхідності-розміри розширення та зони ущільнення ґрунту.

Висновки. Отже, наведені основні положення з проектування та влаштування НППС відповідають вимогам державних будівельних норм України [2], зокрема:

1. Обґрунтовано використання пружно-пластичної моделі з критерієм міцності Мора-Кулона для моделювання системи "стрічковий ростверк – НППС – ґрунт". Моделюванням за плоскою та просторовою задачами МСЕ доведено, що при відстані між осями сусідніх паль до п’яти діаметрів коректним є вибір плоскої версії і спрощення розрахункової схеми до умовного стрічкового фундаменту.

2. Удосконалено методику визначення осідань основ будівель на НППС, згідно з якою за ширину умовного стрічкового фундаменту прийнято діаметр розширення палі, глибина закладення відповідає його низу. Несучий шар основи під цим фундаментом складено з верхньої зони, достатнього ущільнення, і нижньої, природного ґрунту. Модуль деформації в зоні ущільнення приймають як три його величини природного ґрунту. Модуль деформації замоклих лесових ґрунтів визначають за компресійними дослідами без підвищувальних коефіцієнтів.

3. Удосконалено методику визначення несучої здатності НППС за даними польових випробувань.

ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Винников Ю. Л. Результати тривалих геодезичних спостережень за осіданнями будівель на набивних палях у пробитих свердловинах за умов замоклих лесових грунтів / Ю. Л. Винников, І. В. Мірошниченко // Строительство, материаловедение, машиностроение : сб. науч. тр. / Приднепр. акад. стр-ва и архитектуры. – Днепропетровск, 2011. – Вып. 61 : Инновационные технологии жизненного цикла объектов жилищно-гражданского, промышленного и транспортного назначения. – С. 88-93.
2. Об’єкти будівництва та промислова продукція будівельного призначення. Основи та фундаменти будинків і споруд. Основи та фундаменти споруд. Основні положення проектування : ДБН В.2.1-10-2009. – Введ. вперше зі скасуванням на території України СНиП 2.02.01-83 ; чинні від 2009-07-01. – Київ : Мінрегіонбуд України, 2009. – 107 с. – (Державні будівельні норми України).
3. Зоценко Н. Л. Современная практика моделирования взаимодействия фундаментов с уплотненными основаниями при их возведении и последующей работе / Н. Л. Зоценко, Ю. Л. Винников // Численные методы расчетов в практической геотехнике : сб. статей междунар. научн.-техн. конф. 1-3 февраля 2012 г. / М-во образования и науки Рос. Федерации, Санкт-Петерб. гос. архитектур.-строит. ун-т, Рос. акад. архитектуры и строит. наук, Рос. о-во по механике грунтов, геотехнике и фундаментостроению. – Санкт-Петербург, 2012. – С. 164-171.
4. Клованич С. Ф. Метод конечных элементов в нелинейных задачах инженерной механики / С. Ф. Клованич. – Запорожье : Запорожье, 2009. – 400 с.
5. Крутов В. И. Проектирование и устройство оснований и фундаментов на просадочных грунтах / В. И. Крутов, А. С. Ковалев, В. А. Ковалев. – Москва : Изд-во АСВ, 2013. – 544 с.
6. Определение форм и размеров уширений и зон уплотненного грунта в пробитых скважинах / Н. Л. Зоценко, Ю. Л. Винников, В. И. Коваленко, П. Н. Омельченко // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 1989. – № 5. – С. 2-4.
7. Посібник з проектування та влаштування набивних паль у пробитих свердловинах / [М. Л. Зоценко, Ю. Л. Винников, А. М. Павліков, С.В. Біда, М. О. Харченко] ; Полтав. нац. техн. ун-т ім. Ю. Кондратюка, Держ. н.-д. ін-т буд. конструкцій. – Київ : Сталь, 2014. – 70 с.
8. Справочник геотехника. Основания, фундаменты и подземные сооружения / В. А.Ильичев, Р. А. Мангушев, А. Н. Богомолов, Г. Г. Болдырев, А. Л. Готман ; под ред. В. А. Ильичева, Р. А. Мангушева. – Москва : Изд-во АСВ, 2014. – 728 с.
9. Харченко М. А. Численное моделирование напряженно-деформированного состояния системы «ленточный ростверк – набивные сваи в пробитых скважинах – основание» / М. А. Харченко, Ю. Л. Винников,

И. В. Мирошниченко // Инженерные подходы к решению геотехнических задач : сб. науч. тр. посвящ. 80-летию К. Ш. Шадунца / М-во сел. хоз-ва Рос. Федерации, Кубан. гос. аграр. ун-т. – Краснодар, 2013. – С. 93-102.
10. Piling Engineering / K. Fleming, A. Weltman, M. Randolph, K. Elson. – London : Taylor and Francis, 2009. – 408 p.
11. Brinkgreve R. B. J. Plaxis 3D Foundation. Reference Manual. Version 1.5 / R. B. J. Brinkgreve, W. Broere ; Delft University of Technology. – 2006. – Режим доступа: http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:xygOeHoaFA4J:www.terrasol.fr/sites/default/files/logiciels/fichiers_associes/Tutorial_Manual_3DFoundationv15.pdf+&cd=2&hl=ru&ct=clnk&gl= ua.
12. Zotsenko N. Designing the compacted subsoil's using mathematical simulation method / N. Zotsenko, Y. Vynnykov // Active geotechnical design in infrastructure development : proceedings. of XIIIth danube-european conference on geotechnical engineering, 29-31may, Ljubljana, Slovenia. Vol. 2 : Papers. – Ljubljana, 2006. – P. 385-390.

