

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

УДК 624.01.046.2:624.15

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

^{1*} Кафедра «Транспортна інфраструктура», Український державний університет науки і технологій, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (095) 582 14 88, ел. пошта o.i.dubinchyk@ust.edu.ua, ORCID 0000-0003-4059-2357

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

МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ НЕСУЧОЇ ЗДАТНОСТІ ГВИНТОВОЇ ПАЛІ ЗІ СПІРАЛЬНОЮ ЛОПАТТЮ ЗА ГРУНТОМ

Мета. Метою наукової статті є вивчення та обґрунтування принципової методики розрахунку несучої здатності гвинтової палі зі спіральною лопаттю на підґрунті натурних випробувань дослідного зразка палі з використанням існуючих методів теоретичного розрахунку подібних паль. Визначення несучої здатності палі зі спіральною лопаттю за ґрунтом по першому граничному стану. Також метою є визначення певних закономірностей в моделюванні конструкції паль. **Методика.** В якості дослідного зразку застосовується палля з металевих елементів. Визначення теоретичної несучої здатності палі у вертикальному напрямку виконано з використанням формул і розрахункових даних із додатку Н.5 (ДБН В.2.1-10-2009, 2011). Принциповим рішенням є те, що несуча здатність палі досягається за рахунок зчеплення з ґрунтом кожної окремої лопаті, які в сумі відображають остаточно величину несучої здатності палі. **Результати.** За матеріалами занурення та досліджень статичними осьовими стискаючими та висмикувальними навантаженнями було випробувано шість дослідних паль. Було визначено розрахункові стискувальні, висмикувальні і горизонтальні навантаження, що допускаються на дослідні палі, занурені до проектною позначки та випробувані без замочування просадних ґрунтів. В даній роботі на базі досвіду доводиться можливість використання існуючих в нормативній документації розрахункових даних в якості обґрунтованого теоретичного розрахунку фундаментів на пальовій основі при проектуванні будівель і споруд в цілому з застосуванням паль зі спіральною лопаттю. **Наукова новизна.** Запропоновано уточнену математичну залежність для визначення несучої здатності гвинтової палі зі спіральною лопаттю за ґрунтом і підтверджено експериментальним шляхом можливість її використання. **Практична значимість.** Запропонована методика дає можливість обґрунтувати і використовувати гвинтові палі зі спіральною лопаттю для пальових фундаментів.

Ключові слова: гвинтова палля зі спіральною лопаттю; несуча здатність палі; дослідна палля; конструкція палі; розрахункова схема; теоретичні розрахунки; натурні випробування

Вступ

Безпосередньо експериментальний зразок, який досліджується в даній роботі належить до складової частини елемента будівельних конструкцій, зокрема до гвинтових паль, які призначені для застосування в складі фундаментів будинків та споруд (Dubinchuk, Petrenko, Ihpatenko, & Kildieiev, 2019; Дубінчик, Нафікова, & Кільдєєв, 2020; Тютюкін, Дубінчик, & Кільдєєв, 2022; Дубінчик, & Ільницький, 2023; Sedín, Volnianskyi, Kovba, Vikus, & Zahilskyi, 2023). Взагалі сама ідея застосування гвинтових паль не нова. Їх використання бере початок з 19-го століття, так само як і безліч варіантів конструкції паль даного типу. Головною рисою, яка об'єднує всі гвинтові палі між собою,

є наявність лопаті чи лопать на стволі палі, занурення якої передбачається виключно оберально-поступовими рухами. Також всі гвинтові палі мають декілька ключових, загальних для всіх конструкцій, переваг, такі як: занурення, переважно, відбувається легкою будівельною технікою; сам процес занурення відбувається без наявності ударів та вібрацій; відсутністю мокрих процесів на будівельному майданчику при зведенні пальового поля.

Класичний вигляд гвинтової палі включає відносно тонкий стовбур, обов'язково круглого перетину, на кінці якого розміщується гвинт діаметром, значно перевищуючим діаметр стовбура. Після занурення кінця палі в ґрунт, безпосередньо лопать гвинта стає головним робочим елементом палі та формує більшу частину

величини несучої здатності палі по ґрунту. Меншу частину несучої здатності палі формують сили тертя ґрунту по поверхні стовбура вище лопаті. Нещодавно на будівельних майданчи-

ках Європейського Союзу та України з'явилися гвинтові палі дещо іншого типу по відношенні до класичного вигляду конструкції, які ще називають «геошурупами» (рис. 1).

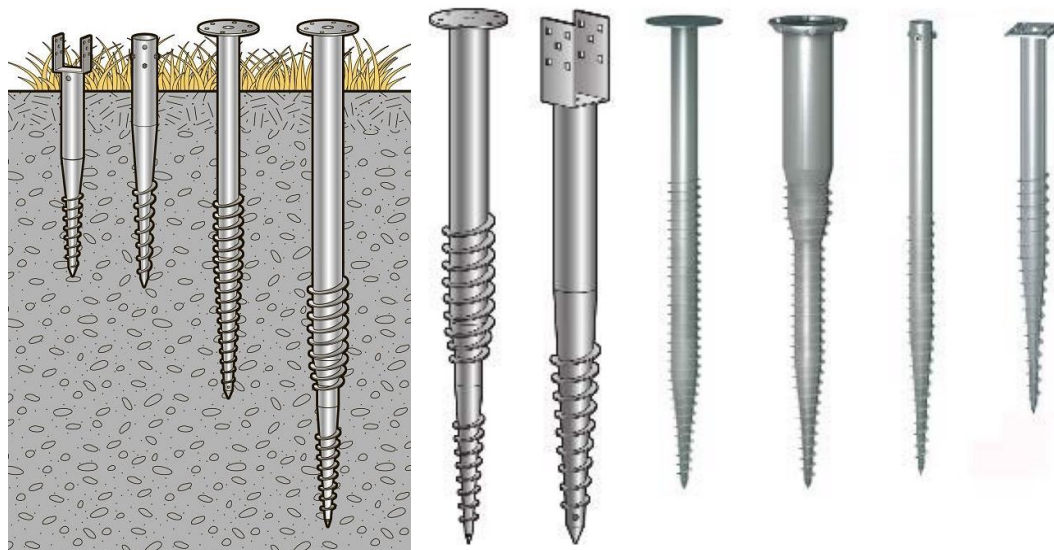


Рис. 1. Розповсюджені види гвинтових палей зі спіральною лопаттю

Палі подібної конструкції виникли в результаті потреби створення фундаменту для, так би мовити, не великих потреб, наприклад, фундаментів стійок стендів сонячних електростанцій або флагштоків чи стійок огорожі. З таким призначенням фундамент повинен налічувати одну палю, а її габарити не будуть великими через незначні зусилля від конструкцій, які спираються на них. Переваги таких фундаментів очевидні – швидкість монтажу, відсутність мокрих та брудних процесів, компактність та надійність.

