

УДК 624.154.5:624.042

О. І. ДУБІНЧИК^{1*}, І. М. ІЛЬНИЦЬКИЙ²

^{1*}Каф. «Транспортна інфраструктура», Український державний університет науки і технологій, ННІ ДІІТ, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 53, ел. пошта o.i.dubinchyk@ust.edu.ua, ORCID 0000-0003-4059-2357

²Каф. «Транспортна інфраструктура», Український державний університет науки і технологій, ННІ ДІІТ, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (050) 566 93 40, ел. пошта ilnitskiy.igor@gmail.com, ORCID 0009-0003-7752-5817

Обґрунтування практичного застосування гвинтової палі зі спіральною лопаттю (геошурупу) під час будівництва пальових фундаментів

Мета. Метою наукової статті є дослідження практичного застосування гвинтової палі зі спіральною лопаттю (геошурупу) під час будівництва пальових фундаментів, а також практичне застосування принципової методики розрахунку несучої здатності паль даного типу. Аналіз і оцінка розбіжності фактично отриманої несучої здатності паль за результатами випробувань статичними вертикальними навантаженнями у порівнянні з розрахунковими даними. Формування певних висновків щодо опору ґрунту в процесі занурення паль у вигляді тертя по бічній поверхні та рівня такої взаємодії. Оцінка рівня трудомісткості будівельних робіт під час застосування паль зі спіральною лопаттю в будівництві. **Методика.** Наведені матеріали вивчення особливостей конструкцій, що створені на основі реалізованого будівельного проєкту з будівництва фундаментів опор повітряних ліній електропередач з застосуванням гвинтових паль зі спіральною лопаттю. Для створення такого об'єкту будівництва з подальшим науковим вивченням особливостей було застосовано розрахункову програму і нормативну документацію з проєктування будівельних конструкцій. В результаті було розроблено і проаналізовано альтернативну конструкцію по відношенню до стандартних рішень з будівництва подібних фундаментів, а саме гвинтові палі зі спіральною лопаттю, об'єднані залізобетонним монолітним ростверком. **Результати.** Отримані відповідні дані з несучої здатності паль, дані рівня опору ґрунту на бічній поверхні паль під час їхнього занурення, було перевірено методику теоретичного розрахунку паль натурними випробуваннями на навантаження стиску й висмикування. Було отримано інформацію щодо головних конструктивних і розрахункових складових з практичного занурення паль такого типу. Досліджено досвід з'єднання паль і ростверку в одну конструкцію, здатну сприймати значні навантаження і забезпечити надійну основу для надземних конструкцій. **Наукова новизна.** Вперше підтверджено відповідність результатів натурних випробувань та результатів дослідних теоретичних розрахунків несучої здатності паль зі спіральною лопаттю за ґрунтом. **Практична значимість.** Полягає в тому, що на основі вивчення даного досвіду отримано відповіді на досі невідомі питання з розрахунку геошурупів, що, в свою чергу, надає можливість проєктувати фундаменти з використанням гвинтових паль зі спіральною лопаттю.

Ключові слова: гвинтова паля зі спіральною лопаттю; фундаменти опор ліній електропередач; геошурупи; несуча здатність палі; конструкція палі; розрахункова схема; теоретичні розрахунки; натурні випробування; опір ґрунту на бічній поверхні

Вступ

Зазвичай у пострадянських країнах для проєктування і будівництва фундаментів опор повітряних ліній електропередач (ЛЕП) використовувались конструктивні рішення з використанням типових конструкцій і розрахункових схем без активного залучення новітніх технологічних досягнень і окремих новаторських конструктивних виробів.

Переважно застосовувалися такі конструктивні рішення: окремо стоячі фундаменти на природній основі з плитною частиною і підко-

лонником або пальові фундаменти, які складаються з кушів паль, як правило, по 4...6 штук під кожну з гілок металевої просторової опори. За матеріалами насамперед застосовувалися збірні та збірно-монолітні залізобетонні конструкції з металевими оголовками і елементами кріплення.

Технологічний розвиток призвів до зміни конструктиву практично всіх складових всієї будови опори ЛЕП. По-перше, як наведено на рис. 1, металоконструкція щогли перетворилась з просторової в стрижневу з перерізом у вигляді багатогранника.

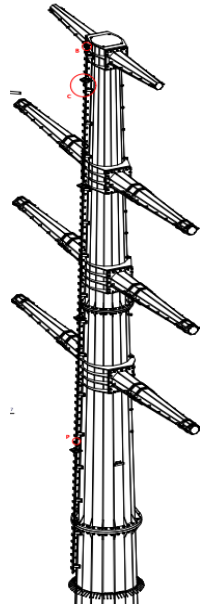


Рис. 1. Вигляд сучасної щогли опори ЛЕП

Fig. 1. View of a modern power line support tower

По-друге, анкерний блок (рис. 2) наразі виконується з великої кількості фундаментних болтів, розташованих по колу, що унеможливає використання збірного варіанту ЛЕП.

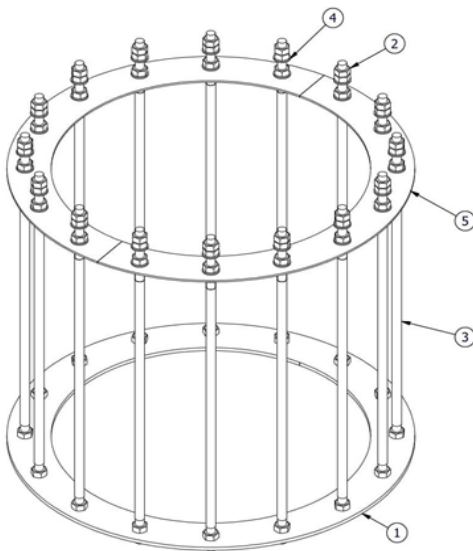


Рис. 2. Вигляд анкерного блоку для кріплення щогли:

- 1 – анкерна пластина; 2 – гайка фундаментного болта;
3 – фундаментний болт; 4 – верхівка болта;
5 – кондуктор зі сталеві пластини

Fig. 2. View of the anchor block for securing the mast:
1 – anchor plate; 2 – foundation bolt nut; 3 – foundation bolt;
4 – bolt head; 5 – steel plate conductor

По-третє, ростверк пальового фундаменту або фундамент на природній основі обов'язково повинні бути монолітними, оскільки це єдине рішення у випадку індивідуальних проєктів такого типу. У випадку пальового варіанту фундаменту палі можуть бути застосовані забивні або бурові.

