

РОБОТА ДВОЩІЛИННОГО ФУНДАМЕНТУ ПРИ ДІЇ ВЕРТИКАЛЬНОГО НАВАНТАЖЕННЯ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ФІЗИЧНОГО ТА ЧИСЛОВОГО МОДЕЛЮВАННЯ

Вінницький національний технічний університет

У статті наведено результати фізичного моделювання роботи щілинних фундаментів. За результатами досліджень встановлено залежність несучої здатності щілинних фундаментів від довжини та кроку щілин, отримано якісну оцінку напружено-деформованого стану системи «щілинний фундамент- ґрунтова основа».

Результати фізичного моделювання використано для оцінки роботи моделі фундаменту та ґрунтової основи в ПК «Plaxis 3D Foundation». Виконано числове моделювання роботи щілинного фундаменту з різними геометричними параметрами, загалом розглянуто 9 різних схем. Встановлено залежність несучої здатності фундаменту від різної відстані між щілинами і різної їх довжини. Отримані результати моделювання свідчать, про збільшення несучої здатності щілинного фундаменту (1,5-2 рази) при збільшенні відстані між щілинами без збільшення їх довжини. Це пояснюється включенням у роботу ґрунту, який знаходиться між щілинами.

Ключові слова: фізичне моделювання, маломасштабні моделі, числове моделювання, щілинний фундамент, несуча здатність, осідання.

Вступ

Щілинними називають фундаменти, що виконуються в вузьких і глибоких щілинах із заповненням їх бетоном в розпір без опалубки або шляхом занурення забиванням у відкриту щілину збірного залізобетонного, розширеного до верху, блоку.

Відмінними рисами щілинних фундаментів мілкого закладання є підвищена поверхня фундаменту, що торкається ґрунту основи на одиницю його об'єму, а також передача навантаження на фундамент, як по його підшві, так і по бічних поверхнях. Щілинні фундаменти у порівнянні з фундаментами, що влаштовуються у відкритих котлованах, дозволяють скоротити об'єм земляних робіт, витрати бетону та арматури, уникнути значного обсягу опалубочних робіт, що в цілому дозволяє досягати більш економічних рішень при влаштуванні фундаментів будівель та споруд [2, 4].

Огляд літературних джерел [2-4] з питання застосування малозаглиблених щілинних фундаментів показав відсутність у даний час достатньої кількості даних з дослідження їх роботи, які б дозволяли запропонувати методику їх розрахунку. Оскільки за характером роботи з ґрунтом малозаглиблені щілинні фундаменти відносяться до фундаментів глибокого закладання [1], то необхідне дослідження впливу їх защемлення в ґрунті на несучу здатність при дії позакентрових і вертикальних навантажень.

Основна частина

Моделльні дослідження роботи фундаментів - найбільш доступні, і як показує досвід, дозволяють отримати досить достовірну якісну картину поведінки фундаментів під навантаженням. Перевагою модельних досліджень є можливість багаторазового повторювання і широке варіювання різними параметрами.

Моделльні випробування щілинних фундаментів проведені в лотку з розмірами 1800×1200×1000 мм (рис. 1). В якості ґрунту основи використаний пісок середньої крупності середньої щільності (щільність – 1,73 г/см³, вологість – 0,06, кут внутрішнього тертя – 36°, питоме зчеплення – 2 кПа, модуль деформації – 32 МПа).

Для збереження непорушеної картини напруженого стану в ґрунтовій основі та враховуючи розміри лотка, моделі щілин були виготовлені в масштабі 1:10 із деревини. Розміри щілин становили: 200×100×20 мм; 300×100×20; 200×100×20 мм, вони влаштовуються в попередньо розроблені отвори, поверх них був укладений ростверк розмірами – 100×100×40 мм (досліди 1-3), 100×100 мм (дослід 4), 100×160 мм (дослід 5), 100×220 мм (дослід 6).

Влаштування отворів для розташування в них моделей дерев'яних щілин зображено на рис. 2. Дерев'яні моделі щілин зображені на рис. 1.15.

Навантаження на моделі щілинних фундаментів здійснювалось домкратом вантажопід'ємністю 50 кН, що впирався в опорну раму, величина прикладеного навантаження контролювалась динамометром.

Переміщення (осідання) контролювали за допомогою прогиномірів, що закріплювались на реперній системі. Схема установки для випробування показана на рис. 4.