Але при спорудженні цих фундаментів, як поодиноких палей, виникає питання щодо застосування подібних палей, як складової пального фундаменту в складі куца палей, об'єднаних ростверком і відповідно здатних витримувати більш високі та відповідальні навантаження. Наприклад, фундаменти опор естакади чи фундаменти опор надземних електричних ліній тощо. Перевагами є те, що не потрібно використовувати техніку з великими габаритами, відсутність вібрацій та мокрих процесів, малий об'єм ґрунтових робіт.

Проблема, через яку, наведені рішення не є розповсюдженими є те, що не існує достовірної методики розрахунку багатогвинтових палей зі спіральною лопаттю у нормативній документа-

ції, а щодо безпосередньо спіральної лопаті, то дуже часто її не сприймають як робочий елемент палі і використовують лише для занурення палі в ґрунт. Таке ставлення до лопаті відбувається через те, що її ширина і товщина не є достатньо великою, щоб це враховувати в розрахунках. Але існують відповідні результати випробувань, які наглядно свідчать про те, що несуча спроможність палей зі спіральною лопаттю набагато більша, ніж такої самої палі, але без неї, тобто спіральна лопать все ж таки працює.

Тим не менше обидва твердження є лише припущеннями, які з'ясовуються шляхом порівняння теоретичного розрахунку з натурними випробуваннями.

Загальна задача дослідження полягає в вивченні та розробці алгоритму розрахунку палей зі спіральною лопаттю за ґрунтом, тому, що в нормативній документації, та з огляду більшості наукових робіт чи статей присвячених питанню гвинтових палей, відсутні вказівки та прямі визначення стосовно розрахунку несучої здатності такого типу палей за ґрунтом (ДСТУ Б В.2.1-27: 2010, 2011; ДСТУ-Н Б 1997-1:2010, 2011). Необхідно дослідити та встановити прийнятні до застосування алгоритми та значення таких розрахунків, які в свою чергу треба підт-

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

вердити натурними випробуваннями.

Головне питання, яке треба розв'язати – це чи можливо вважати спіральну лопать взагалі працездатним елементом палі, чи її ефективність співвідносна до нерівної поверхні стовбура палі. Проблема полягає в незначній ширині лопаті, від 12 до 15 мм і хоча принцип розрахунку лопаті добре вивчено та розкрито у відповідній літературі (Винников, Муха, Яковлев, et al., 2002; ДБН В.2.1-10-2009, 2009; ДБН В.2.1-10-2009, 2011), повноцінного дослідження питання працездатності зазначеної спіралі не було.

Мета

Метою наукової статті є вивчення та обґрунтування принципової методики розрахунку несучої здатності гвинтової палі зі спіральною лопаттю на основі натурних випробувань дослідного зразка палі з використанням існуючих методів теоретичного розрахунку подібних паль. Визначення несучої здатності палі зі спіральною лопаттю за ґрунтом по першому граничному стану.

В даній роботі на базі досвіду, отриманого як результат співвідношення і порівняння теоретичного розрахунку з натурними випробуваннями, доводиться можливість використання існуючих в нормативній документації розрахункових даних в якості обґрунтованого теоретичного розрахунку фундаментів на палевій основі, при проектуванні будівель і споруд в цілому (з застосуванням паль зі спіральною ло-

паттю). Також метою є визначення певних закономірностей в моделюванні конструкції паль, на кшталт дослідного зразка.

Методика

Принципово алгоритм дослідження полягає в отриманні і в подальшому порівнянні двох невідомих величин несучої здатності палі. Одна з цих величин буде отримана методом теоретичного розрахунку, а друга методом натурального випробування палі статичними навантаженнями. Після порівняння отриманих результатів можливо буде підвести підсумки з можливими правками методології.

В якості дослідного зразка застосовується паля з металевих елементів, яка за конструкцією виконана з металеві труби $\varnothing 76 \times 3,5$ мм і тонколистового прокату у якості спіральної лопаті $t=2$ мм шириною 12 мм. Крок витків складає 50 мм. Безпосередньо ділянка розміщення лопаті не по всій довжині палі, а тільки на кінці палі в проміжку 650 мм. Загальна довжина палі складає 2500 мм. Оголовок палі виконується з листової сталі для можливості занурення палі за допомогою обертів. Наконечник стовбура виконується конічним і таким чином забезпечує можливість більш легкого занурення палі в ґрунт. З'єднуються елементи палі за допомогою електродугової зварки.

Конструкція дослідної палі більш детально зображена на рис. 2.

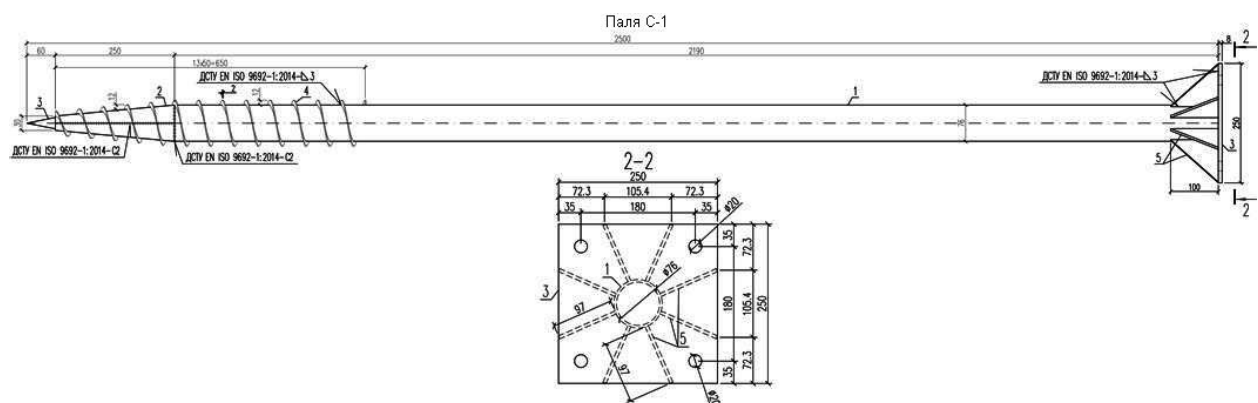


Рис. 2. Конструкція дослідної палі

Перед випробуваннями палі необхідно задати відповідними граничними умовами, яких буде необхідно дотримуватись:

