

## **НАБИВНІ ПАЛІ У ПРОБИТИХ СВЕРДЛОВИНАХ: ДОСВІД І ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ**

Винников Ю.Л., Мірошніченко І.В.

Полтавський національний технічний університет ім. Юрія Кондратюка

Передерій М.Ф., Передерій В.М.

ПП «Фундаментспецбуд», м. Полтава

Омельченко П.М.

ТОВ «ЕКФА»

м. Полтава, Україна

**АНОТАЦІЯ:** Викладено особливості проектування та зведення набивних паль у пробитих свердловинах (НППС), що відповідають державним будівельним нормам України. Їх вирізняє високий ступінь використання несучої здатності основи внаслідок формування в ній ущільненої зони, в межах якої зростає міцність і знижується деформативність ґрунту.

**АННОТАЦИЯ:** Изложены особенности проектирования и возведения набивных свай в пробитых скважинах (НППС), соответствующие строительным нормам Украины. Их отличает высокий уровень использования несущей способности основания вследствие формирования в нем уплотненной зоны, в пределах которой возрастает прочность и снижается деформативность ґрунта.

**ABSTRACT:** This paper discusses design features and installation of cast-in-situ piles in punched holes (CPPH), which correspond to the Ukrainian national Codes. CPPH using soil-bearing capacity in the best way due to the formation of soil compacted zone. Soil strength is higher and soil deformability is lower in the compacted zone.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** набивна паля у пробитій свердловині, стрічковий ростверк, лесовий ґрунт, пружно-пластична модель ґрунту, метод скінчених елементів.

## ВСТУП

Під набивними палями у пробитих свердловинах (НППС) ДБН В.2.1-10-2009 [1] має на увазі набивні палі з розширенням у нижній частині з втрамбованого жорсткого матеріалу (щебно), які виготовляють у свердловинах, пробитих скиданням циліндричної трамбівки по одному сліду, з утрамбовуванням в дно свердловини жорсткого матеріалу, встановленням за необхідності арматурних каркасів, заповненням свердловини бетоном.

НППС найбільш раціонально застосовувати у лесових макропористих ґрунтах природної вологості при зведенні житлових будівель переважно зі стрічковими ростверками. Ці ґрунти поширені на 65...70% території України. НППС вирізняє високий ступінь використання несучої здатності основи через формування в ній ущільненої зони, в межах якої зростає міцність і знижується деформативність ґрунту. Спосіб їх зведення дає змогу майже вилучити земляні й опалубочні 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 виготовляють з вийманням ґрунту і заглибленням у ґрунт збірних елементів [2 – 5]. Це зумовлено й застосуванням у якості базових для навісного обладнання мобільних машин (трактор Т-150к – рис. 1, а) вітчизняного виробництва [5], значно дешевших іноземних (та й іноземне обладнання для НППС відсутнє). Так в системі Укрмонтажспецбуду до 1990 р. працювало до 50 установок на базі Т-150к, але через падіння об'ємів робіт обладнання демонтували, а машини використали для інших потреб. Та навіть за останні 6 років ПП «Фундаментспецбуд» виконало НППС на 9 об'єктах (завод виробництва біоетанолу в Золотоноші, виробнича база ТОВ «Фіто Віта» у Борисполі, Глобинський переробний завод, пташники для молодняка перепелиної товарної ферми в Київській обл., елеватор у с. Жовтневе Решетилівського р-ну та комплекс по кондиціонуванню насіння сільськогосподарських культур у Диканському р-ні Полтавської обл., комплекси обслуговування автомобілів і складські будівлі в Полтаві).

На базі експериментальних (в т. ч. тривалих геодезичних спостережень за осіданнями натурних будівель) і теоретичних досліджень [5 – 7], проведених під керівництвом проф. М.Л. Зоценка за понад 30 років, і досвіду використання цих паль на об'єктах цивільного, промислового і сільськогосподарського будівництва створена інженерна методика розрахунку НППС [7].

Для розширення нормативної бази проектування та зведення НППС доцільним є подальше узагальнення наукових і виробничих напрацювань у вже традиційній формі «Настанови ...» (ДСТУ-Н).

Тому за мету цієї роботи є представлення для розгляду можливих основних положень такого стандарту проектування та зведення НППС.