Рисунок 1 – Лоток з ущільненим піском, накритий поліетиленою плівкою для збереження вологості



Рисунок 2 – Схема вирізання щілин



Рисунок 3 – Моделі двощілинного фундаменту при низькому ростверку з довжиною щілин:
а) 400 мм; б) 300 мм; в) 200 мм

В якості критерію несучої здатності щілинного фундаменту прийнято навантаження, що відповідає певному значенню його осідання. Для дослідження впливу на несучу здатність фундаментом відстані між стінками, проведено серію дослідів з відстанню між стінками від 40 до 140 мм. План експериментів наведено в табл. 1.



Рисунок 4 – Схема установки для випробування

Послідовність проведення модельних досліджень:

- укладання піску в лоток пошарово (шарами по 15 см з ущільненням кожного шару і контролем отриманої площини);
- виїмка отворів для щілин;
- установка моделей щілинних фундаментів;
- установка домкрату, динамометру та прогиномірів;
- передача на фундамент статичного навантаження ступенями з витримкою кожного ступеня до умовної стабілізації деформацій.

План модельних експериментів в лотку

Серія дослідів	Відстань між щілинами (в осях)	Глибина закладання d, мм	Товщина щілини, мм	Ширина щілини, мм	Зазор між ґрунтом і ростверком
1	60	200	20	100	-
2	60	300	20	100	-
3	60	400	20	100	-
4	60	300	20	100	-
5	120	300	20	100	-
6	180	300	20	100	-

За результатами проведених модельних досліджень був побудований графік залежності деформацій від навантаження для серій дослідів 1-3 (рис. 4) та 4-6 (рис. 5).

З графіка (рис. 3) видно, що фундамент з меншою довжиною щілин має меншу несучу здатність і відповідно з більшою довжиною щілин – більшу, тобто зі збільшенням відносної довжини щілин частка їх несучої здатності збільшується від 10-46 %.

З графіку (рис. 5) видно, що фундамент з меншою відстанню між щілинами має меншу несучу здатність і відповідно з більшою відстанню між щілинами – більшу. Таке збільшення несучої здатності пов'язано із включенням в роботу ростверку, при більшій відстані між щілинами частка навантаження, що сприймається ростверком, збільшується. При збільшенні глибини закладання (2-й етап) збільшується площа контакту по бічній поверхні та підшва стає на більш ущільнений ґрунт, що сприяє збільшенню несучої здатності. При обпиранні ростверку на ґрунт збільшується несуча здатність, що пояснюється включенням ростверку у роботу та утворення ущільненої зони під ним.

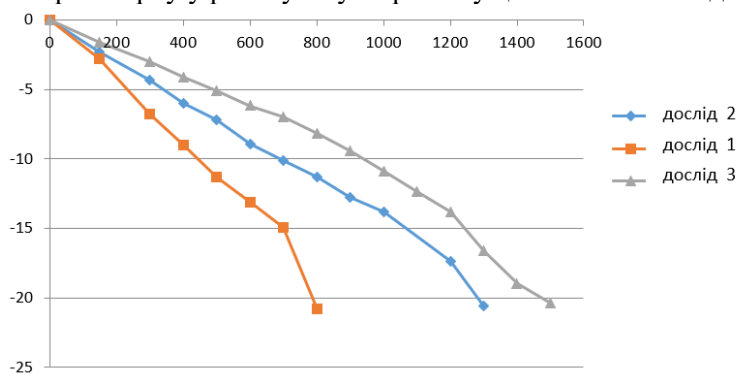


Рисунок 4 – Графік залежності деформацій від навантаження при різній довжині щілин (1 – 200 мм, 2 – 300 мм, 3 – 400 мм)

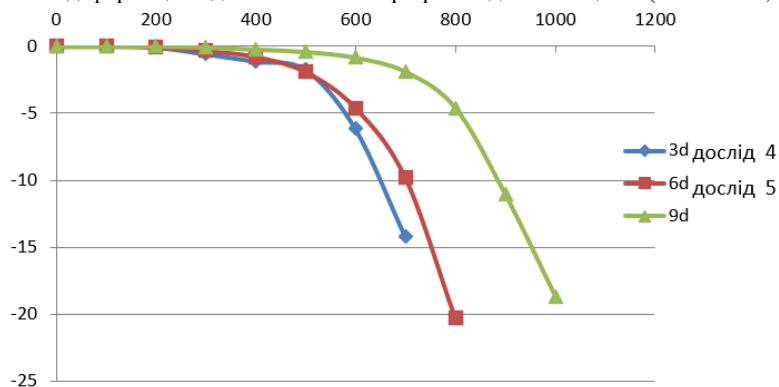


Рисунок 5 – Графік залежності деформацій від навантаження для моделей двощілинних фундаментів при різній відстані між щілинами в осях

Для чисельного моделювання роботи двощілинного фундаменту виконано в програмному комплексі "Plaxis 3D foundation".

