

УДК 624.21/8

Овчаренко О. А., канд. техн. наук, доц., <https://orcid.org/0000-0003-1906-7021>Фігаров В. С., <https://orcid.org/0000-0003-0478-3893>*Харківський національний автомобільно-дорожній університет (ХНАДУ), м. Харків, Україна*

АНАЛІЗ МЕТОДІВ ПРОЄКТУВАННЯ КОМБІНОВАНИХ ПАЛЬОВО-ПЛИТНИХ ФУНДАМЕНТІВ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ЇХ ЗАСТОСУВАННЯ У МОСТОВИХ КОНСТРУКЦІЯХ

Анотація

Вступ. Сучасне будівництво мостових конструкцій потребує вирішення різнопланових геотехнічних задач і розробки нових типів конструктивно надійних та економічно обґрунтованих фундаментів, у тому числі в складних інженерно-геологічних умовах. У світовій практиці будівництва мостових та інших споруд в останні десятиріччя однією з прогресивних розробок є комбінований пальово-плитний фундамент, де навантаження від споруди розподіляються між палями і плитою ростверку.

Проблематика. Одним із актуальних питань у практиці проєктування мостових споруд в Україні є розроблення економічно обґрунтованих і раціональних конструктивних рішень фундаментних систем, що особливо важливо у перспективі повоєнного відновлення цивільної інфраструктури країни. Так, комбіновані пальово-плитні фундаменти, які зарекомендували себе як альтернатива пальовим фундаментам зі значною економією бюджету на будівництво, ніколи не застосовувалися у проєктах мостів на території України.

Мета. Дослідити теоретичні передумови, наявні методи та світовий досвід проєктування комбінованих пальово-плитних фундаментів і оцінити можливість їх застосування в українській практиці проєктування та будівництва мостових споруд.

Результати. Протягом останніх десятиріч питаннями пальово-плитних фундаментів займалися зарубіжні та вітчизняні вчені, результатом чого є низка спрощених і детальних методів аналізу та проєктування, у тому числі із застосуванням сучасних потужних програмних комплексів, та, як наслідок, загальносвітова тенденція зростання кількості об'єктів із застосуванням такого типу фундаментів, у тому числі у мостових спорудах.

Висновки. Дослідження комбінованих пальово-плитних фундаментів мостових споруд та розвиток наукових основ їх розрахунку й проєктування є актуальним напрямом у механіці ґрунтів та фундаментобудуванні в українській практиці, а також у повоєнному відновленні України.

Ключові слова: мостові конструкції, осідання, паля, пальово-плитний фундамент, плита.

Вступ

Проєктування фундаментів мостових конструкцій це складний процес, який потребує врахування низки чинників, таких як вертикальні та горизонтальні навантаження (сили, моменти сил тощо), взаємодія між конструкцією мосту та фундаментом, інженерно-геологічні умови та інші.

Фундаменти мостових конструкцій поділяють на фундаменти мілкового закладання (стовпчасті фундаменти, плитні фундаменти тощо) та фундаменти глибокого закладання (переважно пальові фундаменти) [1].

Комбінований пальово-плитний фундамент це система, яка виконує функції передачі навантажень від споруди на ґрунтовий масив і складається з трьох складових, які мають несні функції: фундаментна плита, палі та ґрунтова основа. У випадках, коли плитні фундаменти не задовільняють проєктні вимоги з точки зору осідань у певних інженерно-геологічних умовах, доцільне використання пальових фундаментів. Проте, пальовий фундамент є дороговартісним проєктом рішенням. Так, комбінований пальово-плитний фундамент є обґрунтованим варіантом з конструктивної та економічної точок зору: додавання обмеженої кількості паль може збільшити

несну здатність системи та зменшити величини осідань порівняно з плитним фундаментом, та суттєво знизити вартість порівняно палювим.

Вибір ефективних рішень таких фундаментів залежить від багатьох чинників: особливостей ґрунтових умов, параметрів паль і кроку між ними, жорсткості плити, моделі основи і характеру взаємодії між палями, плитою і ґрунтом та ін.