Також існують різні види створення несучої основи, наприклад, такі, як зазначено в науковій праці [9], що дає можливість більш глибокого теоретичного аналізу і пропозицій. Ця стаття звертає увагу на застосуванні одного з видів саме гвинтових паль на прикладі реалізованого проєкту.

Для будівництва споруд або конструкцій, які не потребують ретельних розрахунків й призначення яких може бути пов'язано з господарською діяльністю, використовують більш легкі і не такі масивні рішення у порівнянні з класичними палями з залізобетону, а саме гвинтові палі зі спіральною лопаттю – так звані «геошурупи». Такі палі виготовляються переважно з металу і покриваються шаром цинкового покриття. Сфера застосування таких паль – фундаменти стендів сонячних електростанцій, річкових пірсів, конструкції для легких каркасних чи модульних приватних будинків, конструктивні рішення для підсилення фундаментів.

Багато науковців або проєктувальників, які займаються або безпосередньо створенням фундаментних конструкцій, або питаннями розвитку і проблемами фундаментів і основ з виконанням відповідних розрахунків, використовують подібні палі з досягненням певного результату. Але застосування геошурупів під час будівництва конструкцій з значними навантаженнями і високим рівнем відповідальності зустрічається дуже рідко. Цей факт, по-перше, пояснюється деякими відомими причинами: корозія металу в ґрунті, невеликі габарити і, як наслідок, відносно невисока міцність окремо взятої палі, але, по-друге, через те, що немає достатнього досвіду в розрахунках та випробуваннях геошурупів по ґрунті, а в офіційній нормативній документації безпосередньо про геошурупи мова взагалі не йде.

В даній статті нами буде наведено реальний приклад можливості поєднання роботи двох, на перший погляд, несумісних конструктивів фундаменту – багатогвинтових металевих паль зі

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

спіральною лопаттю й монолітного залізобетонного ростверку на прикладі проектування і подальшого будівництва фундаменту опори ЛЕП. Буде розглянуто несучу здатність геошурупів і застосування методики її розрахунку, яка була вивчена в статті [6]. Також будуть розглянуті принципи переваги і недоліки на прикладі наведених рішень, а також складності, з якими довелося зіштовхнутися учасникам проекту.

Мета

Метою наукової статті є дослідження практичного застосування гвинтової палі зі спіральною безперервною лопаттю (геошуруп) під час будівництва пальових фундаментів, а також практичне застосування принципової методики розрахунку несучої здатності паль даного типу.

Планується виконати: аналіз і оцінку розбіжності фактично отриманої несучої здатності паль за результатами випробувань статичними вертикальними навантаженнями у порівнянні з розрахунковими даними; формування певних висновків щодо опору ґрунту в процесі занурення паль у вигляді тертя по бічній поверхні та рівня такої взаємодії; оцінку можливості застосування подібних конструкцій в цілому, а також оцінку рівня трудомісткості будівельних робіт під час застосування паль зі спіральною лопаттю в будівництві.

Методика

Будівництво відбувалось безпосередньо на місці розташування існуючої опори в ході реконструкції лінії зі збільшенням її потужності. Взагалі весь проєкт по реконструкції лінії передбачав заміну як самої опори, так і фундаменту. Потрібно було здійснити заміну існуючої металевішої просторової конструкції на нову металеву щоглу у вигляді стрижня з перерізом у вигляді багатогранника (див. рис. 1), а також побудувати новий фундамент замість існуючого.

Загалом в процесі проектування і будівництва виникла необхідність розробки альтернативного рішення щодо конструкції фундаменту через дуже короткий ліміт часу знеструмлення діючої лінії на будівельні роботи по заміні фундаментів і опори в цілому, через що підрядник не встигав завершити будівельно-монтажні ро-

боти в повному обсязі. В процесі проектування було запропоновано застосувати геошурупи в якості паль через те, що вони є малогабаритними виробами і не потребують залучення великих механізмів, тобто їх занурення можливо здійснювати під час роботи існуючої лінії без втручання в існуючу металеву опору. Розташування паль було запропоновано здійснити таким чином, щоб вони знаходились між елементами існуючого фундаменту, через що форма монолітного залізобетонного ростверку набула характерної геометричної форми в плані, а саме хреста. Дякуючи такому нестандартному рішенню, будівництво фундаменту і набір міцності бетону відбувалися без необхідності знеструмлення лінії, а подальша заміна металевішої опори і встановлення дротів самої лінії вже здійснювалась в рамках ліміту часу на знеструмлення.

В класичному будівельному рішенні спочатку довелося б демонтувати існуючі елементи опори і фундаменту, потім побудувати новий фундамент і дочекатися набору міцності бетону, тільки після цього стало б можливе здійснити монтаж нової опори і дротів, що було неможливе в ліміті відведеного на це часу.

Загалом було застосовано наступне рішення для реконструкції декількох існуючих опор з пальовими фундаментами і варіанту окремого фундаменту на природній основі, тому надалі фотоматеріали та креслення будуть наводитись, виходячи з хронології реконструкції цих двох випадків. Розглянемо всі складові зазначеного рішення.

В якості паль було застосовано багатогвинтові палі (геошурупи), які є стрижнями круглого перетину з влаштуванням на зовнішній поверхні безперервної лопаті у вигляді спіралі. Діаметр паль змінного перетину коливається з 76 мм до 108 мм, вони виготовлені з металевішої труби відповідного діаметру і товщиною стінки 4 мм. Спіральна лопать має ширину 15 мм з товщиною металу 1,5 мм. Загальна довжина палі складає 6 м. Оголовок палі оснащується трьома пластинами товщиною по 10 мм з відповідними отворами для кріплення під час занурення. Для елементів геошурупів використана марка сталі С245. Зовнішнє антикорозійне цинкове покриття виконано товщиною не менше 80 мкм і не більше 200 мкм, нанесення цього покриття від-

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

бувалося методом гарячого цинкування в суворому дотриманні норм на виконання таких робіт.

На рис. 3 детально зображено конструкцію палі, яка була застосована в робочому проєкті і будівництві.