Для перевірки коректності роботи обраної моделі фундаменту та ґрунтової основи виконано порівняння результатів чисельного моделювання з результатами фізичного моделювання на маломасштабних моделях. Розглянуто результати випробувань чисельного та фізичного моделювань, з кроком між шліцами 3d.

Характер роботи в ґрунті щілин фундаменту наближений до роботи бурових паль. Як видно на рис. 6 різниця між результатами фізичного та чисельного моделювання не перевищує 12 %, результати чисельного моделювання трохи більші. В цілому, характер розвитку деформацій однаковий, тому

числову модель прийнято до подальших досліджень.

Програму проведення досліджень методом чисельного моделювання наведено в таблиці 2. На рис. 7 зображено чисельні моделі ґрунтової основи та двощілинного фундаменту.

На рис. 8 показано мозаїки деформацій основи при різних параметрах двощілинного фундаменту (див. табл. 3). З рис. 8 видно, що найкраще включаються у роботу ґрунт в міжщілинному просторі та щілини фундаменту при збільшенні відстані між ними, менш впливовим фактором є зміна довжини щілин.

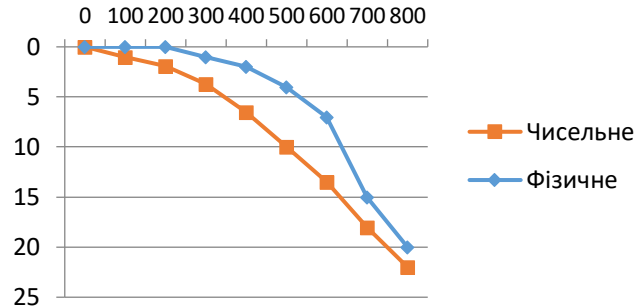


Рисунок 6 – Графіки залежності осідання-навантаження за результатами фізичного моделювання (фізичне) та чисельного (чисельне) з кроком між щілинами 3d

Таблиця 2

Програма проведення чисельного моделювання

Характеристика ґрунту	№ досліджу	Довжина щілини, мм	Ширина Щілини, мм	Товщина щілини, мм	Відстань між щілинами, мм
Пісок середньої щільності $\gamma=17,5 \text{ кН/м}^3$ $\gamma_{\text{sat}}=17,5 \text{ кН/м}^3$ $E=32 \text{ МПа}$ $c=2 \text{ кПа}$ $\varphi=36^\circ$	1	2000	1000	200	600
	2	3000	1000	200	600
	3	4000	1000	200	600
	4	2000	1000	200	1200
	5	3000	1000	200	1200
	6	4000	1000	200	1200
	7	2000	1000	200	1800
	8	3000	1000	200	1800
	9	4000	1000	200	1800

