

Міністерство освіти і науки України  
Вінницький національний технічний університет

**І. В. Маєвська, Н. В. Блащук**

**РОБОТА ПАЛЬ І РОСТВЕРКУ  
У СКЛАДІ СТОВПЧАСТИХ ПАЛЬОВИХ  
ФУНДАМЕНТІВ**

Монографія

Вінниця  
ВНТУ  
2023

УДК 624.131:624.15

M12

Рекомендовано до друку Вченою радою Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки України (протокол № 5 від 29.12.2022 р.)

Рецензенти:

**Ю. Л. Винников**, доктор технічних наук, професор, НУ «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка».

**О. В. Самородов**, доктор технічних наук, професор, ХНУБА.

**Маєвська І. В.**

M12 Робота паль і ростверку у складі стовпчастих пальових фундаментів : монографія / І. В. Маєвська, Н. В. Блащук. – Вінниця : ВНТУ, 2023. – 182 с.

ISBN 978-966-641-941-8

Монографію присвячено оцінюванню НДС основ стовпчастих пальових фундаментів. Шляхом фізичного та чисельного моделювання встановлено основні закономірності залежності частки навантаження, що сприймають палі та ростверк таких фундаментів, від геометричних параметрів фундаменту, виду ґрунту основи і технології влаштування паль (без виймання та з вийманням ґрунту). Виявлена краща реалізація роботи бурових паль у групі у порівнянні з забивними. Висвітлені особливості поведінки пальових фундаментів з коротких паль і ресурси їх несучої здатності. Запропоновано при проектуванні пальових фундаментів враховувати ступінь реалізації несучої здатності паль і ростверку у складі фундаменту. Наведені кількісні залежності цих параметрів від різних факторів.

УДК 624.131:624.15

ISBN 978-966-641-941-8

© І. Маєвська, Н. Блащук, 2023

## ЗМІСТ

<b>Вступ</b> .....	5
<b>1 Аналіз сучасного стану питання з дослідження роботи пальових фундаментів з ґрунтовою основою</b> .....	7
1.1 Експериментальні дослідження сумісної роботи паль та низького ростверку у складі пальового фундаменту .....	7
1.2 Чисельне моделювання системи «палі – ростверк – основа».....	22
1.3 Практичні методи врахування роботи ростверку у пальовому фундаменті .....	23
<i>Висновки за розділом 1 та постановка задач дослідження</i> .....	27
<b>2 Фізичні модельні дослідження сумісної роботи елементів стовпчастих пальових фундаментів з основою</b> .....	29
2.1 Фізичне моделювання роботи стовпчастого пальового фундаменту з варіюванням кроку і довжини паль при сталій їх кількості.....	33
2.1.1 Планування фізичного моделювання роботи стовпчастого пальового фундаменту .....	34
2.1.2 Результати фізичного моделювання роботи стовпчастого пальового фундаменту .....	37
<i>Висновки за підрозділом 2.1</i> .....	54
2.2 Фізичне моделювання роботи пальових кущів з коротких та довгих паль.....	55
2.2.1 Планування фізичного моделювання роботи пальових кущів з коротких та довгих паль.....	55
2.2.2 Результати фізичного моделювання роботи пальових кущів з коротких та довгих паль.....	59
<i>Висновки за підрозділом 2.2</i> .....	65
<b>3 Чисельне моделювання НДС систем «ростверк – палі – основа»</b> ....	66
3.1 Обґрунтування вибору моделей систем «ростверк – палі – основа» ..	66
3.2 Моделювання НДС системи «фундамент – палі – основа» для стовпчастого пальового фундаменту при сталій кількості паль .....	77
3.2.1 Програма чисельного моделювання НДС системи «фундамент – палі – основа» для стовпчастого пальового фундаменту при сталій кількості паль.....	77

3.2.2	Результати моделювання НДС системи «фундамент – палі – основа» для стовпчастого пальового фундаменту при сталій кількості пальь.....	79
3.2.3	Аналіз впливу геометричних параметрів групи пальь, способу влаштування пальь та виду ґрунту на НДС системи «фундамент – палі – основа» для стовпчастого фундаменту зі сталою кількістю пальь.....	97
	<i>Висновки за підрозділом 3.2</i> .....	104
3.3	Моделювання впливу різних факторів на НДС системи «фундамент – палі – основа» для стовпчастого пальового фундаменту .....	105
3.3.1	Програма чисельного моделювання впливу різних факторів на перерозподіл зусиль між елементами стовпчастого пальового фундаменту.....	105
3.3.2	Результати чисельного моделювання впливу різних факторів на перерозподіл зусиль між елементами стовпчастого пальового фундаменту .....	109
	<i>Висновки за підрозділом 3.3</i> .....	135
<b>4</b>	<b>Аналіз зміни перерозподілу зусиль між елементами пальового фундаменту при зростанні навантаження.....</b>	<b>136</b>
4.1	Аналіз розвитку перерозподілу зусиль між елементами пальового фундаменту по мірі зростання навантаження при фізичному моделюванні .....	137
4.2	Аналіз розвитку перерозподілу зусиль між елементами пальового фундаменту по мірі зростання навантаження при математичному моделюванні .....	143
	<i>Висновки за розділом 4</i> .....	150
<b>5</b>	<b>Особливості роботи пальових кущів з коротких пальь .....</b>	<b>151</b>
5.1	Програма та методика математичного моделювання роботи пальь різної довжини в умовах різних ґрунтових умов.....	151
5.2	Результати математичного моделювання роботи стовпчастого пальового фундаменту з коротких та довгих пальь .....	153
	<i>Висновки за підрозділом 5.2</i> .....	163
<b>6</b>	<b>Методика врахування сумісної роботи пальь і ростверку у складі пальового куща .....</b>	<b>164</b>
	<b>Загальні висновки</b> .....	<b>173</b>
	<b>Список використаних джерел</b> .....	<b>176</b>

## ВСТУП

Застосування паль в якості фундаментів промислових та цивільних будівель дозволяє майже виключити земляні роботи та механізувати процес влаштування фундаменту. В будівництві при влаштуванні пального фундаменту виникає потреба в значних витратах, що призводить до збільшення вартості будівництва в цілому.