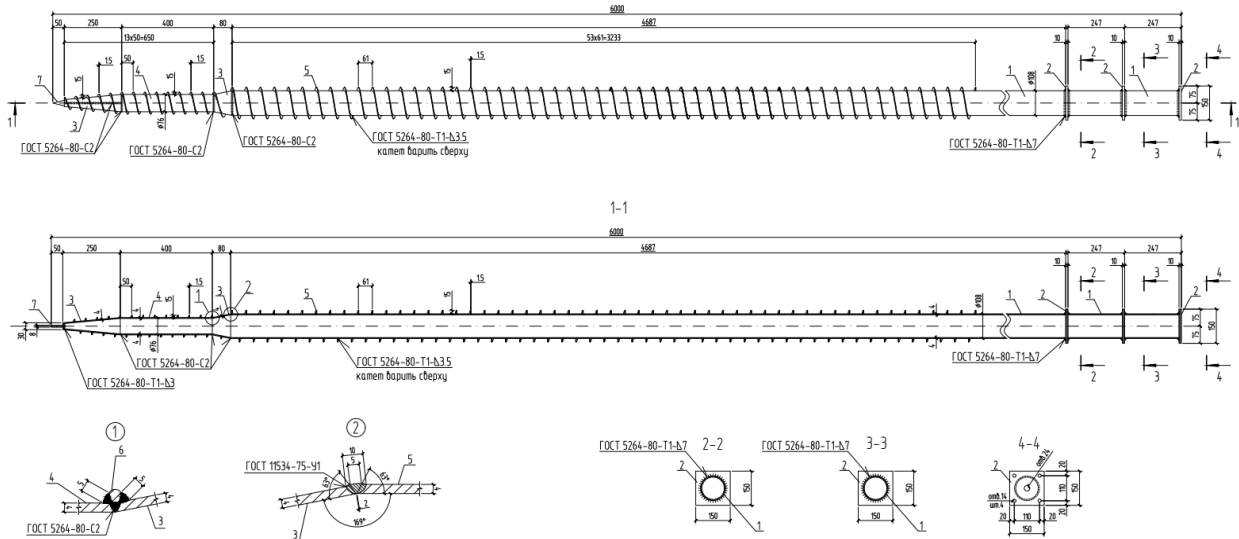


Рис. 3. Багатогвинтова палі зі спіральною лопаттю (геошуруп)

Fig. 3. Multi-screw pile with spiral blade (geo-screw)

Всі матеріали для конструкцій і з'єднань відповідають вимогам чинних норм [5].

Занурення палі відбувалося в пісок щільний і середньої щільності з поверхні попередньо викопаного котловану між фундаментами існуючої опори. Характеристики ґрунтів наступні (надано інженерно-геологічні елементи, ІГЕ):

ІГЕ 4а – пісок мілкий, кварцовий, жовто-сірий, сірий, середньої щільності з прошарками пухкого, малого та середнього ступеню водонасичення з наступними розрахунковими характеристиками: модуль деформації $E = 2\,650\text{ т/м}^2$; об'ємна вага $\gamma = 1,79\text{ т/м}^3$; питоме зчеплення по бічній поверхні $C = 0,1\text{ т/м}^2$; кут внутрішнього тертя $\phi = 27^\circ$; коефіцієнт пористості $e = 0,65$.

ІГЕ 5а – пісок середньої крупності, кварцовий, сірий, щільний, з прошарками середньої щільності, насичений водою з наступними розрахунковими характеристиками: модуль деформації $E = 3\,058\text{ т/м}^2$; об'ємна вага $\gamma = 1,91\text{ т/м}^3$;

питоме зчеплення по бічній поверхні $C = 0,1\text{ т/м}^2$; кут внутрішнього тертя $\phi = 29^\circ$; коефіцієнт пористості $e = 0,54$.

На рис. 4 відображено геологічний розріз з реальними габаритами всієї конструкції.

Ростверк виконано з монолітного залізобетону, він має жорстке з'єднання з оголовками палі і відповідне армування. Також в конструкції ростверку передбачено закладний блок анкерних болтів, що, в свою чергу, обумовлює рішення щодо монолітної конструкції ростверку, а також наявність підколонника квадратного перетину в плані. Як вказано вище, плита частина ростверку виконується у вигляді хреста в плані, що обумовлено розташуванням палі. Клас бетону за міцністю – С20/25, армокаркаси виконано в'язаними з окремих стрижнів класу міцності А400С для поздовжнього армування і А240С для поперечного.

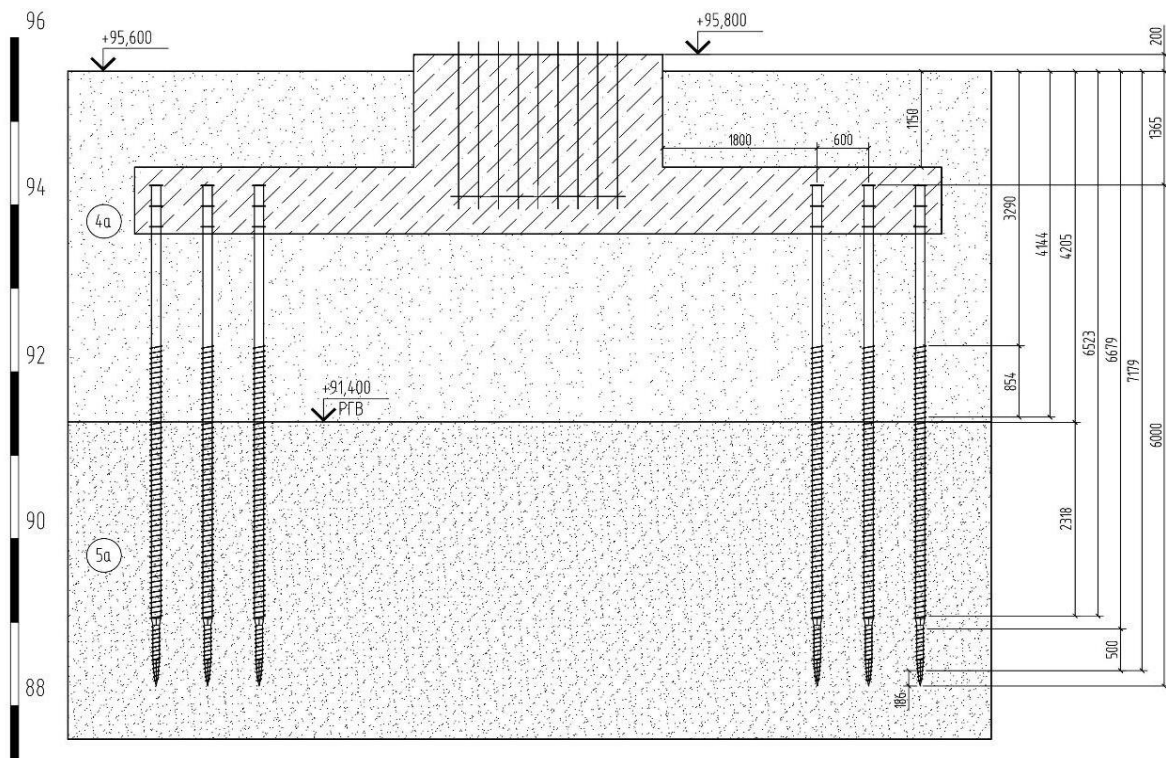


Рис. 4. Геологічний розріз у місці пального фундаменту

Fig. 4. Geological section at the pile foundation site

З точки зору просторової жорсткості і стійкості конструктивного рішення прийнято, що з'єднання паль з ростверком є жорстким за рахунок заведення оголовку палі в тіло ростверку на відповідну глибину, з'єднання щогли з ростверком є жорстким за рахунок відповідного