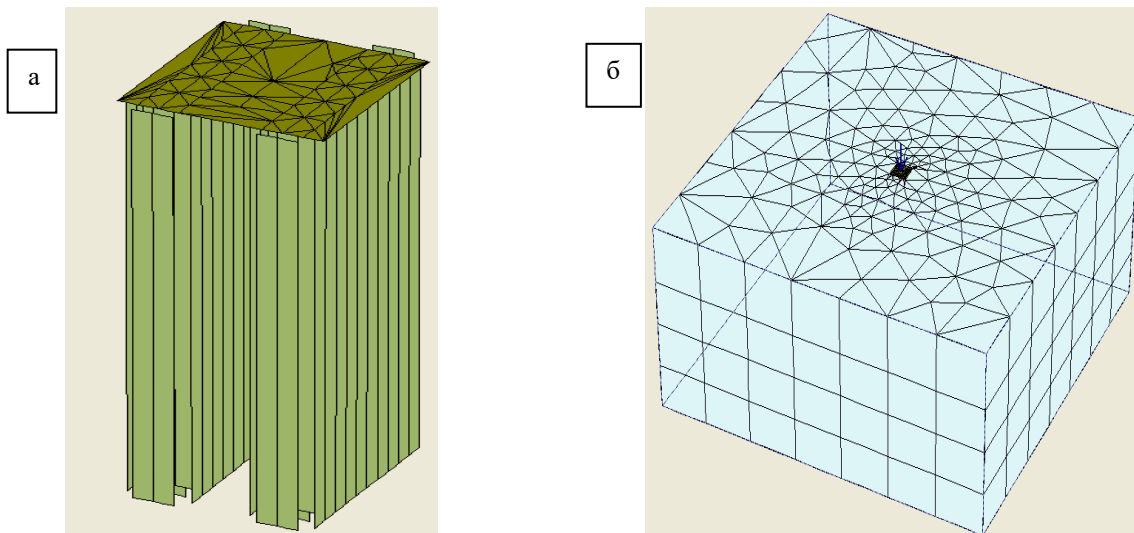


Рисунок 7 – Скінченно-елементні моделі двощілинного фундаменту (а) та ґрунтового масиву (б)