– навантаження палі необхідно робити до критичних переміщень – 40 мм при дії N -стиск та 25 мм при дії N -вирив;

- навантаження палі слід виконувати ступенями, значення яких не повинно перевищувати 0,2 тс для N -стиск і N -вириг;
- показання по приладах краще знімати відразу після докладання чергового ступеня навантаження і далі з інтервалом 15 хвилин до умовної стабілізації деформацій;
- за умовну стабілізація деформацій треба враховувати швидкість переміщення палі, що не перевищує 0,1 мм на 1 год для N -стиск і 0,1 мм на 2 год для N -вириг;

Схема занурення дослідної палі С-1

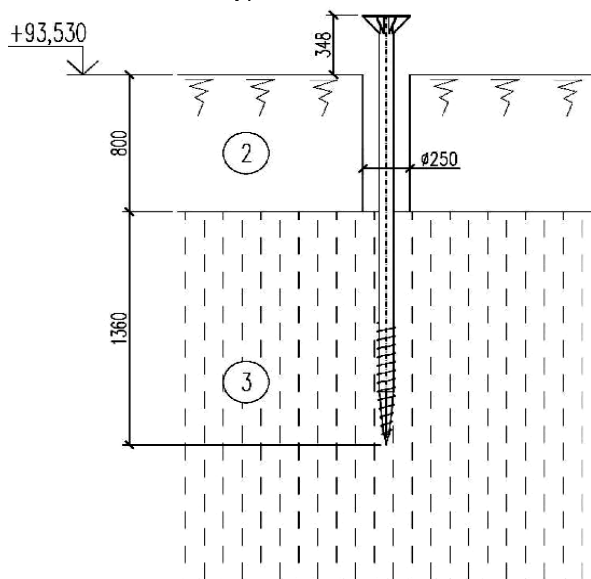


Рис. 3. Геологічна колонка ґрунтових умов випробування палі

Визначення теоретичної несучої здатності палі у вертикальному напрямку будемо визначати з використанням формул і розрахункових даних із додатку Н.5 (тут і надалі – ДБН В.2.1-10-2009, 2011). Принциповим рішенням, яке прийнято для отримання повноцінного результату є те, що несуча здатність палі досягається за рахунок зчеплення з ґрунтом кожної окремої лопаті, які в сумі відображають остаточну величину несучої здатності палі.

На рис. 4 і рис. 5 приведені розрахункові схеми до визначення несучої здатності палі. Вона визначається за формулою:

$$F_d = \sin \beta \sum [\gamma_c (\alpha_1 c_i + \alpha_2 \gamma_i h_i) A] + \gamma_c u f_i (h_i - d).$$

Для дослідної палі:

$\beta = 79^\circ$ – кут нахилу лопаті відносно вертикальної осі стовбура палі;

- верхній ґрунто-рослинний шар не слід долучати до роботи палі, що в свою чергу повинно досягатися вибурюванням свердловини більшого діаметру ніж паля на глибину шару ґрунту; також ґрунто-рослинний шар не долучається до роботи палі через те, що в нього немає відповідних розрахункових характеристик, які б було необхідно врахувати під час розрахунків (Зоценко, Коваленко, Яковлев, et al., 2004). Геологічна колонка і дані по ґрунтах приведені на рис. 3.

Умовні позначення.

- ② – ґрунто-рослинний шар – суглинок чорний, твердий с корінням рослин
- ③ – супісок лесовий, сірувато-жовтий, запісочений, твердий, макропористий, просіданий (2-й тип ґрунтових умов за просіданням), величина початкового просідного тиску 4.5 тнс/м²
 $E = 1090$ тнс/м² – модуль деформації;
 $P = 1.5$ тнс/м³ – об'ємна вага; $S_r = 0.277$ – ступінь вологості; $C = 1.6$ тнс/м² – питоме зчеплення по бічній поверхні;
 $\phi = 26^\circ$ – кут внутрішнього тертя;
 $\nu = 0.3$ – коефіцієнт Пуассона; $e = 0.73$ – коефіцієнт пористості.

$\gamma_c = 0,8$; $\gamma_c = 0,7$; $\gamma_c = 0,5$ – коефіцієнт умов роботи відповідно для стискувальних та висмикувальних навантажень за табл. Н.5.1;

$\alpha_1 = 23,1$; $\alpha_2 = 12,3$ – безрозмірні коефіцієнти, що приймається за табл. Н.5.2;

$c_i = 1,6$ тс/м² – питоме зчеплення ґрунту по боковій поверхні;

$\gamma_i = 1,5$ тс/м³ – середнє значення питомої ваги ґрунту, що залягає вище лопаті палі;

$h_i = 0,69$; $0,74$; $0,79$; $0,84$; $0,89$; $0,94$; $0,99$; $1,04$ м – глибина залягання лопаті палі від природного рельєфу, а при плануванні території зрізанням – від рівня планування;

$A = 0,0032$ м² – проекція площі лопаті за вирахуванням площі перерізу стовбура палі;

$u = 0,24$ м – периметр стовбура палі;

$f_i = 1,12$ тс/м² – розрахунковий опір ґрунту по бічній поверхні стовбура палі, що прийма-

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

ється за табл.Н.2.2;

$h_i = 0,69$ м – довжина стовбура палі, зануреної у ґрунт;

$d = 0,1$ м – діаметр лопаті палі.