Існуючі методи розрахунку палових фундаментів досить умовні. В їхню основу не в достатній мірі закладено аналіз механічних процесів, що виникають при їхньому навантаженні. Саме тому розміри палових фундаментів визначаються розрахунком за принципом простого складання несучих здатностей одиночних паль, хоча гранична несуча здатність пального фундаменту не є простим додаванням граничних несучих здатностей одиночних паль. Великою кількістю дослідів встановлено, що у складі пального фундаменту частина навантаження передається на палі, а частина – на ростверк, навантаження між палями розподіляється нерівномірно. Чинні на території України нормативні документи рекомендують враховувати роботу ростверку як реакцію ґрунтової основи під подошвою, але і такий підхід не дозволяє адекватно врахувати роботу ростверку у складі пального фундаменту.

В результаті врахування роботи елементів пального фундаменту відбувається зменшення вартості фундаменту в цілому. Ці обставини зумовлюють доцільність та актуальність подальшого дослідження напружено-деформованого стану пального фундаменту та його складових частин при роботі з ґрунтовою основою.

Створення розрахункової моделі ґрунтової основи, що забезпечує достатню відповідність між результатами розрахунку і роботою натурних паль – все ще одна із найважливіших проблем фундаментобудування. Одним з програмних комплексів, в якому можна реально змоделювати ґрунтове середовище навколо палі є Plaxis, який розроблений на основі методів скінчених елементів та умов просторової задачі.

У цій монографії представлені результати дослідження сумісної роботи паль і ростверку у складі стовпчастих палових фундаментів шляхом фізичного та математичного моделювання палових фундаментів з різними геометричними параметрами та в різних ґрунтах. Варіювався також спосіб влаштування палі (без виймання або з вийманням ґрунту).

У першому розділі проаналізований експериментальний досвід і методи урахування роботи складових частин палових фундаментів, запропоновані іншими авторами.

Другий розділ присвячений дослідженню напружено-деформованого стану пальових фундаментів шляхом фізичного моделювання.

У третьому – п'ятому розділах представлені результати математичного моделювання систем пальовий фундамент – основа за допомогою програмного комплексу Plaxis з варіюванням різних параметрів.

У шостому розділі запропонована методика врахування сумісної роботи паль і ростверку у складі пальового куща.

При написанні монографії використані матеріали магістерських дисертацій студентів ВНТУ К. А. Чобанової, О. М. Малишева, С. О. Цимбала, Ю. О. Кремінської, Я. М. Кримняка, В. В. Колібаби, Є. О. Шевчука, виконаних під керівництвом авторів монографії.

Автори будуть вдячні читачеві за зауваження і згодні разом з Вами працювати над удосконаленням методик розрахунку та проектування пальових фундаментів.

# 1 АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ПИТАННЯ З ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ ПАЛЬОВИХ ФУНДАМЕНТІВ З ГРУНТОВОЮ ОСНОВОЮ

## 1.1 Експериментальні дослідження сумісної роботи паль та низького ростверку у складі пальового фундаменту

Дослідженнями закономірностей взаємодії паль і пальових фундаментів з ґрунтовими основами займалися В. М. Голубков, Б. І. Далматов, А. О. Бартоломей, Б. В. Бахолдін, В. Н. Бронин, А. В. Вронський, Н. М. Дорошкевич, Ф. К. Лапшин, В. Н. Морозов, Є. Е. Девальтовський, В. В. Знаменський, І. В. Песков і багато інших. Питанням вивчення роботи ростверку в складі пальового фундаменту присвячені роботи Н. М. Дорошкевич, К. С. Заврієва, М. І. Нікітенка, И. І. Орленка, Ю. Н. Платонова, І. І. Сахарова, В. Д. Яблочкова, В. О. Сернова, І. П. Бойка, О. В. Самородова, В. Л. Седіна, В. Л. Підлущького, Р. К. Ковальського, А. М. Рузаєва та інших.

Визначення несучої здатності паль та пальових фундаментів проводиться наближеними методами [12, 16], які не враховують цілий ряд особливостей взаємодії паль з навколишнім ґрунтом. Визначення несучої здатності паль в польових умовах при статичному навантаженні має в більшості випадків недолік – вона визначається за критерієм граничної деформації будівель. Такі ж недоліки, які мають місце при визначенні несучої здатності одиночної палі, присутні і при визначенні несучої здатності паль в групі. Тут до того ж додається ефект сумісної роботи паль між собою і з ростверком, який також був досліджений ще далеко не в повній мірі.