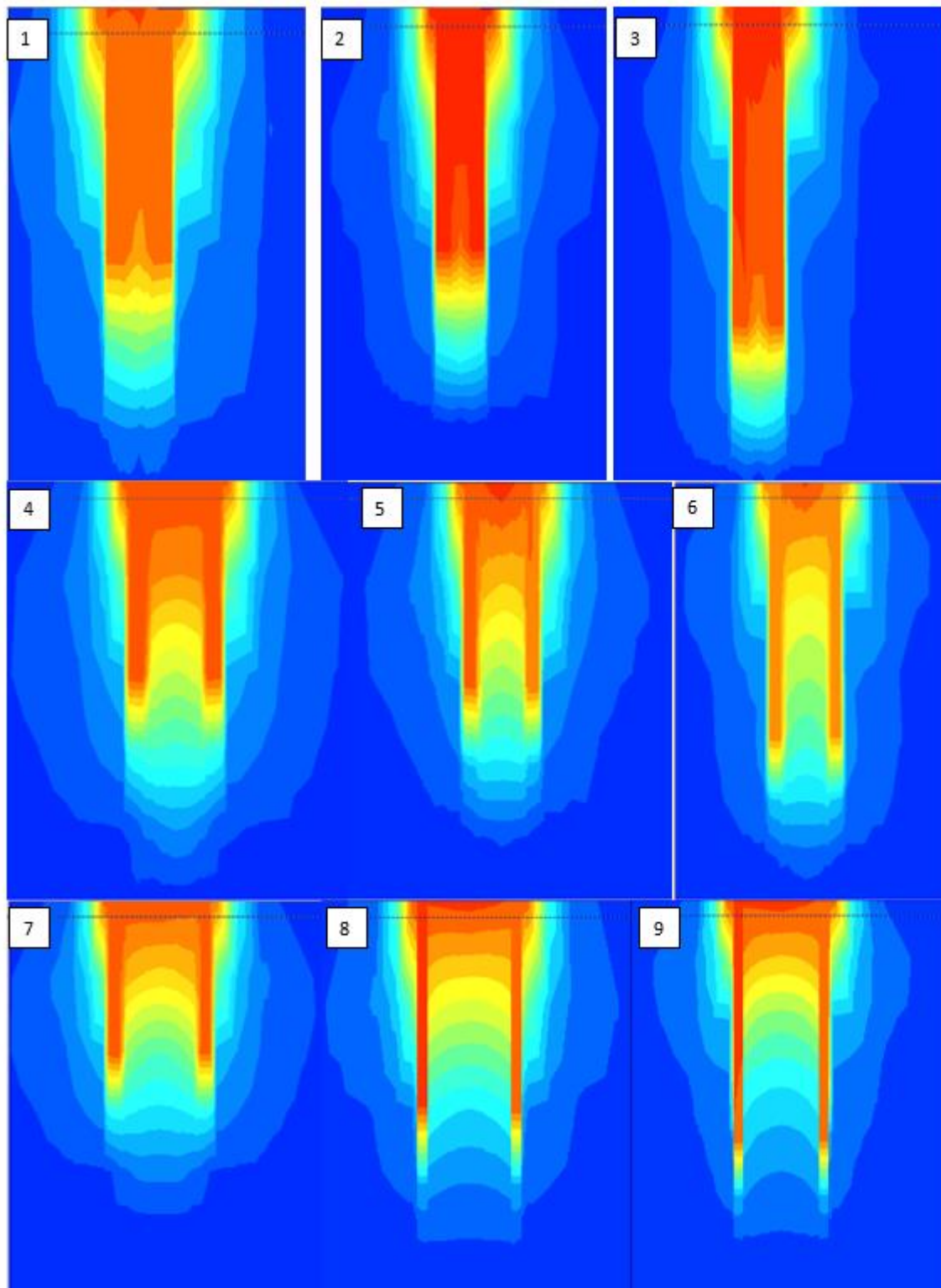


Рисунок 8 – Мозаїки деформацій ґрунту: 1 – крок 3d, глибина шліц 300 мм; 2 – крок 3d, глибина шліц 400 мм; 3 – крок 3d, глибина шліц 500 мм; 4 – крок 6d, глибина шліц 300 мм; 5 – крок 6d, глибина шліц 400 мм; 6 – крок 6d, глибина шліц 500 мм; 7 – крок 9d, глибина шліц 300 мм; 8 – крок 9d, глибина шліц 400 мм; 9 – крок 9d, глибина шліц 500 мм

У таблиці 3 наведено результати числового моделювання у ПК Plaxis 3D Foundation. На рис.9 наведено графіки осідання-навантаження за результатами числового моделювання.

Осідання-навантаження при різних геометричних параметрах фундаменту

Навантаження, кН	Геометричні параметри фундаменту								
	3d3m	3d4m	3d5m	6d3m	6d4m	6d5m	9d3m	9d4m	9d5m
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
200	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1
400	0.7	0.4	0.3	0.4	0.4	0.3	0.4	0.4	0.3
600	1.4	1	0.7	0.9	0.7	0.5	0.8	0.8	0.5
800	2.3	1.7	1.3	1.6	1.2	0.9	1.1	1.1	0.9
1000	3.4	2.5	2.2	2.3	1.8	1.5	1.8	1.7	1.4
1200	4.8	3.5	3	3.2	2.6	2.1	2.4	2.3	2
1400	6.3	4.7	4	4.2	3.4	2.9	3.2	2.9	2.6
1600	8	6.1	5.3	5.4	4.3	3.8	4	3.7	3.3
1800	10	7.6	6.7	6.6	5.2	4.7	5	4.6	4.1
2000	12	9.4	8.2	8	6.3	5.7	6	5.4	5

(3d- крок між щілинами в осях, що складає 600мм, де d- ширина щілини, а 3m – довжина щілини)

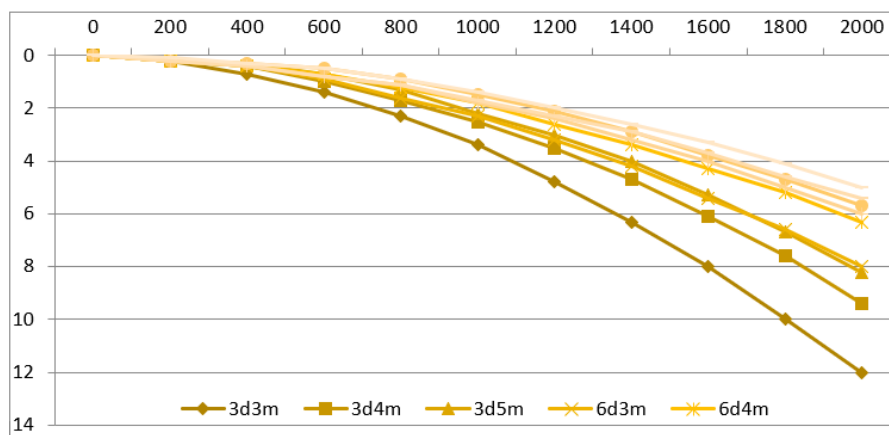


Рисунок 9 – Графік осідання-навантаження для різних параметрів фундаментів (де 3d – крок між щілинами, 3m –глибина).