влаштування в армокаркас ростверку анкерного блоку, палі в ґрунті працюють як висячі з оточенням однорідним лінійно-деформованим півпростором у вигляді ґрунту.

На рис. 5 зображено поперечний розріз монолітного ростверку з армуванням.

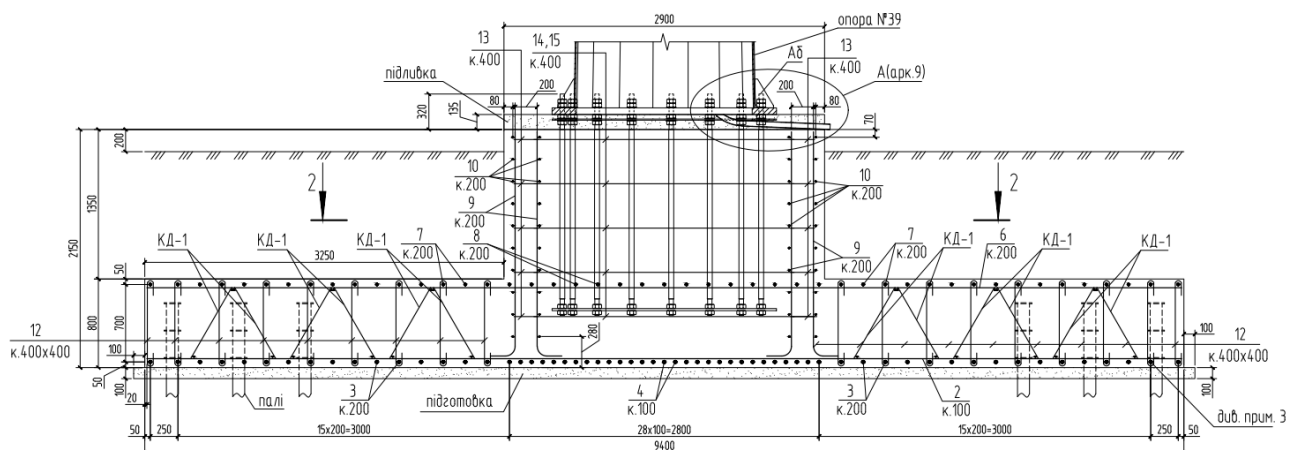


Рис. 5. Монолітний ростверк в розрізі

Fig. 5. Monolithic grillage in cross section

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

Розрахунок просторової моделі, зображення якої наведено на рис. 6, виконувався за допомогою програмного комплексу Ліра-САПР [1], з моделюванням всіх складових фундаменту скінченними елементами різного типу. Окремо треба зазначити, що під час проєктування споруд такого типу є певні нормативні обмеження щодо граничних деформацій за креном і осі-

даннями фундаменту, тому при створенні розрахункової моделі довелося моделювати податливість паль у ґрунті як в горизонтальній [7, 8], так і вертикальній площинах і таким чином контролювати і підбирати певне розташування паль відносно центру прикладання зусиль.

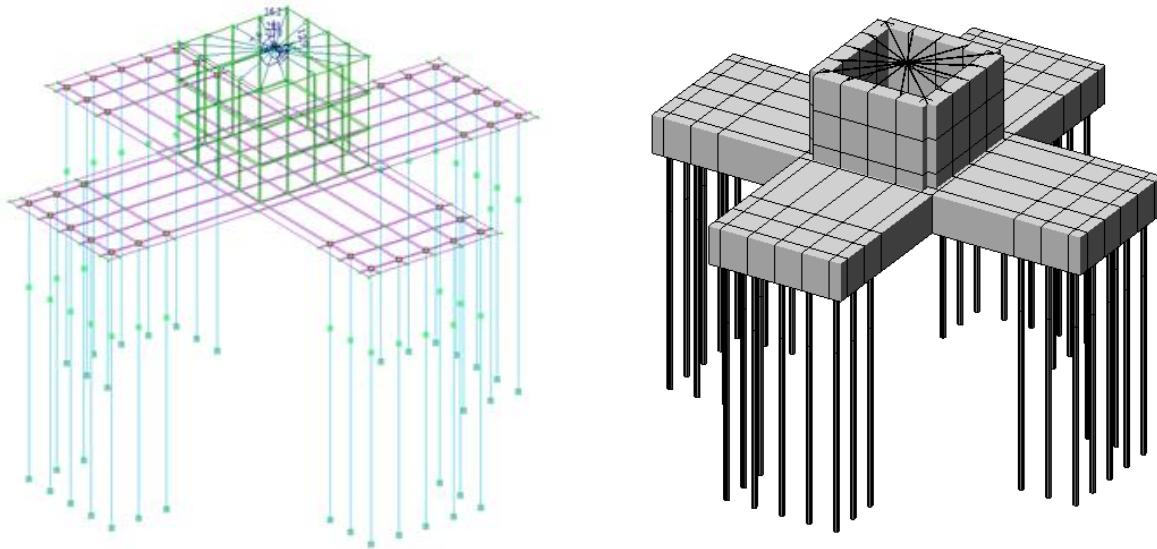


Рис. 6. Розрахункова просторова модель фундаменту

Fig. 6. Calculated spatial model of the foundation

несуча здатність геосурупів була визначена за методикою, яка була детально наведена в статті [6], з урахуванням висновків статті

[10], а також розрахункових значень, відповідних місцевим ґрунтовим умовам, а саме:

$$Fd = \sin 79^\circ \cdot \sum [\gamma_c \cdot (\alpha_1 \cdot C_1 + \alpha_2 \cdot \gamma_1 \cdot h_1) \cdot A] + \gamma_c \cdot U \cdot f_i \cdot (H_i - d),$$

де $\gamma_c = 0,7$, $\gamma_c = 0,6$, $\gamma_c = 0,5$ – коефіцієнт умов роботи відповідно для навантажень стиску й висмикування.