Голубков В. М. у Одеському інженерно-будівельному інституті (1950-1966) встановив залежність осідання паль і пальових фундаментів від навантаження на базі аналізу спільної роботи їх із ґрунтом основи. В склад цього аналізу покладені результати польових натурних досліджень, що дозволили виявити принципову схему взаємодії між зовнішніми і внутрішніми силами, що діють у межах зони деформації, що формується під палями і пальовими фундаментами. В експериментах Голубкова В. М. лише незначна частина навантаження передавалась через подошву ростверку. Це пояснюється тим, що на дослідному майданчику були присутні значної потужності слабкі ґрунти, а розміри ростверку незначні в плані. Згідно з дослідженнями Голубкова В. М. ростверк вступає в роботу з ґрунтом і передає на ґрунт навантаження, величина якого пропорційна модулю деформації ґрунту під подошвою фундаменту і осіданню фундаменту.

Велика кількість експериментів з вивчення роботи низького ростверку у складі пальового фундаменту з використанням оптичного методу вимірювання напружень була проведена на кафедрі «Механіки ґрунтів, основ та фундаментів» Московського інженерно-будівельного інституту під ке-

рівництвом Н. М. Дорошкевич в 1958 р. Оброблення отриманих експериментальних результатів дало змогу Дорошкевич Н. М. встановити, що:

- ростверк включається в роботу після певного обтиснення верхніх шарів ґрунту;

- через підшову ростверку основі передається 10-20% загального навантаження на фундамент;

- ґрунт у міжпальовому просторі переміщується разом з палями, тому опір тертю на бічній поверхні внутрішніх паль незначний;

- палі переносять зовнішнє навантаження на ґрунти, що залягають у площині нижче їх вістря, завдяки чому напружена зона ґрунту навколо пальового фундаменту розповсюджується на значно більшу глибину, ніж для фундаментів мілкового закладання;

- розміри напруженої зони ґрунту в основі пальового фундаменту залежать від його розмірів в плані, що збігається з теоретичними висновками.

В 1966 році Сальніковим Б. О. були проведені експерименти з вивчення роботи низького ростверку в слабких глинистих ґрунтах, за результатами яких на ростверк приходилось близько 15% від несучої здатності фундаменту.

Дослідження траєкторії руху частинок ґрунту в основі паль і ростверку були проведені Кондрашовим В. О. (1970) на моделях забивних паль у ґрунтовому лотку з прозорою передньою стінкою. Варіювались крок паль, їх довжина і тип ростверку (рис. 1.1). При осіданні групи паль без ростверку деформації міжпальового ґрунту відбуваються в безпосередній близькості від бічної поверхні та під нижніми кінцями паль. Ґрунт міжпальового простору не осідає (рис. 1.1 а, 1.1 в, 1.1 д). При осіданні пальового фундаменту з низьким ростверком в роботу включається міжпальовий ґрунт (рис. 1.1 б, 1.1 г, 1.1 е). Максимальні осідання основи в міжпальовому просторі спостерігаються безпосередньо під ростверком і з глибиною затухають, як під фундаментом на природній основі. Порівнюючи епюри деформації ґрунту (рис. 1.1), можна зробити висновки, що при відношенні довжини палі до поперечнику  $L/d = 10$  і кроці паль  $a = 3d$  в міжпальовому просторі затухає близько половини напружень від взаємодії ростверку з ґрунтом. Інша половина створює додаткове привантаження в рівні нижніх кінців паль і повинна бути врахована при розрахунку осідання паль. При відношенні  $L/d = 20$  напруження від взаємодії ростверку з основою повністю затухають в міжпальовому просторі. В такому випадку можна вважати, що група паль і ростверк працюють окремо.

В лабораторії пальових фундаментів НДІОСП Д. Є. Разводовским і В. О. Кондрашовим під керівництвом проф. Б. В. Бахолдіна були випробувані групи з трьох модельних паль довжиною 0,7 м (рис. 1.2) і трьох натурних паль довжиною 4,2 м (рис. 1.3) з глибинними марками. З цих рисунків видно, що при передачі навантаження через ростверк максимальні деформації основи відбуваються безпосередньо під підшовою ростверку і з



глибиною затухають. У такому випадку відбувається проковзування бічної поверхні палья відносно ґрунту.