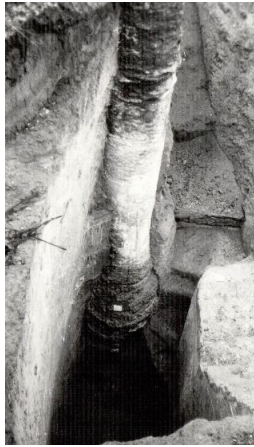
## ОСНОВНІ МАТЕРІАЛИ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

НППС влаштовують пробиванням свердловин у ґрунті циліндричною трамбівкою (рис. 1) діаметром 0,4...0,6 м, масою 3...6 т с наступним заповненням їх бетоном (рис. 2, а).



Рис. 1. Мобільне обладнання для влаштування НППС

Для збільшення опору навантаженню в забої свердловини створюють розширення (рис. 2, б) з втрамбованого щебню (об'ємом до 2 м<sup>3</sup>) чи жорсткого бетону. Розміри НСПС: діаметр стовбура 400...800 мм; висота палі 1,5...10 м (іноді до 20 м); діаметр розширення 700...1200 мм. Якщо при замоканні вологість лесу досягає  $w \geq W_p + (0,01...0,03)$ , де  $W_p$  – вологість ґрунту на межі розкочування, виникає ефект засмокування ґрунтом трамбівки. Його знижують, підсипаючи в свердловину щебінь. Тоді на її стінках створюється жорстка шорстка сорочка.



а



б

Рис. 2. НППС (а) та їх розширення (б) після натурних досліджень

Пальові фундаменти з НППС проектують відповідно до конструктивної схеми споруди та розрізняють залежно від способу об'єднання у плані голів паль ростверком і відповідною розрахунковою схемою:

- у складі стрічкових монолітних ростверків під стіни безкаркасних будівель з цегли, бетонних блоків, панелей;
- безростверкові фундаменти під стіни безкаркасних будівель з панелей та об'ємних блоків;
- одиночні палі з оголовком під окремо розташовані опори, окремі фундаменти стаканного типу під колони для каркасних цивільних і промислових будівель, опори естакад;
- у складі групи (куща) паль – пальові фундаменти під колони (можливий як збірний, так і монолітний варіант) чи стовпи зі стовпчастим або плитним ростверком і розташуванням паль у плані для каркасних будівель.

Розрахунок пальових фундаментів виконують за несучою здатністю та деформаціями ґрунтової основи й матеріалу конструкції фундаментів і вище розташованих конструкцій будівель і споруд, як правило, в розрахунковій схемі «основа – НППС – ростверк – надземна споруда». Розрахунок НППС та їх основ слід вести за граничними станами: а) першої групи: за міцністю матеріалів паль і розширень, ростверків; за несучою здатністю ґрунту основи; за стійкістю основи; б) другої групи: за переміщенням фундаментів – вертикальним, горизонтальним, кутом повороту спільно з ґрунтом основи та вище розташованих конструкцій від

дії вертикальних, горизонтальних навантажень і моментів; за тріщиноутворенням у залізобетонних конструкціях фундаментів.

Параметри розширених і ущільнених зон паль визначають залежно від параметрів трамбівок, матеріалу розширення, фізичних властивостей ґрунту, відстані між осями паль. Несучу здатність НППС визначають для повного замокання ґрунту основи як найменшу з розрахункових значень: за жорстким матеріалом, втрамбованим у дно свердловини; за ущільненим ґрунтом у межах ущільненої зони; за ґрунтом природного складу, що підстилає ущільнену зону.

Осідання однієї НППС з розширенням визначають за схемою двошарової основи, а групи НППС – як умовного фундаменту з підшовою в площині низу розширень і з площею підшви цього фундаменту, що обмежена дотичними до кіл, описаних радіусами розширень, і проведеними до розширення кожної палі. У разі, коли НППС працюють у складі стрічкових центрально завантажених ростверків, а відстань між їх осями  $\ell_w > 5b_p$  (де  $b_p$  – діаметр стовбура), то осідання їх основ визначають як для одиночної набивної палі з розширенням з урахуванням взаємного впливу паль. При  $\ell_w \leq 5b_p$  осідання основ цих паль слід визначати, 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. При розташуванні паль у декілька рядів чи в шаховому порядку ширину умовного стрічкового фундаменту приймають  $b_y = n\ell_n + d_{br}$ , де  $\ell_n$  – відстань між осями рядів паль;  $n$  – кількість рядів паль;  $d_{br}$  – діаметр поперечного перерізу розширення. Враховують зону достатнього ущільнення під розширенням. Модуль деформації ґрунту в її межах під розширенням  $h_s$  слід приймати  $3E$  (де  $E$  – значення модуля деформації для ґрунту природного складу). У розрахунках осідань основ модуль деформації замочених лесових ґрунтів визначають за компресійними випробуваннями без підвищуючих коефіцієнтів. У розрахунках НППС, що влаштовують у котлованах глибиною понад 5 м згідно з [1] враховують ефект повторного навантаження, за якого в межах напружень від вийнятого ґрунту застосовують модулі пружності ґрунту.