Для ІГЕ 4а: $\varphi = 27^\circ$ – кут внутрішнього тертя ґрунту; $\alpha_1 = 26,3$, $\alpha_2 = 14,4$ – безрозмірні коефіцієнти; $C_1 = 0,1 \text{ т/м}^2$ – питоме зчеплення з бокової поверхні; $\gamma_1 = 1,79 \text{ т/м}^3$ – середнє значення питомої ваги ґрунту, що залягає вище лопаті палі; h_1 – змінне за кресленнями палі в м – глибина залягання лопаті палі від природного рельєфу, а при плануванні території зрізанням – від рівня планування; $A = 0,0058$ і $0,0043 \text{ м}^2$ – проєкція площі лопаті за вирахуванням площі перерізу стовбура палі; $U = 0,34 \text{ м}$ – периметр стовбура палі; $r_i = 3,4 \text{ тнс/м}^2$ – розрахунковий опір ґрунту по біч-

ній поверхні стовбура палі; $H_i = 0 \text{ м}$ – довжина стовбура палі, зануреної у ґрунт; $d = 0,106$ і $0,138 \text{ м}$ – діаметр лопаті палі.

Для ІГЕ 5а: $\alpha_1 = 33,75$, $\alpha_2 = 19,5$ – безрозмірні коефіцієнти; $\varphi = 29^\circ$ – кут внутрішнього тертя ґрунту; $C_1 = 0,1 \text{ т/м}^2$ – питоме зчеплення з бокової поверхні; $\gamma_1 = 1,79 \text{ т/м}^3$ – середнє значення питомої ваги ґрунту, що залягає вище лопаті палі; h_1 – змінне за кресленнями палі в м – глибина залягання лопаті палі від природного рельєфу, а при плануванні території зрізанням – від рівня планування; $A = 0,0058$ і $0,0043 \text{ м}^2$ – проєкція площі лопаті за вирахуванням площі перерізу стовбура палі; $U = 0,34 \text{ м}$ – периметр стовбура палі; $r_i = 4,1 \text{ тнс/м}^2$ – розрахунковий опір ґрунту по

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

бічний поверхні стовбура палі; $H_i = 0$ м – довжина стовбура палі, зануреної у ґрунт; $d = 0,106$ і $0,138$ м – діаметр лопаті палі.

Питома вага ґрунту з урахуванням зважування льної дії води визначена за формулою

$$(\gamma_s - \gamma_w) / (1 + e) =$$

$$(2.65 - 1) / (1 + 0.54) = 1.07 \text{ т/м}^3;$$

де $\gamma_s = 2,65 \text{ т/м}^3$ – щільність частинок ґрунту; $\gamma_w = 1,00 \text{ т/м}^3$ – щільність води; $e = 0,54$ – коефіцієнт пористості.

Навантаження моделей фундаменту виконувалось згідно з вимогами [2]. Нагадаємо також,

що головна формула цих розрахунків базується на обчисленні, наведеному в документі [3].

Допустиме розрахункове вертикальне навантаження, що буде дозволено прикладати на кожну із паль за результатами розрахунків склало 23 т на стиск і 15,3 т на висмикування.

Результати

Випробування паль. Головний результат, від якого залежала можливість реалізації проекту, отримано під час випробування паль на навантаження стиску й висмикування. Отже, для отримання результуючих даних фактичної несучої здатності палі, були виконані випробування палі за схемою (рис. 7) на майданчику в ґрунтових умовах, які були наведені вище.

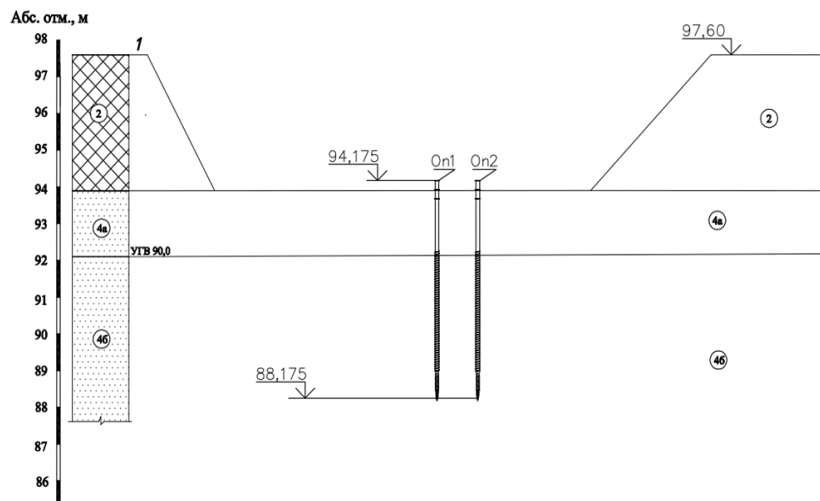


Рис. 7. Схема випробувальних паль

Fig. 7. Test pile diagram

Випробування статичними осьовими навантаженнями вдавлювання відбувалося в ґрунтах природної вологості. Навантаження гвинтової палі статичним осьовим навантаженням здійснювалося ступенями по 26 кН (перші три ступені навантаження – 52,0 кН) за допомогою гідравлічного домкрата ДГО–50, який встановлювався на палю і упирився в опорний стенд, закріплений на 4-х анкерних палях.

Випробування статичними осьовими навантаженнями висмикування відбувалося в ґрунтах природної вологості. Навантаження гвинтової палі статичним осьовим навантаженням висмикування здійснювалося ступенями по 16,0 кН (перші три ступені навантаження – 32 кН) за допомогою гідравлічного домкрата

ДГО–50, який встановлювався на інвентарний стенд із обпиранням на місцевий ґрунт.

Навантаження на палю визначалося за манометром з відповідним перерахуванням його показань тиску (кгс/см^2) на навантаження (кН).

Осідання палі при випробуванні фіксувалися з точністю 0,01 мм двома прогиномірами типу 6ПАТ, встановлених на реперних пристроях. Результати спостережень заносилися до журналу статичних випробувань палі, за даними яких побудований графік залежності осідання палі або виходу оголовка палі від навантаження $S = f(p)$ та графік зміни переміщення палі у часі ступенями навантаження $S = f(t)$ (рис. 8 і 9).