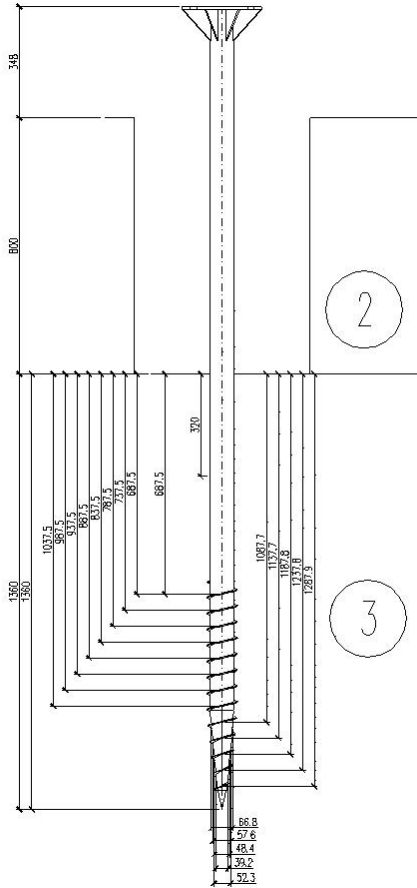


Рис. 4. Розрахункова схема стовбура палі

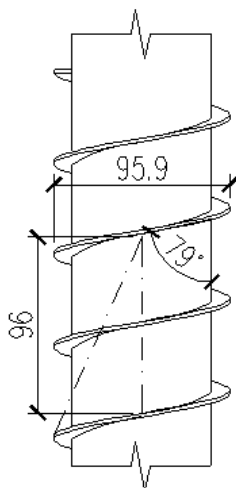


Рис. 5. Розрахункова схема лопаті палі

За запропонованою формулою були отримані наступні результати:

$$F_d \text{ (стиск) } 1 = 1,22 \text{ тс;}$$

$$F_d \text{ (стиск) } 2 = 0,55 \text{ тс;}$$

$$F_d \text{ (стиск)} = F_d \text{ (стиск) } 1 + F_d \text{ (стиск) } 2 = 1,77 \text{ тс;}$$

$F_d \text{ (висмикування)} = ((1,77 - 0,55)/0,8)0,7 = 1,07 \text{ тс}$ – без урахування роботи всієї лопаті на конусі та тертя по бічній поверхні стовбура на ділянці вище лопаті;

$F_d \text{ (знакозмінних)} = ((1,77 - 0,55)/0,8)0,5 = 0,76 \text{ тс}$ – без урахування роботи всієї лопаті на конусі та тертя по бічній поверхні стовбура на ділянці вище лопаті.

Результати

Отже для отримання результуючих даних фактичної несучої здатності палі, необхідно виконати випробування палі на майданчику в ґрунтових умовах, які були наведені вище (рис. 3). За матеріалами занурення та випробувань статичними осьовими стискаючими та висмикувальними навантаженнями було випробувано шість дослідних палей. Метою польових випробувань було визначення розрахункових стискавальних, висмикувальних і горизонтальних навантажень, що допускаються на дослідні палі, занурені до проектної позначки та випробувані без замочування просадних ґрунтів.

Занурення дослідних буро-гвинтових палей виконувалося в ґрунті природної вологості буровою установкою «АЗА-3» до проектної відмітки в лідерні свердловини діаметром 250 мм, пробурені на глибину 0,8 м (рис. 6).

З урахуванням програми випробувань комплекс експериментальних досліджень виконували у два етапи.

I етап – занурення буро-гвинтових палей БЗ-1, БЗ-2, БЗ-3 і випробування їх статичними навантаженнями:

БЗ-1 – осьовими висмикувальними навантаженнями;

БЗ-2, БЗ-3 – осьовими навантаженнями, що вдавлюють і висмикують, з подальшим їх вилученням.

II етап – занурення буро-гвинтових палей БЗ-4 і випробування їх статичними навантаженнями:

БЗ-4 – осьовими висмикувальними навантаженнями.

При проведенні випробувань дослідних паль статичними осьовими вдавлювальними навантаженнями, для сприйняття висмикувальних (реактивних) зусиль від дії домкрата на палю, застосовані анкерні гвинтові палі. Ці палі складаються із забурника діаметром 550 мм та по-

довжувачів діаметром 89 мм, з'єднаних між собою за допомогою спеціальних пальців. Кріплення гвинтових паль із балкою анкерного стелю виконано з допомогою спеціальних конструкцій.



Рис. 6. Занурення дослідних паль

Навантаження палі статичним осьовим вдавлювальним навантаженням здійснювалося ступенями по 2,00 кН за допомогою гідравлічного домкрата ДГО-50 (площа поршня домкрата – 113,097 см²), який встановлювався на палі і впирався в систему анкерної балки стелю, закріпленої на 4-х анкерних палях (рис. 7).

Навантаження на палю визначалося за манометром з відповідним перерахуванням його показань тиску кгс/см², на навантаження в кН (для цього домкрата навантаженню 2,00 кН відповідало 1,768 кгс/см²). Осідання паль при випробуванні фіксувалися двома прогиномірами 6ПАТ з точністю 0,01 мм, встановленими на реперних пристроях.

Навантаження паль статичними осьовими висмикувальними навантаженнями здійснювалося ступенями по 1,00 кН за допомогою гідравлічного домкрата ДГО-50, встановленого на балку по осі палі що упирається в конструкцію

натяжного пристрою. Висмикувальні зусилля на палю передавалися через спеціальний пристрій.

Навантаження на палю визначалося за манометром, з відповідним перерахуванням його показань тиску кгс/см² на навантаження в кН (для цього домкрата навантаженню 1,00 кН відповідало 0,884 кгс/см²).

Визначення нормативних граничних опорів паль, за результатами проведених випробувань, виконувалося за таких умов:

- при дії вертикального вдавлювального навантаження – за навантаженням попереднього зриву палі;
- при дії вертикального висмикувального навантаження – по навантаженню попереднього виходу палі 25 мм (зриву палі).

Графіки навантаження дослідних паль наведені нижче (рис. 8-13). Результати випробувань зведені у табл. 1.