Впродовж останніх десятиріч питаннями пальово-плитних та плитно-пальових фундаментів займалися вітчизняні та зарубіжні вчені, такі як Бойко І. П., Ван Імпе В., Віджжані Ч., Голубков В. М., Катценбах Р., Никитенко М. І., Носенко В. С., Поулос Г., Рендольф М., Ройль О., Самородов О. В., Сахаров В. О., Тугасенко Ю. Ф., Френке Е. та інші. Незважаючи на те, що наукові дослідження цієї теми ведуть з середини минулого сторіччя, найбільш ґрунтовні та точні результати були досягнуті починаючи з 1990-х років за допомогою комп'ютерного моделювання в спеціалізованих програмних комплексах. Результатом виконаних досліджень є ряд споруд по всьому світу, збудованих із застосуванням комбінованих пальово-плитних фундаментів: висотні будівлі Messeturm, Taunusturm, European Central Bank, мостові споруди для ділянки трас швидкісних поїздів Ганновер-Вюрцбург та багато інших.

Слід зазначити, що застосування комбінованих пальово-плитних фундаментів не є розповсюдженим в українській практиці геотехнічного проектування, більш того, даний тип фундаментів ніколи не застосовувався у проєктах мостових споруд. Причиною цього є відсутність необхідної нормативної бази, а також відповідного досвіду проектування серед широкого загалу українських інженерів.

Дана стаття розглядає теоретичні передумови, наявні методи та світовий досвід проектування комбінованих пальово-плитних фундаментів з огляду на можливість їх застосування в українській практиці проектування та будівництва мостових споруд.

Основна частина

Комбінований пальово-плитний фундамент (КППФ) це геотехнічна композитна конструкція, яка поєднує несну здатність фундаментних елементів (плити і паль) з урахуванням взаємодії між фундаментними елементами і ґрунтом [2].

Всього при роботі фундаментних конструкцій, що складаються з паль та плити, можуть відбуватись чотири типи взаємодії між фундаментом та ґрунтовым масивом (**рис. 1**): паля – ґрунт (взаємодія по типу 1)), плита – ґрунт (взаємодія по типу 2)), паля – паля (взаємодія по типу 3)), плита – паля (взаємодія по типу 4)).

При комбінованому пальово-плитному фундаменті, роботу якого відображено на **рис. 1 г**, окрім паль в роботу залучена фундаментна плита, що додає до взаємодії фундаменту з ґрунтовым масивом по типах «паля – ґрунт» і «паля – паля» (типи 1 і 3 відповідно) ще й взаємодію плити з ґрунтовым масивом «плита – ґрунт» (тип 2) і взаємодію плити з палями «плита – паля» (тип 4).

Основним критерієм оцінки взаємодії елементів є пальово-плитний коефіцієнт, який полягає у відношенні суми навантаження, що сприймає пальова складова, до загального навантаження від споруди, та описаний рівністю (2). Якщо цей коефіцієнт складає 0, то пальово-плитна система працює, як плитний фундамент, якщо 1 — як пальовий фундамент. Для того, щоб пальово-плитна система працювала, як комбінований пальово-плитний фундамент, повинна бути задоволена тотожність (3):

$$P_{tot} = P_r + \sum P_p, \quad (1)$$

де P_{tot} — загальне навантаження від споруди;
 P_r — навантаження, що сприймається плитою;
 $\sum P_p$ — сума навантажень, що сприймаються пальовою складовою.

$$\alpha_{pr} = \frac{\sum P_p}{P_{tot}}, \quad (2)$$

де α_{pr} — пальово-плитний коефіцієнт.