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

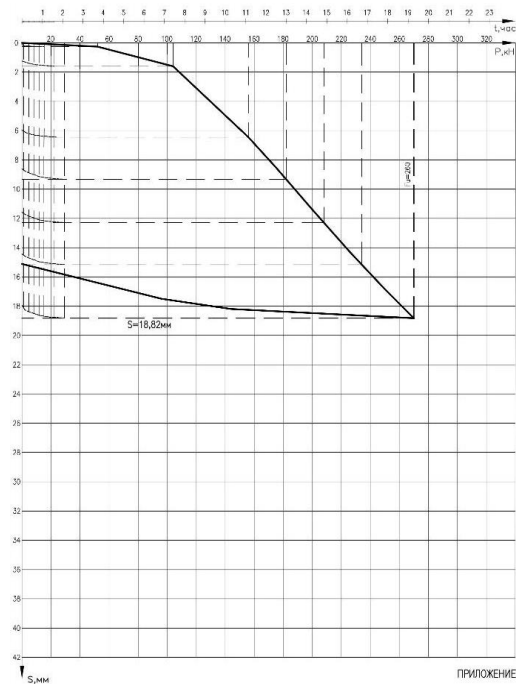


Рис. 8. Графік залежності осідання палі від навантаження вдавлювання та від часу

Fig. 8. Graph showing the dependence of pile settlement on the driving load and time

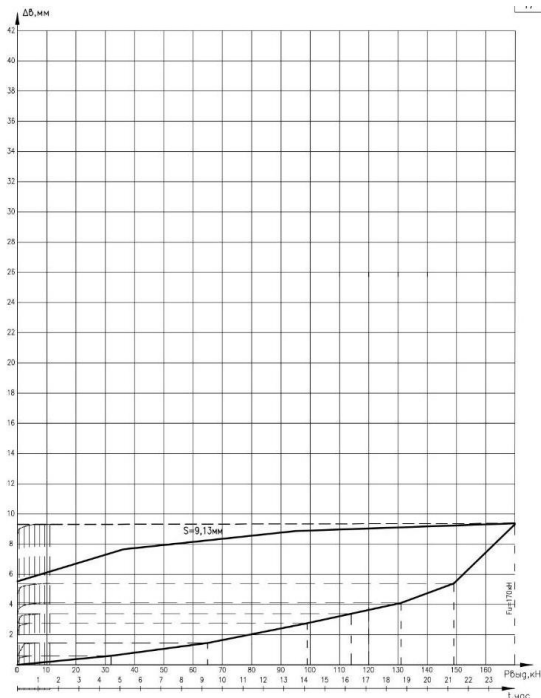


Рис. 9. Графік залежності виходу оголовка палі від навантаження висмикування та від часу

Fig. 9. Graph showing the dependence of pile head yield on pull-out load and time

Таким чином за результатами випробувань паль було отримано значення дозволеного розрахункового навантаження стиску (вдавлювання) й висмикування, які дорівнює:

$$N(\text{стиск}) = F_d \cdot \gamma_k = 27 / 1,2 = 22,5 \text{ тн};$$

$N(\text{висмикування}) = F_d \cdot \gamma_k = 17 / 1,2 = 14,1 \text{ тн}$, де коефіцієнт надійності $\gamma_k = 1,2$ згідно п. 8.5.2.24 за ДБН В.2.1–10–2018 зм.1 [3].

За отриманими результатами було доведено, що несуча здатність паль, по-перше, достатньо висока для того, щоб використовувати геошпунти для подібних конструктивних рішень, а, по-друге, відповідає результатам розрахунків і відповідно можна виконувати подальше будівництво фундаментів за розробленим робочим проектом.

Складнощі занурення. Всі палі вдалося занурити на проектну глибину, але в процесі виконання робіт будівельникам довелося зіштовхнутися з однією проблемою, а саме: оголовок палі за 20...50 см до проектною відмітки починав скручуватись через те, що металева труба починала втрачати стійкість (характерна картина показана на рис. 10). З'ясувалось, що для труби 108×4 мм в даних ґрунтових умовах глибина занурення 5,5 м – це гранична глибина, на яку можливо занурити палі такої конструкції з таким діаметром.



Рис. 10. Втрата стійкості оголовка палі під час занурення

Fig. 10. Loss of stability of the pile cap during immersion

Під час занурення паль на початковому етапі до глибини 5 м всі палі працювали без зауважень, але останні 0,5 метра в рівні оголовка

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

палі дуже помітно було скручування металу і деформація верхніх фланців відносно один одного. Причиною цього стали два фактори.

Перший – це конструктивне питання, яке полягало в тому, що оголовок палі було оснащено трьома фланцями для забезпечення жорсткого закріплення оголовка палі в тілі ростверку, але безпосередньо фланці кріпилися до стовбура палі за допомогою зварювання, яке було виконане перпендикулярно до поздовжньої осі палі та по факту виконувалась напівавтоматичним способом, тому матеріал оголовка палі був дещо послаблений у відношенні до стійкості зі скручування. Це питання вдалося вирішити за допомогою конструктивного рішення з підсилення оголовка палі додатковим пластинами з приварюванням до фланців (рис. 11).



Рис. 11. Підсилення оголовків паль

Fig. 11. Reinforcement of pile caps

Другий фактор – це питання самого напруження в тілі труби оголовка, через те, що в оголовку палі концентрується найвище напруження від скручування, яке формується по всій довжині стовбура палі через тертя її зовнішньої поверхні і спіральної лопаті з частками ґрунту, що її оточує. Справа полягає в тому, що в нормативній документації відсутні дані для розрахунків величини моменту на скручування від дії бічного тертя поверхні палі з оточуючим ґрунтом при зануренні палі методом закручування. Ті дані, які наведені в нормативній документації, зокрема в додатку Н за ДБН В.2.1–10–2018 зм. 1 [3], для визначення попередньої несучої здатності палі в ґрунті за рахунок тертя бічної поверхні з ґрунтом, дуже малі для такого розрахунку і не відображають реального рівня напруження, яке виникає в процесі занурення геопілопів.

Було підраховано, що величина моменту скручування оголовка палі в зазначених вище умовах сягала рівня 21...26 кН·м. Це напруження виникало в рівні кріплення палі до робочого органу з обертання палі, тобто в найвищій точці оголовка палі.