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

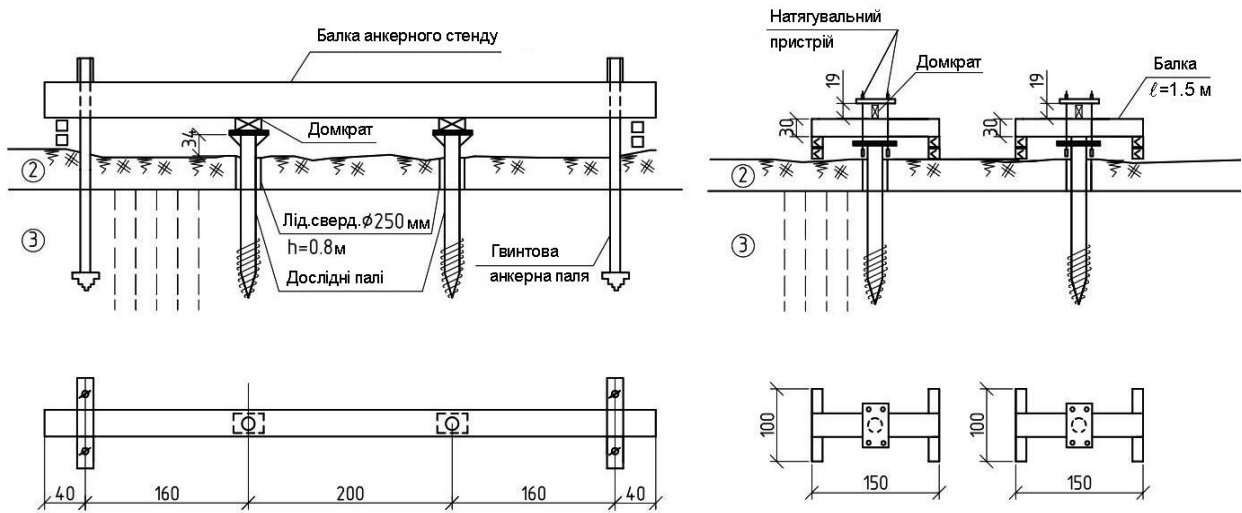


Рис. 7. Схеми установок для проведення випробувань дослідних палей статичними навантаженнями:
 а) вертикально-вдавлювальними; б) вертикально-висмикувальними