$$0 < \alpha_{pr} < 1. \quad (3)$$

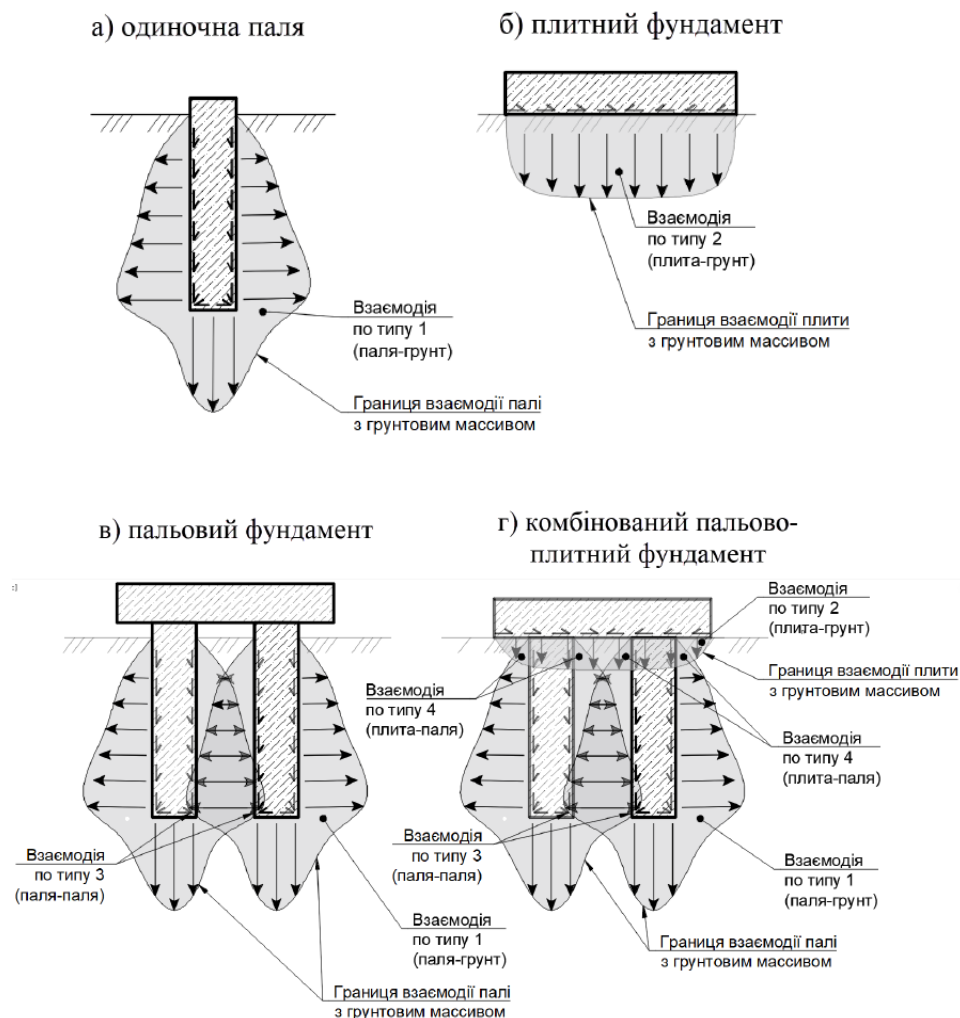


Рисунок 1 — Типи взаємодії між елементами фундаменту та ґрунтовим масивом

Кількісно роботу пильово-плитної системи можна описати залежністю пильово-плитного коефіцієнта до відношення осідання комбiнованого пильово-плитного фундаменту (S_{pr}) та осідання плитного фундаменту (S_r). Графічно цю залежність відображено на **рис. 2**.

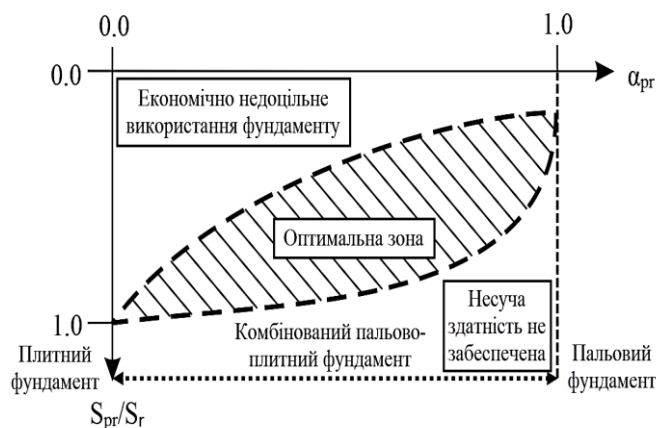


Рисунок 2 — Кількісне відображення роботи пильово-плитного фундаменту [2]