Вісесиметрична версія методу скінчених елементів (МСЕ) адекватно відображає НДС масиву при влаштуванні окремих паль з ущільненням ґрунту та їх наступній роботі [6]. Та ці рішення не коректно використовувати для оцінювання взаємодії паль у складі ростверків з ґрунтами. Тому обґрунтовано коректні моделі стану ґрунту й геомеханічні моделі плоскої та просторової версій МСЕ щодо розрахунків спільної

роботи НППС у складі ростверків з основою. Недолік методів визначення осідань будівель на НППС у складі ростверків за схемою одиночних паль з розширенням – неврахування взаємного впливу сусідніх паль, що зі зменшенням відстані між їх осями, особливо до  $(3-4)b_p$ , суттєво занижується порівняно з фактичними осіданнями основ.

Розрахункову модель представляють як систему «ростверк – НППС – основа». Вона повинна врахувати їх просторову жорсткість. Палі, розширення і ростверки моделюють скінченними елементами (СЕ) деформованого твердого тіла, ущільнену зону, оточуючий ґрунт – СЕ за пружно-пластичною теорією. Розрахункову схему основи при використанні в якості моделі ґрунтової основи пружно-пластичного середовища задають у вигляді суцільного напівпростору, розділеного на СЕ. Розмір напівпростору в схемі приймають за умови виключення впливу умов закріплення на його межах на результати розрахунку конструкцій. Бічні межі прямокутної розрахункової зони (паралелепіпед – у разі просторової задачі) приймають на достатній відстані від бічної поверхні розширення НППС для максимального зменшення її впливу з умови заборони горизонтальних переміщень, концентрації напружень й ущільнення ґрунту на контакті із зовнішньою межею розрахункової зони. Верхню горизонтальну межу цієї зони розміщують на рівні поверхні землі. Нижня горизонтальна межа зони має відповідати глибині межі стислої товщі основи НППС. Граничні умови повинні відповідати натурним особливостям роботи основи і НППС. Всі вузли, що знаходяться на нижній межі розрахункової зони, закріплюють нерухомо; вузли бічних меж не можуть мати горизонтальних переміщень.

Для урахування неоднорідності ущільнення середовища в межах СЕ зони впливу палі такі параметри як модуль деформації  $E$ , кут внутрішнього тертя  $\varphi$  і питоме зчеплення  $c$  ґрунту можливо приймати за кореляційними рівняннями взаємозв'язку залежно від коефіцієнта пористості  $e$ .

Визначення несучої здатності НППС за властивостями основи за даними польових досліджень за [1] виконують випробуваннями натурних паль. Якщо навантаженням при статичних випробуваннях НППС доведена до величини, яка викликає зростання осідання  $S$  без збільшення навантаження (при  $S \leq 20$  мм), то це навантаження приймають за поодиноким значенням граничного опору  $F_{u,n}$  НППС, що випробовують. В інших випадках за поодиноким значенням граничного опору НППС  $F_{u,n}$  приймають таке, під дією якого паля, що випробовується, досягає осідання  $S$ , яке визначають за формулою

$$S = \xi S_{u,nt} , \quad (1)$$

де  $S_{u,mr}$  – граничне значення середнього осідання будівлі чи споруди, що проектується, яке встановлюють за вказівками додатку И [1];  $\xi$  – коефіцієнт переходу від граничного значення середнього осідання фундаменту будівлі чи споруди  $S_{u,mr}$  до осідання НППС, яке отримано при статичних випробуваннях з умовною стабілізацією осідання. Коефіцієнт  $\xi$  приймають залежно від коефіцієнта водонасичення ґрунту основи  $S_r$  при проведенні випробувань НППС

$$\xi = 0,8S_r - 0,2. \quad (2)$$

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

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

$$(5.4)$$

де  $A_{zi}$  – площа поперечного перерізу зони поширення ущільнення НППС, м<sup>2</sup>;