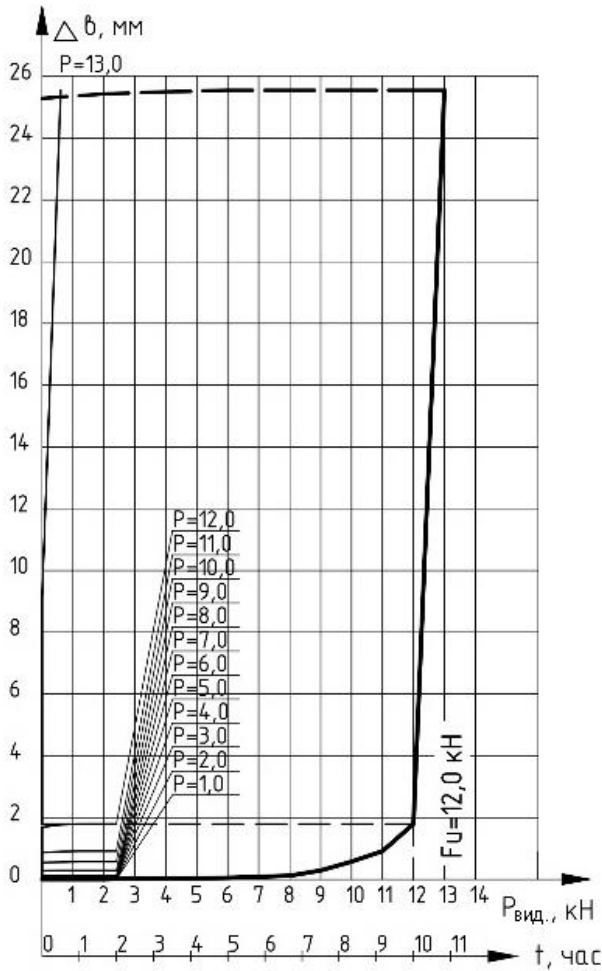


Рис. 8. Графік завантаження палі БЗ-1 висмикуванням

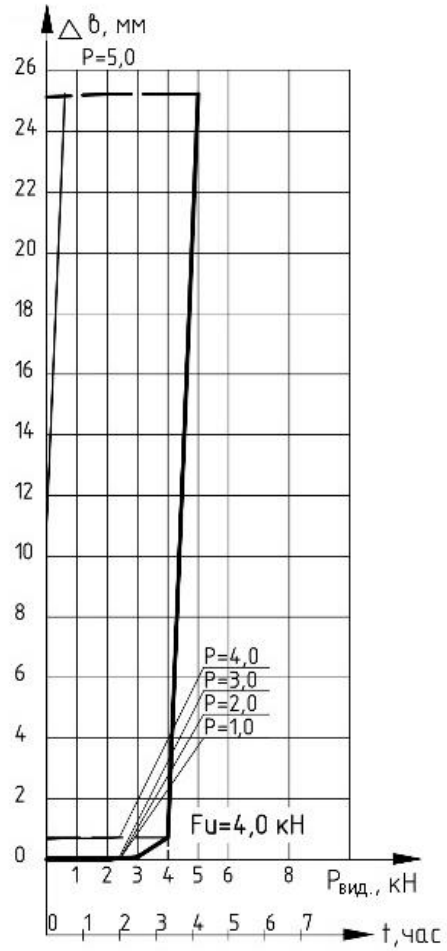


Рис. 9. Графік завантаження палі БЗ-2 висмикуванням

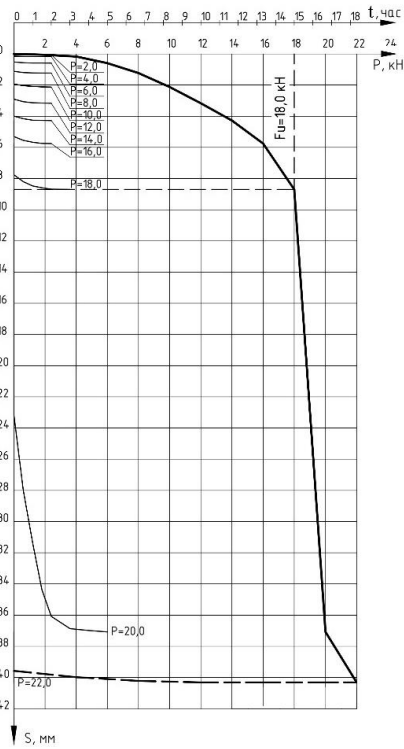


Рис. 10. Графік завантаження палі БЗ-2 вдавлюванням

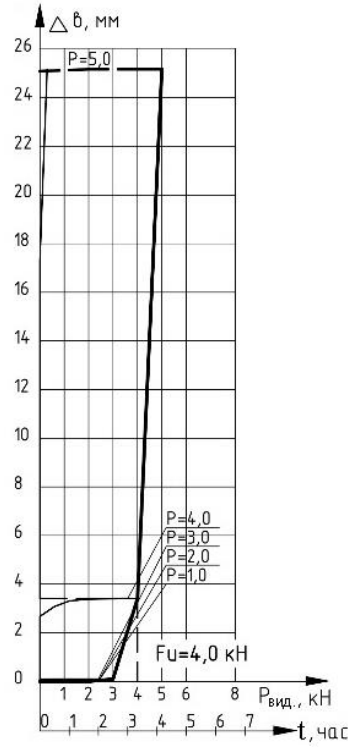


Рис. 11. Графік завантаження палі БЗ-3 висмикуванням

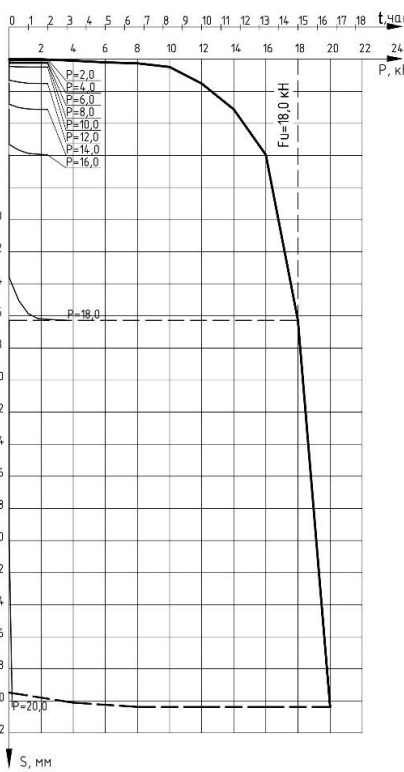


Рис. 12. Графік завантаження палі БЗ-3 вдавлюванням

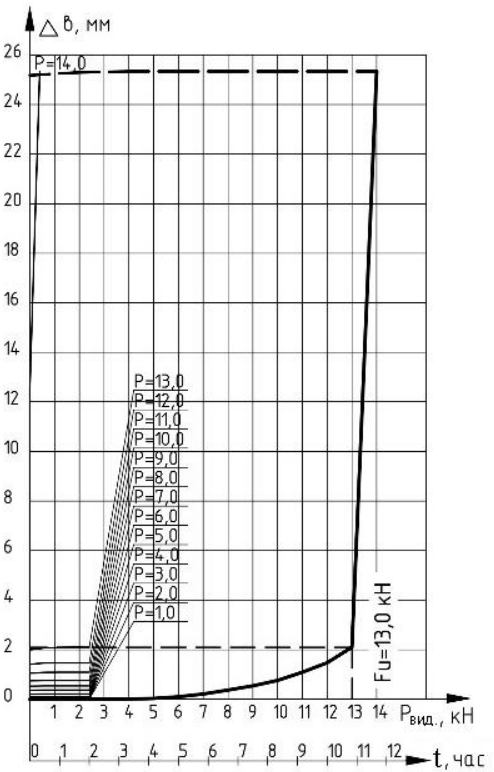


Рис. 13. Графік завантаження палі БЗ-4 висмикуванням

Результати випробувань дослідних паль

№ з/п	Позиція палі	Марка палі	Геометричні розміри палі, мм					Абсолютна відмітка, м		Глибина закладання нижнього кінця палі	Діаметр лідерної свердловини, м	Глибина лідерної свердловини, м	Номер шару і найменування ґрунту під нижнім кінцем палі
			Загальна довжина	Довжина конусу (вістря)	Довжина гвинтових лопатів	Діаметр стволу	Зовнішній діаметр гвинтової лопаті	Поверхній ґрунту навколо палі	Нижнього кінця палі				
1	БЗ-1	б/з	2500	310	650	76	100	93,53	91,37	2,16	250	0,8	ІГШ-3 супісок
2	БЗ-2	б/з	2500	310	650	76	100	93,53	91,37	2,16	250	0,8	ІГШ-3 супісок
3	БЗ-3	б/з	2500	310	650	76	100	93,53	91,37	2,16	250	0,8	ІГШ-3 супісок
4	БЗ-4	б/з	2500	310	650	76	100	93,53	91,37	2,16	250	0,8	ІГШ-3 супісок

Продовження таблиці 1

Позиція палі	Статичні випробування осьовим вдавлювальним навантаженням							Статичні випробування осьовим висмикувальним навантаженням				
	Максимальне навантаження на палю R_{max} , кН	Осідання, мм		Нормативний граничний опір палі F_u , $n=F_u$, кН	Осідання палі при навантаженні	Несуча здатність палі F_d , кН	Розрахункове навантаження, що допускається на палю P , кН	Максимальне навантаження на палю R_{max} , кН	Нормативний граничний опір палі F_u , $n=F_u$, кН	Несуча здатність палі F_d , кН	Розрахункове навантаження, що допускається на палю P , кН	
		при максимальному навантаженні	при розвантаженні									
БЗ-1	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
БЗ-2	22,0	40,31	39,58	18,0	8,70	18,0	15,0	5,0	4,0	2,4	2,0	
БЗ-3	20,0	40,37	39,48	18,0	16,28	18,0	15,0	5,0	4,0	2,4	2,0	
БЗ-4	–	–	–	–	–	–	–	14,0	13,0	7,8	6,5	

За результатами випробувань дослідних паль статичними навантаженнями, проведеними в ґрунтах природної вологості, несуча спроможність паль F_d , складає:

при дії статичних вдавлювальних навантажень

– паля БЗ-2 – F_d (стиск) = 1,8 тс

– паля БЗ-3 – F_d (стиск) = 1,8 тс

при дії статичних висмикувальних навантажень:

– паля БЗ-1 – F_d (висмикування) = 0,72 тс

– паля БЗ-4 – F_d (висмикування) = 0,72 тс

при дії статичних знакозмінних навантажень:

– паля БЗ-2 – F_d (знакозмінних) = 0,24 тс

– паля БЗ-3 – F_d (знакозмінних) = 0,24 тс.