Основні переваги комбінованих пальово-плитних фундаментів

Серед основних переваг КППФ виділяють наступні:

- зменшення осідань та нахилу;
- підвищення несної здатності фундаментів;
- зниження згинального зусилля в плиті;
- зниження витрат;
- зменшення використовуваного матеріалу;
- зменшення викидів CO₂.

Класи пальово-плитних фундаментів та філософія їх проєктування

Розрізняють два класи пальово-плитних фундаментів [3]:

1. «Малі» пальово-плитні фундаменти, де основною причиною додавання паль є підвищення коефіцієнта міцності (зазвичай це стосується плит шириною від 5 м до 15 м).

2. «Великі» пальово-плитні фундаменти, несна здатність яких достатня щоб витримати прикладене навантаження з прийнятним запасом міцності, але палі потрібні для зменшення осідання або диференційованого осідання. У таких випадках ширина плити є великою порівняно з довжиною паль.

У [4] чітко визначені три різні філософії проєктування пальово-плитних фундаментів:

- «Класичний підхід», при якому палі сконструйовані як група, щоб нести основну частину навантаження, враховуючи при цьому певний внесок плити, насамперед у граничну несну здатність.
- «Повзучі палі», де палі розроблені для роботи під час навантаження, яке спричиняє значну повзучість, як правило, 70 – 80 % від граничної несної здатності. Передбачена достатня кількість паль, щоб зменшити контактний тиск між плитою та ґрунтом до рівня нижче тиску попереднього ущільнення ґрунту.
- Контроль диференційованого осідання, при якому палі розташовуються стратегічно, щоб зменшити диференціальне осідання, а не суттєво зменшити загальне середнє осідання.

Крім того, існує більш екстремальний варіант «повзучих паль», у якому використовується повна несна здатність паль, тобто деякі або всі палі працюють на 100 % своєї граничної несної здатності. Це породжує концепцію використання паль у першу чергу для зменшення осідань, у той час визнаючи, що вони також сприяють збільшенню граничної несної здатності всієї фундаментної системи.

Основні питання при розрахунках

Як і будь-яка фундаментна система, розрахунок пальово-плитного фундаменту вимагає врахування ряду питань, включаючи наступні:

1. Несна здатність з урахуванням дії вертикальних та бічних навантажень, та навантажень від дії моменту.
2. Максимальне осідання.
3. Диференціальні осідання.
4. Моменти та зсув плити для розрахунку плити.
5. Пальові навантаження та моменти для розрахунку паль.

У більшості доступної літератури увага акцентується на несній здатності та осіданні під дією вертикальних навантажень. Хоча це і є критично важливим аспектом, проте, інші питання також повинні бути розглянуті. Наприклад, у деяких випадках вимоги до паль можуть регулюватися перекидними моментами та прикладеними горизонтальними навантаженнями (наприклад, дія вітру), а не вертикальними постійними та тимчасовими [5].

Класифікація методів проєктування

За останні десятиріччя була розроблена низка методів проєктування пальово-плитних фундаментів, і деякі з них були підсумовані у [6]. Було визначено три широкі класи методів проєктування:

- Спрощені методи розрахунку.
- Наближені комп'ютерно-орієнтовані методи.
- Деталізовані комп'ютерно-орієнтовані методи.

До спрощених методів належать методи Поулоса та Девіса [7], Рендольфа [8], Ван Імпе та Клерка [9], та Берленда [10]. Усі вони передбачають ряд спрощень щодо моделювання ґрунтового профілю та умов навантаження на плиту.

За методом Поулоса-Девіса-Рендольфа (ПДР), який набув широкого розповсюдження, оцінка вертикальної несної здатності пальово-плитного фундаменту виконується за допомогою простих підходів, де гранична несна здатність може бути прийнята як менша з наступних двох величин:

- Сума несної здатності плити та паль.
- Гранична несна здатність блоку, який складається з паль та плити, а також частини плити, яка знаходиться за межами зовнішнього контуру паль.