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

$$(5.5)$$

де  $D$  – діаметр зони поширення ущільнення, м, визначають за виразом [5, 7];  $I_L$  – показник текучості ґрунтового шару, в якому розташоване розширення;  $A=12,5$  діб,  $C=0,5$  м<sup>-2</sup> – емпіричні коефіцієнти.

Розроблено основні положення по виконанню робіт, особливості охорони праці та природного середовища при спорудженні НППС, випробувальні роботи з їх улаштування, контроль якості та правила приймання робіт й ін. [7].

## ВИСНОВКИ

Таким чином, викладені вище, вже достатньо апробовані геотехнічною практикою на сотнях об'єктах цивільного, промислового і сільськогосподарського будівництва, особливості проектування та зведення НППС доцільно покласти в основу розширення їх нормативної державної будівельної бази проектування та зведення у формі «Настанови ...» (ДСТУ-Н).

## ЛІТЕРАТУРА

1. Основи та фундаменти будинків і споруд. Основні положення проектування. Зі змінами №1 і №2: ДБН В.2.1-10-2009. - [Чинний від 2009-01-07]. - К.: Мінрегіонбуд України, 2012. – 161 с. - (Національний стандарт України).

2. 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.
3. Готман А.Л. Свайные фундаменты / А.Л. Готман // Российская геотехника – шаг в XXI век: тр. конф. РОМГГФ. – М.: НИИОСП, 2007. – Т. I. – С. 37 – 52.
4. Справочник геотехника. Основания, фундаменты и подземные сооружения / под ред. В.А. Ильичева и Р.А. Мангушева. – М.: АСВ, 2014. – 728 с.
5. Зоценко М.Л. Напружено-деформований стан основ фундаментів, які споруджують без виймання ґрунту: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.23.02 / М.Л. Зоценко. – К.: НДІБК, 1994. – 44 с.
6. Винников Ю.Л. Математичне моделювання взаємодії фундаментів з ущільненими основами при їх зведенні та наступній роботі: монографія / Ю.Л. Винников. – Полтава: ПолтНТУ ім. Юрія Кондратюка, 2016. – 280 с.
7. Посібник з проектування та влаштування набивних паль у пробитих свердловинах / [М.Л. Зоценко, Ю.Л. Винников, А.М. Павліков та ін.] // ПолтНТУ, ДП НДІБК. – К., 2014. – 70 с.

## REFERENCES

1. DBN V.2.1-10-2009. Bases and foundations of buildings and structures. General statements of design. With changes №1 and №2: [Effective as of 2009.01.07]. – К.: Ukraine Ministry of Regional Development, 2012. – 161 p. - (National Standard of Ukraine).
2. V.I. Krutov, A.S. Kovalev, V.A. Kovalev. Design and installation bases and foundations on subsiding soils. – М.: АСВ, 2012. – 560 p.
3. Gotman A.L. Pile foundations. Russian geotechnical – step in the XXI century: konf. ROMGGF. – М.: НИОСП, 2007. – Т. I. – P. 37 – 52.
4. Manual geotechnics. Bases, foundations and underground structures / Ed. V.A. Ilichev and R.A. Mangushev. – М.: АСВ, 2014. – 728 p.
5. Zotsenko M.L. Stress-strain state based of the foundation that construct without removing the soil: Author. Dis. ... Dr. Sc. Science: 05.23.02 / M.L. Zotsenko. – К.: NDIBK, 1994. – 44 p.
6. Vynnykov Yu.L. Mathematical modeling of foundations interaction with compacting basics during their construction and following work: monograph. – Poltava: PoltNTU named after Yuri Kondratyuk, 2016. – 280 p.
7. Manual design and installation cust in situ piles in punched holes / M.L. Zotsenko, Yu.L. Vynnykov, A.M. Pavlikov and etc. // PoltNTU, DP NDIBK. – К., 2014. – 70 p.

Стаття надійшла до редакції 04.08.2016 р.