Наукова новизна та практична значимість

Науковою новизною роботи є те, що вперше зіставлено результати натурних випробувань та результати розрахунку за ґрунтом паль зі спіральною безперервною лопаттю.

Практична значимість полягає в тому, що стає можливим обґрунтування відповідних висновків щодо методики розрахунку таких паль з подальшим формуванням прийнятої для робочого проєктування формули розрахунку.

Безпосередньо ця робота пропонує повноцінне використання багатогвинтових паль зі спіральною лопаттю не просто як ідею, а новий вид пальової основи з алгоритмом розрахунку основи в цілому, що в свою чергу дасть змогу виготовлення більш ефективних пальових фундаментів, щодо матеріальної та фінансової складової.

Висновки

На основі зіставлення результатів теоретичного розрахунку несучої здатності дослідної палі з даними, отриманими під час польових випробувань, зроблено висновок, що розрахунок на стискувальні навантаження практично повністю зійшовся з досягнутою величиною випробувань.

Однак розрахункова несуча здатність палі на висмикування дещо відрізняється від показників випробувань. В середньому похибка при чистому висмикуванні складає 33 %, тобто розрахункові значення завищені у порівнянні з результатом випробувань. Також при знакозмінних навантаженнях на палю розрахункові значення завищені на 68 % у порівнянні з випробуваннями.

На величину несучої здатності при висмикуванні дуже сильно, негативно з точки зору несучої здатності, впливає невелика глибина занурення палі, а також те, що верхній шар рослинного ґрунту був видалений лікерною свердловиною для отримання достовірних результатів на стиск. Тобто маса рослинного ґрунту в наведеній ситуації не в повній мірі бере участь у роботі палі при висмикуванні. Несуча здатність при висмикуванні залежить виключно від маси ґрунту, який розташований вище верхньої границі спіральної лопаті і міцність безпосередньо ґрунту впливає не значною мірою. Таким чином коефіцієнти умов роботи за табл. Н.5.1

для висмикування і знакозмінних навантажень треба приймати менше наведених в нормативному документі.

Підсумуємо: що застосований даним дослідженням алгоритм теоретичного розрахунку паль зі спіральною лопаттю за ґрунтом цілком підходить для застосування при розрахунках польових фундаментів, в яких застосовуються наведені типи паль. Водночас треба зауважити, що коефіцієнти умов роботи за табл. Н.5.1 для стискувальних навантажень цілком прийнятні, а для висмикування і знакозмінних навантажень треба зменшувати на певну величину.

Коефіцієнти умов роботи за табл. Н.5.1 потребують особливої уваги, в майбутньому необхідне з'ясування прийнятої розрахункової величини цих коефіцієнтів безпосередньо випробуваннями при будівництві або окремими польовими випробуваннями з урахуванням досвіду цієї роботи.

Що стосується головного питання – чи можливо вважати спіральну лопать взагалі працездатним елементом палі, або їх ефективність співвідносна до нерівної поверхні стовбура палі?

Спіральну лопать багатогвинтових паль з розміром ширини, починаючи з 12 мм, можна вважати повноцінним робочим елементом палі, який впливає на її несучу здатність. При розрахунках паль даного типу на несучу здатність при висмикуванні не можна включати до розрахункової величини роботу лопаті, розташованої на конічній частині стовбура палі, при висмикуванні ця частина лопаті не працює.

Під час проєктування фундаментів з використанням багатогвинтових паль зі спіральною лопаттю треба надавати перевагу роботі паль при виключенні знакозмінних навантажень, тобто або стиск, або висмикування. Робота паль даного типу в умовах знакозмінних навантажень потребує додаткового вивчення та дослідження.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- Dubinychk, O., Petrenko, V., Ihnatenko, D., & Kildieiev, V. (2019). *Comprehensive analysis of the retaining pile structure with the determining the stability factor by numerical methods*. E3S Web of Conferences 109, 00020. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201910900020>

- Sedin, V., Volnianskyi, Y., Kovba, V., Vikus, K., & Zahilskyi, V. (2023). *Numerical simulation of the stress-strain state of the base of the multi-helix screw pile at its static loading under full-scale test conditions*. AIP Conference Proceedings, 2678, 020019. DOI: <https://doi.org/10.1063/5.0120153>
- Винников, Ю. Л., Муха, В. А., Яковлев, А. В., et al. (2002). *Фундаменти будівель і споруд*. Київ: Урожай.
- ДСТУ Б В.2.1-27: 2010 (2011). *Палі. Визначення несучої здатності за результатами польових випробувань*. Київ: Мінрегіонбуд України.
- ДБН В.2.1-10-2009 (2009). *Основи та фундаменти споруд*. Київ: Мінрегіонбуд України.
- ДБН В.2.1-10-2009 (2011). *Зміна № 1. Основи та фундаменти споруд*. Київ: Мінрегіонбуд України.
- ДСТУ-Н Б 1997-1:2010 (2011). *Єврокод 7. Геотехнічне проектування. Частина 1 Загальні правила (EN 1997-1:2004, IDT)*. Київ: Мінрегіонбуд України.
- Зоценко, М. Л., Коваленко, В. І., Яковлев, А. В., et al. (2004). *Інженерна геологія. Механіка ґрунтів, основи та фундаменти*. Полтава: ПолтНТУ.
- Дубінчик, О. І., & Ільницький, І. М. (2023). *Застосування в будівництві багатозвинтової палі зі спіральною лопаттю*. Матеріали VI Всеукраїнської науково-практичної інтернет-конференції «Розвиток будівництва та житлово-комунального господарства в сучасних умовах», 163-166.
- Дубінчик, О. І., Нафікова, Ф. М., & Кільдєєв, В. Р. (2020). *Проектування основ і фундаментів будівель і споруд за нормами ДБН В.2.1-10-2018, ДСТУ-Н Б В.1.2-13:2008 і ДСТУ – Н Б EN 1997-1:2010*. Матеріали 80 Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту» присвяченої 90-річчю створення університету, 173-176.
- Тютюкін, О. Л., Дубінчик, О. І., & Кільдєєв, В. Р. (2022). *Проектування пальових фундаментів за нормами Єврокодів*. Матеріали VIII Міжнародної науково-практичної конференції «Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика», 46-47.