Цей метод дозволяє швидко розрахувати залежність між кількістю паль та середнім осіданням фундаменту, а також оцінити можливість застосування підходу «повзучих паль».

Для оцінки використання паль з метою зменшення осідань, Берлендом [11] був запропонований метод оцінки впливу паль на осідання плити шляхом аналізу взаємодії навантаження-осідання під дією тривалого навантаження.

Спрощені методи розрахунку дозволяють оцінити окремі параметри пальово-плитних фундаментів та перспективність їх застосування у певних умовах, але для прийняття проєктних рішень треба застосовувати більш надійні, комп'ютерно-орієнтовані методи.

До наближених комп'ютерно-орієнтованих методів належать підходи «смуга на пружинах» та «плита на пружинах».

При підході «смуга на пружинах» (GASP), плита моделюється як серія опорних смуг, а палі — як пружини відповідної жорсткості. Метод Поулоса [10] є прикладом такого підходу. Цей метод потребує ряду спрощень для всіх чотирьох видів взаємодій у пальово-плитному фундаменті та обмежує використання нелінійних властивостей елементів лише вздовж довшого напрямку полос.

При підході «плита на пружинах» (GARP), плита моделюється як еластична пластина, палі — як пружини, а ґрунт — як еластичний простір. Методи Кленсі та Рендольфа [12], Поулоса [13], Віджжані [14] та інших є прикладами даного підходу. Незважаючи на ряд обмежень та спрощень, Поулосом [5] була встановлена задовільна збіжність результатів використовуючи ці методи із результатами за деталізованими комп'ютерно-орієнтованими методами.

Деталізовані комп'ютерно-орієнтовані методи дозволяють в повному обсязі враховувати всі типи взаємодії в пальово-плитному фундаменті. Ці методи побудовані на аналізі напружено-еластичної взаємодії дискретних елементів системи, яка складається із фундаменту та ґрунтового масиву. До деталізованих комп'ютерно-орієнтованих методів належать наступні:

- Методи граничних елементів, при яких плита, палі та контактний шар ґрунту є дискретними в границях визначеного середовища і використовують теорію еластичності для визначення параметрів пальово-плитного фундаменту. Такі методи були розроблені Баттерфілдом та Банерье [15], Брауном та Віснером [16] та ін.

- Методи, які поєднують граничні елементи для паль та скінченні елементи для плит, наприклад метод Френке [17];

- Спрощений аналіз методом скінченних елементів.

- Тривимірний аналіз методом скінченних елементів. Дослідження в цьому напрямку проводили Жуанг та ін. [18], Лі [19] та ін. Методику застосування тривимірного простору скінченних елементів (нелінійне середовище) для розрахунку пальово-плитних фундаментів розробив Катценбах та ін. [2]. Використання даного підходу звільняє від спрощень, які приймалися у описаних вище методах.

Таким чином, сучасні методи проєктування дають можливість виконати повний спектр необхідних розрахунків для оцінки надійності та проєктування комбінованих пальово-плитних фундаментів мостових конструкцій.

Порядок застосування методів проєктування на практиці

На практиці, проєктування пальово-плитного фундаменту раціонально проводити у три етапи:

1. Метод ПДР — для оцінювання приблизно необхідної кількості паль, щоб задовольнити загальну несну здатність і вимоги до осідання.

2. Спрощений підхід — для оцінювання максимального навантаження, яке може витримати плита без паль. Це забезпечить засіб оцінювання розташування паль для певної товщини плити, а також вимоги до таких паль.

3. Деталізоване моделювання для фінального проєктування фундаменту методом скінченних елементів у потужних програмних комплексах, таких як PLAXIS, ANSYS, ABAQUS, SOFISTIK, MIDAS та FLAC 3D, для отримання детальних результатів осідання та диференціального осідання за різних комбінацій навантажень, а також моделювання поведінки плити та паль [5].