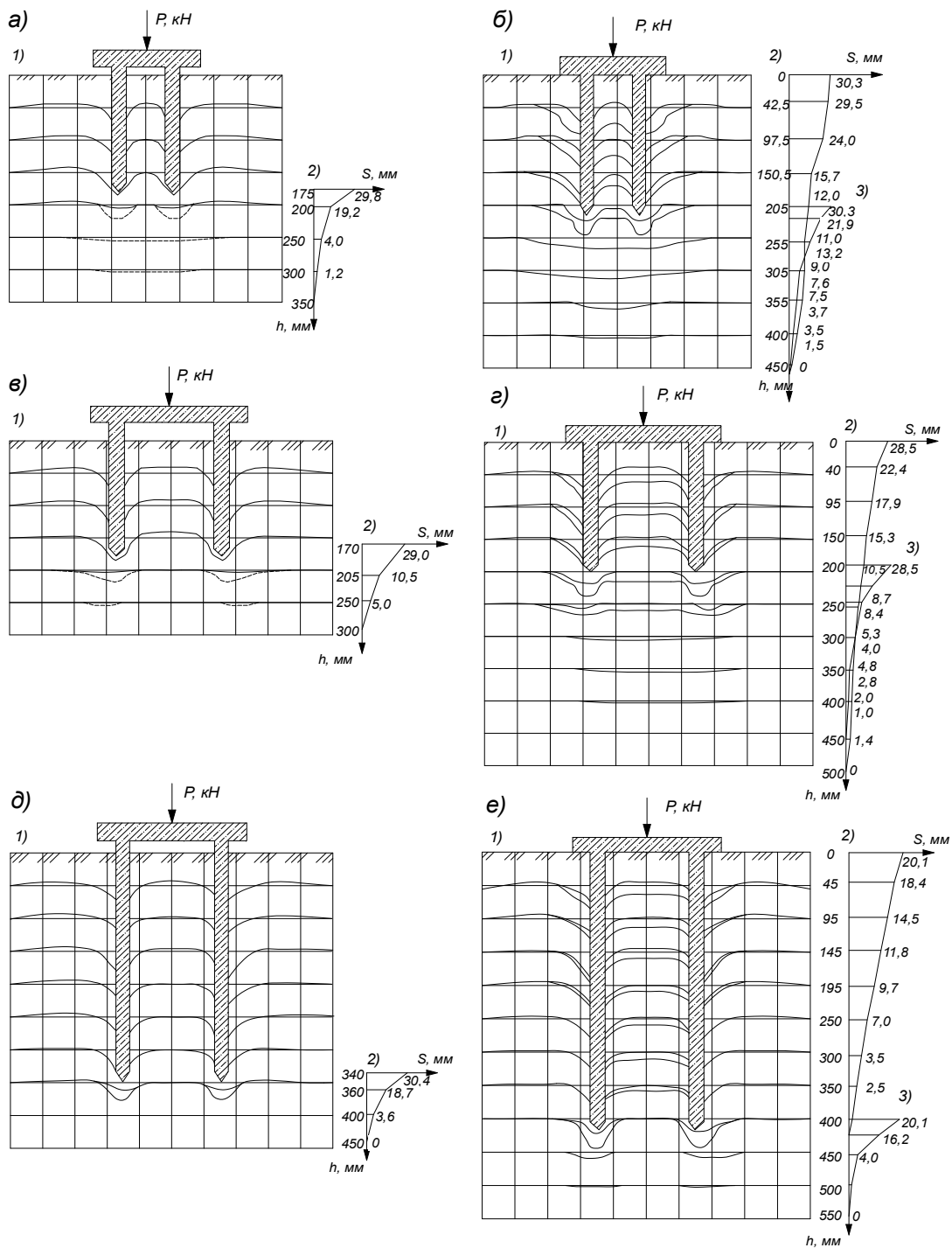


Рис. 1.1 – Деформації ґрунту в основі пальового фундаменту:  
 а –  $L/d = 10, a = 3d$ , високий ростверк; б –  $L/d = 10, a = 3d$ , низький ростверк;  
 в –  $L/d = 10, a = 6d$ , високий ростверк; г –  $L/d = 10, a = 6d$ , низький ростверк;  
 д –  $L/d = 20, a = 3d$ , високий ростверк; е –  $L/d = 20, a = 3d$ , низький ростверк  
 (1 – загальний вигляд деформацій; еюра пошарових переміщень ґрунту  
 під вістрям паль;  $L$  – довжина,  $d$  – розмір поперечного перерізу,  
 $a$  – крок паль)

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

На підставі виконаних досліджень шляхом фізичного та чисельно-математичного моделювання стовпчастих пальових фундаментів встановлено:

1. Неврахування роботи ростверку у складі фундаменту дає занижені значення навантажень на куш, а врахування роботи ростверку без коригування на перерозподіл зусиль між елементами куща при кучному розміщенні паль призводить до завищення несучої здатності куща.

Таким чином, при оцінці несучої здатності куща через несучі здатності його окремих елементів потрібно виходити із ступеня реалізації цих несучих здатностей у складі куща.

2. Паля у складі куща, як за результатами фізичного моделювання, та і за результатами математичного моделювання, поступово реалізує свою несучу здатність по мірі зростання навантаження і при значних значеннях осідання може сприймати навантаження, більше за граничне навантаження одиночної палі. Отже на певному етапі навантаження ступінь реалізації несучої здатності палі починає перевищувати одиницю.

3. Несуча здатність пальового фундаменту з низьким ростверком як правило перевищує суму несучих здатностей одиночних паль. Виключення складають кущі з забивних паль при кроці 3d. При частому розміщенні забивних паль навіть включення у роботу ростверку не забезпечує позитивний кущовий ефект, оскільки палі в таких кущах частково виключаються з роботи. Фундаменти з бурових паль завжди показують більшу несучу здатність, ніж сума несучих здатностей одиночних паль.

4. Несуча здатність низького ростверку в системі пальового фундаменту:

- у пальових фундаментах з бурових паль майже вдвічі більша ніж у пальових фундаментах з забивних паль;
- збільшується, при збільшенні кроку між палями;
- збільшується, при збільшенні довжини паль в системі пальового фундаменту;
- характер залежності частки навантаження низького ростверку при роботі фундаменту в піщаному та глинистому середовищах, в залежності від довжини та кроку паль, змінюється не суттєво.

5. Робота палі в групі з низьким ростверком суттєво відрізняється від роботи одиночної палі. По мірі зростання навантаження осереднене навантаження на палю у складі фундаменту зростає.

6. Ступінь реалізації несучої здатності палі у складі пального фундаменту суттєво більший для фундаментів з бурових паль у порівнянні з фундаментами з забивних паль.