О. І. DUBINCHYK^{1*}, І. М. ILNYTSKYI²

^{1*} Department «Transport Infrastructure», Ukrainian State University of Science and Technologies, 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

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

METHOD FOR CALCULATING THE BEARING CAPACITY OF A SCREW PILE WITH A SPIRAL BLADE BY THE SOIL

Purpose. The purpose of the scientific article is to study and substantiate the principle methodology for calculating the bearing capacity of a screw pile with a spiral blade on the basis of field tests of a prototype pile using existing methods of theoretical calculation of similar piles. Determination of the bearing capacity of a pile with a spiral blade by the soil according to the first limit state. Also, the goal is to determine certain regularities in the modeling of pile structure. **Methodology.** A metal elements pile is used as a test sample. Determination of the theoretical bearing capacity of the pile in the vertical direction is conducted using formulas and calculation data from Appendix H.5 (DBN B.2.1-10-2009, 2011). The basic solution is that the load-bearing capacity of the pile is achieved due to the adhesion of each individual blade to the soil, which in total reflects the final value of the load-bearing capacity of the pile. **Findings.** Six experimental piles were installed and tested with static axial compressive and pullout loads. The estimated compressive, pullout and horizontal loads allowed for test piles, turned in to the design mark and tested without soaking subsoils, were determined. In this work, on the basis of experiments, the possibility of using the calculation data existing in the regulatory documentation as a justified theoretical calculation of pile-based foundations in the design of buildings and structures in general with the use of piles with a spiral blade is proven. **Originality.** A refined mathematical dependence for determining the bearing capacity of a screw pile with a spiral blade by the soil is proposed and the possibility of its use is confirmed experimentally. **Practical value.** The proposed method makes it possible to substantiate and use screw piles with a spiral blade for pile foundations.

Keywords: screw pile with a spiral blade; bearing capacity of the pile; experimental pile; pile structure; calculation scheme; theoretical calculations; field tests

REFERENCES

- Dubinchyk, O., Petrenko, V., Ihnatenko, D., & Kildieiev, V. (2019). *Comprehensive analysis of the retaining pile structure with the determining the stability factor by numerical methods*. E3S Web of Conferences 109, 00020. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201910900020> (in English)
- Sedin, V., Volnianskyi, Y., Kovba, V., Bikus, K., & Zahilskyi, V. (2023). *Numerical simulation of the stress-strain state of the base of the multi-helix screw pile at its static loading under full-scale test conditions*. AIP Conference Proceedings, 2678, 020019. DOI: <https://doi.org/10.1063/5.0120153> (in English)
- Vynnykov, Yu. L., Mukha, V. A., Yakovliev, A. V., et al. (2002). *Fundamenti budivel i sporud*. Kyiv: Urozhai. (in Ukrainian)
- DSTU B V.2.1-27: 2010 (2011). *Pali. Vyznachennia nesuchoi zdatnosti za rezultatamy polovykh vyprobuvan*. Kyiv: Minrehionbud Ukrainy. (in Ukrainian)
- DBN V.2.1-10-2009 (2009). *Osnovy ta fundamenti sporud*. Kyiv: Minrehionbud Ukrainy. (in Ukrainian)
- DBN V.2.1-10-2009 (2011). *Zmina # 1. Osnovy ta fundamenti sporud*. Kyiv: Minrehionbud Ukrainy. (in Ukrainian)
- DSTU-N B 1997-1:2010 (2011). *Yevrokod 7. Heotekhnichne proektuvannia. Chastyna 1 Zahalni pravyla (EN 1997-1:2004, IDT)*. Kyiv: Minrehionbud Ukrainy. (in Ukrainian)
- Zotsenko, M. L., Kovalenko, V. I., Yakovliev, A. V., et al. (2004). *Inzhenerna heolohiia. Mekhanika gruntiv, osnovy ta fundamenti*. Poltava: PoltNTU. (in Ukrainian)
- Dubinchyk, O. I., & Plynyskyi, I. M. (2023). *Zastosuvannia v budivnytstvi bahatohvyntovoi pali zi spiralnoi lopattiu*. Materialy VI Vseukrainskoi naukovo-praktychnoi internet-konferentsii «Rozvytok budivnytstva ta zhytlovo-komunalnoho hospodarstva v suchasnykh umovakh», 163-166. (in Ukrainian)
- Dubinchyk, O. I., Nafikova, F. M., & Kildieiev, V. R. (2020). *Proiektuvannia osnov i fundamentiv budivel i sporud za normamy DBN V.2.1-10-2018, DSTU-N B V.1.2-13:2008 i DSTU – N B EN 1997-1:2010*. Materialy 80 Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii «Problemy ta perspektyvy rozvytku zaliznychnoho transportu» prysviachenoj 90-richchiu stvorennia universytetu, 173-176. (in Ukrainian)
- Tiutkin, O. L., Dubinchyk, O. I., & Kildieiev, V. R. (2022). *Proiektuvannia palovykh fundamentiv za normamy Yevrokodiv*. Materialy VIII Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii «Mosty ta tuneli: teoriia, doslidzhen- nia, praktyka», 46-47. (in Ukrainian)

Надійшла до редколегії 11.03.2024.

Прийнята до друку 09.04.2024.