Розташування паль буде залежати від схеми навантаження та наявності або відсутності концентрованих навантажень від колон. Як правило, пальі необхідні за відносно великих навантажень від колон, коли товщина плити недостатня для забезпечення необхідного опору зсуву та моменту, або коли місцеве осідання є надмірним. Крім того, наявність високих бічних навантажень, наприклад, від дії вітру, може вимагати розміщення паль біля країв плити, навіть якщо при нормальних експлуатаційних навантаженнях осідання біля країв незначне [5].

Для проєктування пальово-плитних фундаментів мостових конструкцій важливо отримати якісну оцінку геотехнічних параметрів ґрунтового профілю. У багатьох випадках це може включати використання відповідних кореляцій між значеннями результатів стандартного пенетраційного випробування (standard penetration test, SPT) або статичного зондування (cone penetration test, CPT) та модулем пружності і міцністю ґрунту. Декур [20] надає деякі корисні кореляції з даними SPT, і вони також узагальнені Поулосом [22], який описує ряд практичних застосувань пальово-плитних фундаментів.

Норми і нормативні документи

Методи розрахунку комбінованих пальово-плитних фундаментів не представлені в українських державних будівельних нормах та Єврокодах. Зазвичай для розрахунку використовується посібник ISSMGE Combined Pile-Raft Foundation Guideline, розроблений Катценбахом та ін. Наразі в Республіці Індія розроблений проєкт будівельних норм з пальово-плитних фундаментів «Draft Indian Standard Design and construction of combined piled raft foundations — Code of practice», який буде прийнятий найближчим часом.

Висновки

Протягом останніх десятиріч була розроблена низка підходів до проєктування пальово-плитних фундаментів та набраний банк досвіду проєктування із застосуванням потужних програмних комплексів, таких як PLAXIS, ANSYS, ABAQUS, SOFISTIK, MIDAS, FLAC 3D та інших, результатом чого є ряд споруд по всьому світу, у тому числі мостових, збудованих із застосуванням цієї геотехнічної системи.

З огляду на економічні переваги комбінованих пальово-плитних фундаментів та важливість повоєнного відновлення цивільної інфраструктури України, дослідження цього типу фундаментів у мостових спорудах та розвиток наукових основ їх розрахунку й проєктування є актуальним і перспективним напрямом у механіці ґрунтів та фундаментобудуванні в українській практиці.

Список літератури

1. Poulos, H. G. and Ameratunga, J. A practical approach to bridge foundation design. *Australian Geomechanics Journal*, 2022.
2. Katzenbach, R. and Choudhury, D. ISSMGE Combined Pile-Raft Foundation Guideline. Technische Universität Darmstadt. Darmstadt, Germany, 2013.
3. Viggiani, C. Analysis and Design of Piled Foundations. *1st Arrigo Croce Lecture, Rivista Italiana de Geot*, 2001. 47–75.
4. Randolph, M. F. Design Methods for Pile Groups and Piled Rafts. *Report, 13 ICSMFE*. New Delhi, 1994. 61–82.
5. Poulos, H.G. Method of analysis of piled raft foundations. Coffey Geoscience Pty, Ltd & University of Sydney, Australia. 2001.
6. Poulos, H. G., Small, J. C., Ta, L. D., Sinha, J. and Chen, L. Comparison of Some Methods for Analysis of Piled Rafts. *Proc. 14 ICSMFE*. Hamburg, 1997. 1119–1124.
7. Poulos, H. G. and Davis, E.H. Pile Foundation Analysis and Design. Wiley, New York, 1980.