7. Для фундаментів з забивних паль при кроці 3d палі у складі куща у піщаних ґрунтах реалізують свою несучу здатність не повністю, у глинистих ґрунтах при кроці 3d зусилля в палях наближаються до їх несучої здатності. Кущі з бурових паль підвищують свою несучу здатність, працюючи у групі, навіть при мінімальному кроці.

8. Ступінь реалізації несучої здатності палі у складі пального фундаменту залежить від довжини і кроку паль. Реалізація несучої здатності паль у складі фундаменту зменшується із збільшенням їх довжини. При збільшенні кроку паль реалізація несучої здатності палі збільшується. Характер включення паль у роботу аналогічний при роботі у різних ґрунтах.

9. Перерозподіл навантаження між палями фундаменту залежить від етапу навантаження і жорсткості ростверку. На початкових етапах завантаження при жорстких ростверках найбільше зусилля сприймають кутові палі, найменше – центральні, при подальшому збільшенні навантаження і наближенні його до граничного значення виникає перерозподіл зусиль з кутових і крайніх паль до центральної внаслідок вичерпання несучої здатності кутових паль. Для гнучких ростверків навантаження між палями групи спочатку розподіляється рівномірно, а по мірі зростання навантаження найбільше зусилля бере на себе центральна паля.

10. Вид ґрунту (піщаний або глинистий) суттєво не впливає на перерозподіл зусиль між елементами групи паль.

11. Ростверк краще включається в роботу при більшій деформації фундаменту (зокрема при спіранні нижніх кінців паль на більш піддатливі ґрунти);

12. На якісну картину перерозподілу зусиль між палями та ростверком заміна однорідного ґрунту на неоднорідний практично не впливає.

13. Із збільшенням кількості паль у групі гірше реалізують себе як палі, так і ростверк. Ступінь реалізації тиску під ростверком знаходиться в межах 0,1-0,58, а ступінь реалізації несучої здатності паль в межах 0,86 – 1,27.

14. Палі у складі куща реалізуються не повністю при кількості паль 12 – 16 шт. (крок 3d), навантаження, яке вони сприймають у групі, наближається до несучої здатності одиночної палі при кількості паль 9 шт. Для кущів з кількістю паль 4 – 6 шт. ступінь реалізації несучої здатності

палі перевищує одиницю. Отже, у групах з незначною кількістю паль вони працюють у кущі краще, ніж одиночні і тим краще, чим менше їхня кількість.

15. Частка роботи ростверка у складі пальового фундаменту збільшується із зменшенням кількості паль.

16. Заміна пальового фундаменту на умовний фундамент мілкового закладання не дає адекватних результатів ні за деформаціями, ні за несучою здатністю.

17. При відносній довжині паль ( $l/d$ ) менше 15 (клороткі палі) їх розміри сумірні з розмірами ростверків в плані і такі пальові фундаменти краще розглядати як єдиний ґрунто-пальовий масив.

18. У випадку застосування коротких паль можна з метою економії матеріалів зменшити кількість паль в групі при збереженні розмірів ростверку з незначною втратою несучої здатності.

19. Запропонована методика врахування сумісної роботи елементів пальового фундаменту через їх ступені реалізації несучої здатності. Врахування реальної роботи паль і ростверку у складі пальового фундаменту дозволяє підвищувати несучу здатність пальового фундаменту в цілому і відповідно економити матеріальні та трудові ресурси під час проведення будівельних робіт. Оскільки вплив дії моментних зусиль, які діють на фундамент, у монографії не розглядався, пропонується застосовувати цю методику з урахуванням незначних моментних навантажень.

20. Оскільки пальові фундаменти з бурових паль значно більш інтенсивно підвищують свою несучу здатність за рахунок спільної роботи їх елементів під навантаженням у порівнянні з пальовими фундаментами з забивних паль, то при врахуванні цієї спільної роботи пальові фундаменти з бурових паль стають конкурентоспроможними з аналогічними фундаментами з забивних паль.

21. Результати визначення несучої здатності паль у програмному комплексі Plaxis 3D Foundation доцільно використовувати у проєктній практиці для корегування значень, визначених теоретичним шляхом за рекомендаціями норм.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Beresnev A. S., Bolshakov A. Yu., Gusev G. N., Korkodinov V. V., Pishenov B. N. On the distribution of a given load between the slab and piles in a slab-pile foundation.. International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. Volume 4, Issue 2. 2008. P. 33.

2. Блащук Н.В., Маєвська І.В. Вплив способу влаштування паль на граничний опір пальового куща. Матеріали конференції «L Науково-технічна конференція підрозділів Вінницького національного технічного університету (2021)», Вінниця, 2021. URL: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fbtegp/all-fbtegp-2021/paper/view/12183>

3. Блащук Н. В., Маєвська І. В. Зміна перерозподілу зусиль між елементами пальового фундаменту. «LI Науково-технічна конференція підрозділів Вінницького національного технічного університету (2022)», Вінниця, 2022. URL: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fbtegp/all-fbtegp-2022/paper/view/15653>.

4. Блащук Н.В., Маєвська І.В., Попович М.М. Перерозподіл зусиль між елементами стовпчастого пальового фундаменту. *Сучасні технології, матеріали та конструкції в будівництві*: зб. наук. пр. № 1(24). Вінниця, 2018. С. 36-44.