REFERENCES

1. Vynnykov Yu.L. and Miroshnychenko I.V. *Rezultaty tryvalykh geodezychnykh sposterezhen za osidanniamy budivel na nabyvnykh paliakh u probytykh sverdlovynakh za umov zamoklykh lesovykh gruntiv* [Results of long geodesic observations of subsidence buildings on tamped areas in punched holl in wet loess soil]. *Stroytel'stvo, materyalovedenye, mashynostroenye* [Construction, materials science, mechanical engineering], *vyp. 61: Innovatsyonnye tekhnolohyy zhyznennoho tsykla obъektov zhylyshchno-grazhdanskogo, promyshlennogo i transportnogo naznacheniya.* [Vol. 61: Innovative technology of life cycle of housing and civil objects, industrial and transport purposes]. PGASA. Dnepropetrovsk, 2011, p. 88-93. (in Ukrainian).
2. Minrehionbud Ukrayiny. *Obiekty budivnytstva ta promyslova produktsiia budivelnogo pryznachennia. Osnovy ta fundamenty budynkiv i sporud. Osnovy ta fundamenty sporud. Osnovni polozhennia proektuvannia: DBN V.2.1-10-2009.* [Objects of construction and industrial products of construction purposes. Bases and foundations of buildings and structures. Bases and foundations of structures. The main decree of the design: SCN V.2.1-10-2009]. Kyiv, 2009, 107 p. (in Ukrainian).
3. Zotsenko N.L. and Vinnikov Yu.L. *Sovremennaya praktika modelirovaniya vzaimodeystviya fundamentov s uplotnennymi osnovaniiami pri ikh vozvedenii i posleduyuschey rabote* [Modern practice of modeling the interaction of the foundation with compacted bases during their construction and subsequent operation]. *Chislennye metody raschetov v prakticheskoy geotekhnike* [Numerical calculation methods in practical geotechnical]. Sankt-Peterburg, 2012, pp. 164-171. (in Russian).
4. Klovanich S.F. *Metod konechnykh elementov v nelineynykh zadachakh inzhenernoy mekhaniki* [Method of final elements in nonlinear problems of mechanical engineering]. Zaporozh'e, 2009, 400 p. (in Russian).
5. Krutov V.I., Kovalev A.S. and Kovalev V.A. *Proektirovanie i ustroystvo osnovaniy i fundamentov na prosadochnykh gruntakh* [Design and appliance of bases and foundations on subsiding soils]. Moscow: Izd-vo ASV, 2013, 544 p. (in Russian).
6. Zotsenko N.L., Vinnikov Yu.L., Kovalenko V.I. and Omel'chenko P.N. *Opredelenie form i razmerov ushireniy zon uplotnennogo grunta v probitykh skvazhinakh* [Determination of shapes and sizes of broadening areas of compacted soil in the punched holes]. *Osnovaniya, fundamenty i mekhanika gruntov*[Grounds, foundations and mechanics of soil]. 1989, no. 5, pp. 2-4. (in Russian).
7. Zotsenko M.L., Vynnykov Yu.L., Pavlikov A.M., Bida S.V. and Kharchenko M.O. *Posibnyk z proektuvannia ta vlashtuvannia nabyvnykh pal u probytykh sverdlovynakh* [Manual of design and appliance of ramming piles in punched holes]. Kyiv: Stal', 2014, 70 p. (in Ukrainian).
8. Il'ichev V.A., Mangushev R.A., Bogomolov A.N, Boldyrev G.G. and Gotman A.L. *Spravochnik geotekhnika. Osnovaniya, fundamenty i podzemnye sooruzheniya* [Reference book of geotechnics. Grounds, foundations and underground structures]. Moscow: Izd-vo ASV, 2014, 728 p. (in Russian).
9. Kharchenko M.A., Vinnikov Yu.L. and Miroshnichenko I.V. *Chislennoe modelirovanie napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya sistemy «lentochny rostverk – nabivnye svai v probitykh skvazhinakh – osnovanie»* [Numerical modeling of intence and deformed state of the sistem "Ribbon grillage ramming piles in punched holes - base"]. *Inzhenernye podkhody k resheniyu geotekhnicheskikh zadach* [Engineering approaches to solving of geotechnical tasks]. Krasnodar, 2013, pp. 93-102. (in Russian).
10. Fleming K., Weltman A., Randolph M. and Elson K. *Piling Engineering*. London: Taylor and Francis, 2009, 408 p.
11. Brinkgreve R.B.J. and Broere W. *Plaxis 3D Foundation. Reference Manual*. *Version 1.5*. Delft University of Technology. 2006. Available at: http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:xygOeHoaFA4J:www.terrasol.fr/sites/default/files/logiciels/fichiers_associes/Tutorial_Manual_3DFoundationv15.pdf+&cd=2&hl=ru&ct=clnk&gl= ua.
12. Zotsenko N. and Vynnykov Y. *Designing the compacted subsoil's using mathematical simulation method. Active geotechnical design in infrastructure development : proceedings. of XIIIth danube-european conference on geotechnical engineering, 29-31may, Ljubljana, Slovenia*. Vol. 2. Ljubljana, 2006, pp. 385-390.

Стаття рекомендована до друку 15.03.2015 р. Рецензент: д-р т. н., проф. Є. А. Єгоров
Надійшла до редколегії: 10.07.2015 р. Прийнята до друку: 24.07.2015 р.