8. Randolph, M. F. Design of Piled Foundations. Cambridge Univ. Eng. Dept., Res. Rep. Soils TR143. 1983.
9. Van Impe, W. F. and Clerq, L. A Piled Raft Interaction Model. *Geotechnica*, 1995. No.73, 1–23.
10. Burland, J. B. Piles as Settlement Reducers. Keynote Address. *18th Italian Congress on Soil Mechanics*, Pavia, Italy, 1995.
11. Poulos, H. G. Analysis of Piled Strip Foundations. *Comp. Methods & Advances in Geomechs.* Rotterdam, 1991. 183–191.
12. Clancy, P. and Randolph, M. F. Analysis and Design of Piled raft Foundations. *Int. J. NAM Geomechs*, 1993.
13. Poulos, H.G. An Approximate Numerical Analysis of Pile-Raft Interaction. *Int. J. NAM Geomechs*, 1994. 73–92.
14. Viggiani, C. Pile Groups and Piled Rafts Behaviour. *Deep Founds. on Bored and Auger Piles, BAP III*. Rotterdam, 1998. 77–90.
15. Butterfield, R. and Banerjee, P.K. The Elastic Analysis of Compressible Piles and Pile Groups. *Geotechnique*, 1971, 21(1). 43–60.
16. Brown, P. T. and Wiesner, T. J. The Behaviour of Uniformly Loaded Piled Strip Footings. *Soils and Foundations*, 1975, 15(4). 13–21.
17. Franke, E., Lutz, B. and El-Mossallamy, Y. Measurements and Numerical Modelling of High-Rise Building Foundations on Frankfurt Clay'. *Geot. Spec. Pub. 40, ASCE*. 1994. 1325–1336.
18. Zhuang, G. M., Lee, I. K., Zhao, X. H. Interactive Analysis of Behavior of Raft-Pile Foundations. *Proc. Geo-Coast '91*. Yokohama, 1991. 759–764.
19. Lee, I. K. Analysis and Performance of Raft and Raft-Pile Systems. Keynote Lect. *3rd Int. Conf. Case Hist. in Geot. Eng.* St. Louis (also *Res. Rep. R133, ADFA*. Univ. NSW, Australia), 1993.
20. Decourt, L. Predictions of Load-Settlement Relationships for Foundations on the Basis of SPT-T. *Ciclo de Conf. Int. "Leonardo Zeevaert"*. UNAM, Mexico, 1995. 85–104.
21. Poulos, H. G. Pile-Raft Interaction – Alternative Methods of Analysis. *Developments in Theor. Geomechanics*. Rotterdam, 2000. 445–468.

References

1. Poulos, H.G. and Ameratunga, J. A practical approach to bridge foundation design. *Australian Geomechanics Journal*, 2022 [in English].
2. Katzenbach, R. and Choudhury, D. ISSMGE Combined Pile-Raft Foundation Guideline. Technische Universität Darmstadt. Darmstadt, Germany. 2013 [in English].
3. Viggiani, C. Analysis and Design of Piled Foundations. *1st Arrigo Croce Lecture, Rivista Italiana de Geot*, 2001. 47–75 [in English].
4. Randolph, M.F. Design Methods for Pile Groups and Piled Rafts. *Report, 13 ICSMFE*. New Delhi, 1994. 61–82 [in English].
5. Poulos, H.G. Method of analysis of piled raft foundations. Coffey Geoscience Pty, Ltd & University of Sydney, Australia, 2001 [in English].
6. Poulos, H.G., Small, J.C., Ta, L.D., Sinha, J. and Chen, L. Comparison of Some Methods for Analysis of Piled Rafts. *Proc. 14 ICSMFE*. Hamburg, 1997. 1119–1124 [in English].
7. Poulos, H. G. and Davis, E. H. Pile Foundation Analysis and Design. Wiley, New York, 1980 [in English].
8. Randolph, M. F. Design of Piled Foundations. Cambridge Univ. Eng. Dept., Res. Rep. Soils TR143, 1983 [in English].
9. Van Impe, W. F. and Clerq, L. A Piled Raft Interaction Model. *Geotechnica*, 1995, No. 73. 1–23. [in English].
10. Burland, J. B. Piles as Settlement Reducers. Keynote Address. *18th Italian Congress on Soil Mechanics*. Pavia, Italy, 1995 [in English].
11. Poulos, H. G. Analysis of Piled Strip Foundations. *Comp. Methods & Advances in Geomechs*. Rotterdam, 1991. 183–191 [in English].
12. Clancy, P. and Randolph, M. F. Analysis and Design of Piled raft Foundations. *Int. J. NAM Geomechs*. 1993 [in English].