5. Блащук Н. В., Ткачук А. А., Шевчук Є. О. Перерозподіл зусиль між елементами кущового пальового фундаменту в залежності від кількості паль. Матеріали конференції «LI Науково-технічна конференція підрозділів Вінницького національного технічного університету (2022)», Вінниця, 2022. URL: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fbtegp/all-fbtegp-2022/paper/view/15454>.

6. Бойко І. П., Носенко В. С. Напружено-деформований стан пальових фундаментів багатосекційних будинків. «Будівельні конструкції», Том 2. Київ: НДІБК, 2011. № 75. С. 159-163.

7. Бойко І. П., Підлуцький В. Л. Дослідження влаштування паль у фундаменті різної довжини. Збірник наукових праць (галузеве машинобудування, будівництво), вип.4 (34), ПолтНТУ, 2012. С. 42-48.

8. ВБН В.2.1-1-97 Підсилення фундаментів будівель та споруд, побудованих на лесових ґрунтах, буроін'єкційними палями [Чинні від 1998-05-01]. Київ : Українська державна корпорація по виконанню монтажних і спеціальних будівельних робіт, 1997. 44 с. (Відомчі будівельні норми України).

9. Винников Ю. Л., Левченко В. П., Пащенко А. М. Математичне моделювання влаштування та роботи буроін'єкційних паль. «Будівельні конструкції», Том 2. Київ : НДІБК. 2011. № 75. С. 140-149.

10. Винников Ю. Л. Моделювання процесів ущільнення ґрунту при вісесиметричному напружено-деформованому стані основ : дис. ...докт. техн. наук : 05.23.02. Полтава, 2004. 440 с.

11. Гембарська М. О. Робота паль у кущі, об'єднаних ростверком з певною жорсткістю. Зб. наук. праць (галузеве машинобудування, будівництво). Полт. нац. техн. ун-т ім. Юрія Кондратюка. Вип. 3 (38). Полтава: ПНТУ, 2013. С. 58-63.

12. ДБН В.2.1-10-2009. Основи та фундаменти споруд. Основні положення проектування зі зміною № 1 та № 2. [Чинний від 2012-07-01]. Київ : Мінрегіонбуд України, 2009. 161 с. (Об'єкти будівництва та промислова продукція будівельного призначення).

13. ДСТУ Б В.2.1-17:2009 Основи та підвалини будинків і споруд. Грунти. Методи лабораторного визначення фізичних властивостей. Київ : Мінрегіонбуд України, 2010. 23 с.

14. Зоценко М. Л., Винников Ю. Л., Зоценко В. М. Бурові ґрунтоцементні палі, які виготовляються за бурозмішувальним методом: монографія. Харків: «Друкарня Мадрид», 2016. 94 с.

15. Зоценко М. Л., Лапін М. І., Петраш Р. В. Порівняльне оцінювання ефекту армування основи за даними штампових випробувань і математичного моделювання. «Будівельні конструкції», Том 1. Київ : НДІБК. 2008. № 71. С. 443-451.

16. Інженерна геологія. Механіка ґрунтів, основи та фундаменти: [підручник]/ М. Л. Зоценко та ін. Полтава : ПНТУ, 2004. 568 с.

17. Ковальський Р. К. Дослідження роботи ґрунту під низьким ростверком пальового фундаменту. «Світ геотехніки». 2007. № 1. С. 17-21.

18. Колібаба В. В., Маєвська І. В. Робота бурових паль і ростверку у складі стовпчастого пальового фундаменту // Тези Всеукраїнської науково-практичної Інтернет-конференції студентів, аспірантів та молодих науковців «Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи (МН-2021)», Вінниця, ВНТУ, 2021 URL: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/mn/mn2021/paper/view/11114>.

19. Корнієнко М. В., Карпенко Д. А. Чисельне моделювання роботи стовпчастих пальових фундаментів з розширенням в лесових ґрунтах. «Будівельні конструкції», Том 1. Київ : НДІБК. 2008. № 71. С. 406-415.

20. Кремінська Ю. О., Маєвська І. В. Особливості роботи пальових кущів з коротких паль. Тези Всеукраїнської науково-практичної Інтернет-конференції студентів, аспірантів та молодих науковців «Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи (МН-2022)», Вінниця, ВНТУ, 2022 URL: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/mn/mn2022/paper/view/14240>.

21. Кремінська Ю. О., Маєвська І. В. Різниця в роботі коротких і довгих паль у складі стовпчастого пальового фундаменту. І науково-технічна конференція факультету будівництва, теплоенергетики та газопостачання: збірн. доповідей, м. Вінниця, 10-12 березня 2021 р. Вінниця, 2021. С. 1912-1921. URL: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fritzp/index/pages/view/zbirn2021>