Таким чином, можна свідчити, що якби палі мала довжину до 7 м і її занурення потребувало б ще одного метра, то напевно б довелося збільшувати товщину стінки труби або підбирати новий переріз палі й змінювати технологічну лінійку на виробництві. Але завдяки цьому досвіду стало можливим попередньо визначити і дослідити більш-менш дійсні величини опору ґрунту на бічній поверхні палі під час занурення методом закручування. Це питання буде детально розглянуто в наступній публікації.

З'єднання з ростверком, технічний результат в цілому. У питанні з'єднання палі такої конструкції з монолітним ростверком несподіваних питань чи проблем не виникало. Можна тільки зазначити про набуття позитивного досвіду з точки зору виконання будівельних робіт і конструювання в проєктній документації палі такого типу.

З'єднання палі з монолітною конструкцією з метою забезпечення сумісної роботи конструкції фундаменту в цілому відбулося, по-перше, за рахунок конструкції самої палі, зокрема влаштування фланців в рівні оголовка палі, а, по-друге, в армокаркасі ростверку було передбачено відповідне армування, яке дозволило долучити палі до конструкції ростверку і забезпечило передачу зусиль від щогли через тіло ростверку на палі.

Фланці були приварені до оголовків палі і забезпечили з'єднання з бетоном ростверку, що дозволило сприймати вертикальні, тобто повздовжні для палі зусилля від щогли.

Діаметр палі, який дорівнює 108 мм ззовні, дозволив без перешкод втілити проєктні рішення щодо влаштування арматурного каркасу, який в свою чергу складався з окремих стрижнів і в'язався на будівельному майданчику (рис. 12 і 13). Обсяги робіт по влаштуванню і будівництву фундаменту в цілому зменшилися у порівнянні з випадками застосування класичних конструктивних рішень з влаштування подібних конструкцій (рис. 14).

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО



Рис. 12. Розміщення паль відносно нижньої сітки армокаркасу

Fig. 12. Placement of piles relative to the lower mesh of the reinforcement cage



Рис. 13. Розміщення паль в тілі просторового армокаркасу в цілому

Fig. 13. Placement of piles in the body of the spatial reinforced frame as a whole



Рис. 14. Масштаби будівельних робіт для різних рішень

Fig. 14. Scale of construction work for different solutions

Наукова новизна та практична значимість

Наукова новизна виконаної роботи полягає у тому, що вперше підтверджено відповідність результатів натурних випробувань та результатів теоретичних розрахунків несучої здатності паль зі спіральною безперервною лопаттю за ґрунтом з подальшим використанням в конструкції фундаменту.

Практична значимість полягає в тому, що стає можливим проектування фундаментних споруд з використанням геошурупів, а також стає можливим проектування безпосередньо самих паль з розумінням механіки їх роботи в процесі занурення і експлуатації.

Ця робота є першим змістовним прикладом повноцінного використання багатогвинтових паль зі спіральною лопаттю не просто як ідеї, а реального об'єкту проектування і будівництва пального фундаменту відповідальної споруди з досягненням високих показників міцності, стійкості і несучої здатності.

Висновки

На сьогоднішній день ще не розроблено типових рішень або навіть нормативних пропозицій для застосування подібного конструктивного рішення для проектування і спорудження фундаментних будов різних будівель і споруд через те, що цей напрямок має початковий рівень розвитку, звідси стає доречним зробити

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

висновок про створення багатьох індивідуальних рішень для кожного окремого випадку в будівництві.

Наведений приклад реалізації такого рішення показав, що це цілком робоча схема і, навіть базуючись тільки на цьому прикладі, стає можливим сформулювати певні висновки і подальшу перспективу застосування такого напрямку в проектуванні і будівництві пальових фундаментів із застосування багатогвинтових паль зі спіральною лопаттю (геошурупів):

- за результатами польових випробувань ґрунтів палями такого типу на навантаження стиску й висмикування були отримані достатньо високі показники несучої здатності конструкції гвинтових паль зі спіральною лопаттю, що дає обґрунтовану підставу враховувати лопаті в роботі висячих паль замість того, щоб вважати її дрібною нерівністю на поверхні палі або пристосуванням виключно для занурення самої палі;

- результати польових випробувань ґрунтів палями збіглися з теоретичними розрахунками, тому це позитивно з точки зору розрахунків фундаментів в цілому і надає можливість взагалі проектувати такі конструкції, застосовуючи їх ще до отримання натурних випробувань;

- завдяки цьому досвіду було виявлено, що занурення паль даного типу шляхом укручування дуже складне і відповідальне питання через силу тертя бічної поверхні палі з ґрунтом,

яке потребує досліджень з виводом правил відповідних розрахунків;

- з точки зору виконання будівельних робіт застосування саме такого типу паль дуже сильно впливає на терміни їх занурення, які виявились значно менші у порівнянні з забивними чи буровими палями, а механізми, що залучені для занурення геошурупів, значно менш масивні і дешевші у порівнянні з механізмами по зануренню забивних або бурових паль.

Одним з найважливіших питань щодо можливості застосування таких паль в складі капітальних конструкцій є те, що вони зроблені з металу з нанесенням гарячого цинкового покриття. Розрахунковий термін експлуатації паль згідно ДСТУ Б В.2.6–193 додатком К [5] складає не менше 40 років. По закінченню цього терміну допускається продовження терміну служби паль після контрольного заміру товщини і візуального огляду цинкового покриття.

Поєднання конструктивних рішень різного формату дає досить ефективний кінцевий результат, особливо зважаючи на потреби та виклики у сучасному будівництві.

З точки зору швидкості та простоти будівельних робіт по влаштуванню пальового поля, застосування багатогвинтових паль зі спіральною лопаттю (геошурупів) дають значну перевагу у порівнянні зі звичайними видами паль, такими як забивні та бурові.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Барабаш М. С., Сорока М. М., Сур'янінов М. Г. *Нелінійна будівельна механіка з ПК Ліра-САПР* : монографія. Київ : Екологія, 2018. 248 с.
2. *ДБН В.1.2-2:2006. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Навантаження і впливи. Норми проектування. Зі змінами № 1 та № 2*. [Чинний від 2007-01-01]. Київ : Мінрегіонбуд України, 2006. 11 с.
3. *ДБН В.2.1-10:2018. Основи і фундаменти будівель та споруд. Основні положення*. [Чинний від 2019-01-01]. Київ : Мінрегіонбуд України, 2018. 42 с.
4. *ДБН В.2.6-198:2014. Сталеві конструкції. Норми проектування. Зі зміною № 1*. [Чинний від 2015-01-01]. Київ : Мінрегіонбуд України, 2014. 18 с.
5. *ДСТУ Б В.2.6-193:2013. Захист металевих конструкцій від корозії*. Київ : Мінрегіонбуд України, 2013. 32 с.
6. Дубінчик О. І., Ільницький І. М. Методика розрахунку несучої здатності гвинтової палі зі спіральною лопаттю за ґрунтом. *Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика*. 2024. № 25. С. 53–64. DOI: <https://doi.org/10.15802/bttrp2024/303293>
7. Khidri M., Deng L. Field Lateral Behaviour of Full-Scale Screw Micropiles in Cohesive and Cohesionless Soils. *Geotechnical and Geological Engineering*. 2024. Vol. 42. P. 3711–3730. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10706-024-02753-0>
8. Khidri M., Liu C., Deng L. Numerical Analysis of Screw Micropiles Under Lateral Loads via BNWF Method. *Geotechnical and Geological Engineering*. 2025. Vol. 43, Iss. 2. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10706-024-03051-5>