13. Poulos, H. G. An Approximate Numerical Analysis of Pile-Raft Interaction. *Int. J. NAM Geomechs*, 1994. 73–92 [in English].
 14. Viggiani, C. Pile Groups and Piled Rafts Behaviour. *Deep Foundations on Bored and Auger Piles, BAP III*. Rotterdam, 1998. 77–90 [in English].
 15. Butterfield, R. and Banerjee, P. K. The Elastic Analysis of Compressible Piles and Pile Groups. *Geotechnique*, 1971, 21(1). 43–60 [in English].
 16. Brown, P. T. and Wiesner, T. J. The Behaviour of Uniformly Loaded Piled Strip Footings. *Soils and Foundations*, 1975, 15(4). 13–21 [in English].
 17. Franke, E., Lutz, B. and El-Mossallamy, Y. Measurements and Numerical Modelling of High-Rise Building Foundations on Frankfurt Clay'. *Geot. Spec. Pub. 40, ASCE*. 1994. 1325–1336 [in English].
 18. Zhuang, G. M., Lee, I. K., Zhao, X. H. Interactive Analysis of Behavior of Raft-Pile Foundations. *Proc. Geo-Coast '91*. Yokohama, 1991. 759–764 [in English].
 19. Lee, I. K. Analysis and Performance of Raft and Raft-Pile Systems. Keynote Lect. *3rd Int. Conf. Case Hist. in Geot. Eng.* St. Louis (also *Res. Rep. R133, ADFA*. Univ. NSW, Australia), 1993 [in English].
 20. Decourt, L. Predictions of Load-Settlement Relationships for Foundations on the Basis of SPT-T. *Ciclo de Conf. Int. "Leonardo Zeevaert"*. UNAM, Mexico, 1995. 85–104 [in English].
 21. Poulos, H. G. Pile-Raft Interaction – Alternative Methods of Analysis. *Developments in Theor. Geomechanics*. Rotterdam, 2000. 445–468 [in English].
-

Oleksii Ovcharenko, Ph.D., Assoc. Prof., <https://orcid.org/0000-0003-1906-7021>

Vladyslav Fitarov, <https://orcid.org/0000-0003-0478-3893>

Kharkiv National Automobile and Highway University (KHNADU), Kharkiv, Ukraine

ANALYSIS OF DESIGN METHODS FOR COMBINED PILED RAFT FOUNDATIONS AND PROSPECTS OF THEIR APPLICATION IN BRIDGE STRUCTURES

Abstract

Introduction. Modern construction of bridge structures requires solving diverse geotechnical problems and developing new types of structurally reliable and economically reasonable foundations, including in complex geological conditions. In the world practice of construction of bridges and other structures in recent decades, one of the progressive developments is the combined piled raft foundation, where the loads from the structure are distributed between the piles and the raft.

Problem statement. One of the current issues in the practice of bridge structures design in Ukraine is the development of economically reasonable and rational design solutions for foundation systems, which is especially important in the perspective of the post-war restoration of the country's civil infrastructure. Thus, combined piled raft foundations, which have proven themselves as an alternative to pile foundations with significant savings in the construction budget, have never been used in bridge projects in Ukraine.

Purpose. To investigate the theoretical prerequisites, existing methods, and world experience in design of combined piled raft foundations and assess the possibility of their application in the Ukrainian practice of design and construction of bridge structures.

Results. Over the past decades, foreign and domestic scientists have been studying the issues of piled raft foundations, resulting in a number of simplified and detailed analysis and design methods, including those using modern powerful software packages, and, as a result, a global trend of increasing the number of facilities using this type of foundation, including in bridge structures.

Conclusions. The study of combined piled raft foundations for bridge structures and the development of scientific basics for their calculation and design is a relevant direction in soil mechanics and foundation construction in Ukrainian practice, as well as in the post-war reconstruction of Ukraine.

Keywords: piled raft foundation, settlement, raft, pile, bridge structures.