22. Кремінська Ю. О., Маєвська І. В. Фізичне моделювання пальових кущів з короткими та довгими палями. Енергоефективність в галузях економіки України-2021: міжнар. наук.-техн. конф., м. Вінниця, 23-25 листопад 2021 р. Вінниця, 2021. URL: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/egeu/egeu2021/paper/view/13939>
23. Кримняк Я. М., Маєвська І. В. Робота забивних паль і ростверку у складі стовпчастого пальового фундаменту. Тези Всеукраїнської науково-практичної Інтернет-конференції студентів, аспірантів та молодих науковців «Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи (МН-2021)», Вінниця, ВНТУ, 2021 URL: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/mn/mn2021/paper/view/11077>.
24. Кураш С. Ю., Сазонова І. Р., Калюх Ю. І., Каргопольцева Т. Г. Вплив глибокого котлована на зміну напружено-деформованого стану ґрунтового масива в умовах щільної міської забудови м. Києва. «Будівельні конструкції». Київ : НДІБК. 2008. № 71. Том 1. С. 434-442.
25. Маєвська І. В., Блащук Н. В. Урахування роботи ростверку у складі стрічкових пальових та підсилених палями фундаментів : монографія. Вінниця : ВНТУ, 2013. 168 с.
26. Маєвська І. В., Блащук Н. В., Кремінська Ю. О. Особливості роботи пальових кущів з коротких паль за даними числового моделювання. Основи та фундаменти: науково-технічний збірник. Київ, КНУБА, 2021. Вип.43. С. 30-39.
27. Маєвська І. В., Блащук Н. В., Чобанова К. А. Вплив виду ґрунту на сумісну роботу паль і ростверка в кущовому пальовому фундаменті. *Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві*. Науково-технічний збірник ВНТУ. Вінниця: УНІВЕРСМ-Вінниця. 2013. № 2. С. 40-47.
28. Малишев О.М., Цимбал С.О., Маєвська І.В., Блащук Н.В. Сумісна робота паль і ростверку у стовпчастому пальовому фундаменті. *Молодь в науці*: тез. регіон. наук.-практ. інтернет-конф. студентів, аспірантів та молодих науковців ВНТУ, м. Вінниця, 2 січ. 2018. Вінниця, 2018. – URL: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/mn/mn2018/paper/viewFile/3694/31033103>.
29. Маркова М. А. Аналіз напружено-деформованого стану конструкцій з урахуванням впливів просадочних основ. «Будівельні конструкції», Том 1. Київ : НДІБК. 2008. № 71. С. 421-428.
30. Матеріали семінару: «Основи, фундаменти та підземні споруди. Проектування, будівництво та надійна та безпечна експлуатація». м. Київ, 25-26 лютого 2009 р.
31. Носенко В., Кашоїда О. Визначення напружено-деформованого стану групи паль шляхом числового моделювання їх взаємодії з основою за даними польових досліджень. Основи та фундаменти: науково-технічний збірник. Київ, КНУБА, 2021. Вип.43. С. 87-100.

32. Петраков А. А. До питання удосконалення методів розрахунку основ і фундаментів. «Будівельні конструкції». Київ : НДІБК. 2001. № 54. С. 534-539.
33. Підлуцький В.Л. Взаємодія фундаментної плити з палями різної довжини з ґрунтовою багатощаровою основою. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.02. Київ, 2013. 24 с.
34. Ручківський В. Взаємодія ґрунтової основи та групи паль, об'єднаних рострекком. Основи та фундаменти: науково-технічний збірник. Київ, КНУБА, 2021. Вип.43. С. 79-86.
35. Самородов О. В. Розвиток наукових основ вибору раціональних параметрів комбінованих палевих і плитних фундаментів багатоповерхових будівель: дис. ... докт техн. наук: 05.23.02. Харків, 2017. 322 с.
36. Самородов О. В., Дитюк О. Є., Табачников С. В. Натурні дослідження початкових осідань паль, які не з'єднані з плитою, у складі комбінованого плитно-пального фундаменту. Український журнал будівництва та архітектури. № 6 (012). Дніпро : ПДАБА, 2022. С. 90-98. DOI: 10.30838/J.BPSACEA.2312.271222.90.915.
37. Sernov, V. A. The increase of bearing capacity of pile foundations taking into account soil-raft interaction. Modern Building Materials, Structures and Techniques: The 10<sup>th</sup> International Conference. Lithuania, 2010. – P. 1153–1160.
38. Трегуб А. С., Шокарев В. С. Дослідження взаємодії палевих фундаментів і ростверка з основою. «Світ геотехніки». 2005. № 4. С. 19-24.
39. Трофимчук О. М., Глебчук Г. С. Математичне моделювання зміни напруженого стану схилів внаслідок одночасного впливу підйому рівня ґрунтових вод та зміни сейсмічних умов. «Будівельні конструкції», Київ : НДІБК. 2011. № 75. Том 2. С. 469-476.
40. Червинський І. Й., Дмитрієв Д. А., Шуминський В. Д., Данилюк О. М. Чисельне моделювання улаштування котлована і оцінка напружено-деформованого стану оточуючого ґрунтового масива на прикладі будівництва офісного центра по вул. С. Струтинського, 13-15 в Печерському районі м. Києва. «Будівельні конструкції», Том 2. Київ : НДІБК. 2011. № 75. С. 178-184.
41. Шапіро Д. М. Курс лекцій з розрахунку моделювання геотехнічних об'єктів. «Будівельні конструкції», Том 2. Київ : НДІБК. 2011. № 75. С. 643-647.
42. Abdolrezayi A., Khayat N. Comparative Three-Dimensional Finite Element Analysis of Piled Raft Foundations. Computational Engineering and Physical Modeling 4-1 (2021) 19-36.
43. Ahner C., Sukhov D. Combined piled-raft foundation (CPRF), safety concept [Electronic resource] /. The Leipzig Annual Civil Engineering Report Laser № 1, 1996.