9. Petrenko V., Bannikov D., Kharchenko V., Tkach T. Regularities of the deformed state of the geotechnical system «soil base – micropile». *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2022. Vol. 970. Article 012028. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/970/1/012028>
10. Soltani-Jigheh H., Zahedi P. Load Transfer Mechanism of Screw Piles in Sandy Soils. *Indian Geotech Journal*. 2020. Vol. 50. P. 871–879. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40098-020-00431-5>

O. I. DUBINCHYK^{1*}, I. M. ILNYTSKYI²

^{1*}Dep. «Transport Infrastructure», Ukrainian State University of Science and Technologies, SEI DIIT, Lazaryan St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (095) 582 14 88, e-mail o.i.dubinchyk@ust.edu.ua, ORCID 0000-0003-4059-2357

²Dep. «Transport Infrastructure», Ukrainian State University of Science and Technologies, SEI DIIT, Lazaryan St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (050) 566 93 40, e-mail ilnitskiy.igor@gmail.com, ORCID 0009-0003-7752-5817

The Latest Technologies in the Development and Practical Application of Helical Blade Screw Piles in Construction

Purpose. The purpose of the scientific article is to study the practical application of a screw pile with a spiral blade (geoscrew) in the construction of pile foundations, as well as the practical application of the principle methodology for calculating the bearing capacity of piles of this type. Analysis and assessment of the discrepancy between the actually obtained bearing capacity of piles based on the results of tests with static vertical loads in comparison with the calculated data. Experiment and creation of certain conclusions regarding the resistance of the soil in the process of immersion of piles in the form of friction on the lateral surface, the formation of certain conclusions regarding the level of such friction. Assessment of the level of labor intensity of construction work when using piles with a spiral blade in construction. **Methodology.** The materials presented for studying the features of structures are created on the basis of an implemented construction project for the construction of foundations for overhead power line supports using screw piles with a spiral blade. To create such a construction object with further scientific study of the features, research program and regulatory documentation for the design of building structures were used. As a result, an alternative design was developed and analyzed in relation to standard solutions for the construction of such foundations, namely screw piles with a spiral blade, combined with a reinforced concrete monolithic grillage. **Findings.** Results. The relevant data on the bearing capacity of piles were obtained, data on the level of soil resistance on the lateral surface of piles during their immersion, the methodology for theoretical calculation of piles was verified by full-scale tests for compressive and pulling loads. Information was obtained on the main design and calculation difficulties in the practical immersion of piles of this type. The experience of combining piles and grillage into one structure capable of taking on large loads and providing a reliable foundation for above-ground structures was studied. **Originality.** First, the correspondence of the results of field tests and the results of experimental theoretical calculations of the bearing capacity of piles with a spiral blade against the soil was confirmed. **Practical value.** It consists in the fact that on the basis of the study of this experience, answers to previously unknown questions on the calculation of geoscrews were obtained, which in turn makes it possible to design foundations using screw piles with a spiral blade.

Keywords: screw pile with a spiral blade; foundations of power transmission line supports; geoscrews; bearing capacity of pile; pile design; calculation scheme; theoretical calculations; field tests; soil resistance on the lateral surface

REFERENCES

1. Barabash, M. S., Soroka, M. M., & Surianinov, M. G. (2018). *Neliniina budivelna mekhanika z PK Lira-SAPR*. Kyiv: Ecology. (in Ukrainian)
2. *Systema zabezpechennya nadiynosti ta bezpeky budivel'nykh ob'yektiv. Navantagenia I vplyvi. Normi proektuvania, 11 DBN V.1.2-2:2006*. (2006). (in Ukrainian)
3. *Osnovy ta fundamente budivel ta sporud, 42 ДБН В.2.1-10:2018*. (2018). (in Ukrainian)
4. *Stalevi konstruktsiji. Normi proektuvanja, 18 DBN V.2.6-198:2014*. (2014). (in Ukrainian)
5. *Zakhyst metalhevykh konstruktsii vid korozii [Protection of metal structures against corrosion], 32 DSTU B V.2.6-193:2013*. (2013). (in Ukrainian)

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

6. Dubinchyk, O. I., & Ilnytskyi, I. M. (2024). Methodology for calculating the bearing capacity of a screw pile with a helical blade in soil. *Bridges and Tunnels: Theory, Research, Practice*, (25), 53-64.
DOI: <https://doi.org/10.15802/btrp2024/303293> (in Ukrainian)
7. Khidri, M., & Deng, L. (2024). Field Lateral Behaviour of Full-Scale Screw Micropiles in Cohesive and Cohesionless Soils. *Geotechnical and Geological Engineering*, (42), 3711-3730.
DOI: <https://doi.org/10.1007/s10706-024-02753-0> (in English)
8. Khidri, M., Liu, C., & Deng, L. (2025). Numerical Analysis of Screw Micropiles Under Lateral Loads via BNWF Method. *Geotechnical and Geological Engineering*, 43(2).
DOI: <https://doi.org/10.1007/s10706-024-03051-5> (in English)
9. Petrenko, V., Bannikov, D., Kharchenko, V., & Tkach, T. (2022). Regularities of the deformed state of the geotechnical system «soil base – micropile». *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 970.
DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/970/1/012028> (in English)
10. Soltani-Jigheh, H., & Zahedi, P. (2020). Load Transfer Mechanism of Screw Piles in Sandy Soils. *Indian Geotech Journal*, 50, 871-879. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40098-020-00431-5> (in English)

Надійшла до редколегії: 15.05.2025

Прийнята до друку: 18.09.2025