44. Deb P, Pal SK. Numerical analysis of piled raft foundation under combined vertical and lateral loading. *Ocean Eng* 2019;190:106431. doi:10.1016/j.oceaneng.2019.106431.
45. Deb P, Pal SK. Analysis of Load Sharing Response and Prediction of Interaction Behaviour in Piled Raft Foundation. *Arab J Sci Eng* 2019;44:8527–43. doi:10.1007/s13369-019-03936-1.
46. Elwakil A. Z., Azzam W. R. Experimental and numerical study of piled raft system. *Alexandria Engineering Journal*. Volume 55, Issue 1, March 2016, Pages 547-560.
47. Hewitt P., Gue SS. Piled Raft Foundation in a weathered sedimentary formation. *Proc Geotropica* 1994:1–11.
48. Katzenbach R., Arslan U., Moormann C. Piled Raft Foundation Projects in Germany: Design Applications of Raft Foundations. J. A. Hemsley (Ed.), Thomas Telford, London (2000), pp. 323-391.
49. Kull T., Mets M., Leppik V. Interaction of piles and raft. Proceedings of 13<sup>th</sup> Baltic Sea Geotechnical Conference. «Historical Experience and Challenges of Geotechnical Problems in Baltic Sea Region, 22-24 September. Lithuania. 2016. P. 192-195.
50. Mali S, Singh B. Behavior of large piled-raft foundation on clay soil. *Ocean Eng* 2018;149:205– 16. doi:10.1016/j.oceaneng.2017.12.029.
51. Poulos H. G. An approximate numerical analysis of pile raft interaction. *Int J Numer Anal Method Geomech* 1994; 18:73–92.
52. Poulos, H. G. (2005). «Pile Behavior – Consequences of Geological and Construction Imperfections». 40th Terzaghi Lecture, *Jnl. Geotech. & Geoenviron. Eng.*, ASCE, Vol. 131 (5): P. 538-563.
53. Poulos, H. G. (2005). «Piled Raft and Compensated Piled Raft Foundations for Soft Soil Sites» *Advances in Designing and Testing Deep Foundations*, ed. C. Vipulanandan & F.C. Townsend, ASCE Geot. Spec. Pub. No. 129, P. 214-234.
54. Poulos, H. G. and Davis, E. H., (1980) "Pile Foundation Analysis and Design". John Wiley and Sons, New York. 394 p.
55. Pressley J. S., Poulos H. G. Finite element analysis of mechanisms of pile group behaviour. *Int J Numerical and Analytical Methods in Geomechanics*. 1986; 10(2): 213-221.
56. Randolph M. F. Design method for pile groups and piled rafts. 13<sup>th</sup> International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, 5-10 January, New Delhi, India, 1994. Vol. 5. P. 61-82.
57. Reul O., Randolph M. F. Design Strategies for Piled Rafts Subjected to Nonuniform Vertical Loading. *J Geotech Geoenviron Eng ASCE* 2004;1(1): 130.

58. Samorodov O.V. Experience of Instrumental Monitoring of the Stress State for the Soil Base – Piled Raft Foundation System: [text] / O. Samorodov, A. Ubiyvovk, O. Dytiuk, S. Tabachnikov, E. Shchuchyk // Proceedings of the 11<sup>th</sup> International Symposium on Field Monitoring in Geomechanics – Dr. Andrew M. Ridley (Eds). London, United Kingdom, 4-7 September 2022: Online library ISSMGE, pp. 1-7.

59. Samorodov, O. New design of a combined pile raft foundation for a multi-storey building with determination of its main parameters: [text] / O. Samorodov, D. Muliar, S. Tabachnikov, O. Krotov, Y.Vynnykov, M. Zotsenko, V. Shapoval // Proceedings of the 20th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering – Rahman and Jaksa (Eds). Sydney, Australia: 2022. – P. 3493-3497. ISBN 978-0-9946261-4-1.

60. Sheil BB, McCabe BA. Numerical modelling of pile foundation angular distortion. *Soil Found.* 2015;55(3):614-625.

61. Sheil, B. B., McCabe, B. A. (2016). An analytical approach for the prediction of single pile and pile group behaviour in clay. *Computers and Geotechnics*, vol. 75, pp. 145-158.

62. Sinha A, Hanna AM. 3D numerical model for piled raft foundation. *Int J Geomech* 2017;17:1–9. doi:10.1061/(ASCE)GM.1943-5622.0000674.

63. Whitaker T. Experiments with model piles in groups. *Geotechnic*, London, England. Vol. 7. № 4, 1977. P. 147-167.

*Навчальне видання*

**Маєвська Ірина Вікторівна**

**Блащук Наталя Вікторівна**

**РОБОТА ПАЛЬ І РОСТВЕРКУ У СКЛАДІ  
СТОВПЧАСТИХ ПАЛЬОВИХ ФУНДАМЕНТІВ:**

Монографія

Рукопис оформила *Н. Блащук*

Оригінал-макет підготовлено в *редакційно-видавничому відділі ВНТУ*

Підписано до друку 28.09.2023 р.  
Формат 29,7×42¼. Папір офсетний.  
Гарнітура Times New Roman. Ум. др. арк. 10,92.  
Наклад 20 пр. Зам. № В2023-06.

Вінницький національний технічний університет,  
Редакційно-видавничий відділ,  
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95,  
ВНТУ, ГНК, к. 114

**press.vntu.edu.ua; email: irvc.vntu@gmail.com**

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи  
серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.

Віддруковано ФОП Барановська Т. П.,  
21021, м. Вінниця, вул. Порики, 7.  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи  
серія ДК № 4377 від 31.07.2012 р.