Висновки

1. За результатами фізичного моделювання щілинних фундаментів встановлено, що при збільшенні відстані між щілинами спостерігається збільшення несучої здатності фундаментів. Шляхом варіювання відстанями між щілинами можна отримати більш економічні варіанти фундаментів. Збільшення несучої здатності у випадку збільшення відстані між щілинами пояснюється включенням в роботу ґрунту, який знаходиться між ними.
2. Шляхом чисельного моделювання, в якому була використана пружно-пластична модель ґрунту, методом скінченних елементів за допомогою ПК Plaxis 3D Foundations було проаналізовано напружено-деформований стан системи «двощілинний фундамент - ґрунтова основа» при різних геометричних параметрів. Було встановлено, що при зміні геометричних параметрів, а саме відстані між щілинами та довжини щілин, змінюється і несуча здатність фундаменту в цілому.
3. За результатами фізичного моделювання було встановлено, що при збільшенні відстані між щілинами від 3d до 9d, несуча здатність двощілинного фундаменту може бути збільшена приблизно в 1,5 рази, а за результатами чисельного моделювання в 1,7-2 рази.
4. У випадку збільшення глибини закладання (довжини щілин) спостерігається збільшення несучої здатності в 1,8 – 2 рази за результатами фізичного та числового моделювання.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. ДБН В.2.1-10-2018 Основи і фундаменти будівель та споруд. Основні положення [Чинний від 2019-01-01] К.: Мінбуд України, 2018. 42 с.
2. Основи і фундаменти: самостійна та індивідуальна робота студентів. Ч.2. Проектування основ і фундаментів у особливих ґрунтових умовах для студентів спеціальності «Будівництво та цивільна інженерія» (навчальний посібник) / І. В. Маєвська, Н. В. Блащук. – Вінниця : ВНТУ, 2017. – 98 с.
3. Gerhard Girmscheid: Bauverfahren des Spezialtiefbaus. 15. Auflage, Eigenverlag der Eidgenössischen Hochschule, Zürich 2013.
4. Сорока М. В., Блащук Н.В. РОБОТА ДВОЩІЛИННОГО ФУНДАМЕНТУ ПРИ ДІЇ ВЕРТИКАЛЬНОГО НАВАНТАЖЕННЯ [Електронний ресурс] / Сорока М. В., Блащук Н.В. // Матеріали міжнародної науково-технічної

REFERENCES

1. DBN V.2.1-10-2018 Osnovy i fyndamenty bydivel' ta sporyd. Osnovni polojennya [Chynnyy vid 2019-01-01] K.: Minbud Ukrainy, 2018. 42 s.
2. Osnovy i fyndamenty: samostiyna ta indyvidyal'na robota studentiv. Ch.2. Proektyvannya osnov i fyndamentiv y osoblyvykh gryntovykh umovakh dlya studentiv special'nosti «Bydivnyctvo ta cyvil'na injeneriya» (navchal'nyy posibnyk) / I.V. Mayevs'ka, N. V. Blaschuk. – Vinnytsya : VNTU, 2017. – 98 s.
3. Gerhard Girmscheid: Bauverfahren des Spezialtiefbaus. 15. Auflage, Eigenverlag der Eidgenössischen Hochschule, Zürich 2013.
4. Soroka M.V., Blaschuk N.V. Robota dvoschilynnogo fyndamenty pry dii vertykal'nogo navantajennya [Elektroni resursy] / Soroka M.V., Blaschuk N.V. // Materialy miznarodnoi naykovo-tekhnichnoi konferencii "Energoefektivnist' v galyzyakh ekonomiky Ukrainy-2023", Vinnytsya, 21-23 lystopada, 2023 r. – Electron. tekst. dani. – 2023. – Rezhym dostupu: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/egcu/egcu2023/paper/view/19459>

Сорока Максим Васильович – аспірант кафедри будівництва, міського господарства та архітектури, Факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, Україна, email: sorokamaxx@gmail.com.

Блашук Наталя Вікторівна — канд. техн. наук, доцент кафедри будівництва, міського господарства та архітектури, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: blaschuk@vntu.edu.ua

N. Blashchuk

M. Soroka

WORK OF A TWO-SLOT FOUNDATION UNDER THE ACTION OF A VERTICAL LOAD ACCORDING TO THE RESULTS OF PHYSICAL AND NUMERICAL MODELING

Vinnytsia National Technical University

The article presents the results of physical modeling of slot foundations. The results of the research have established the dependence of the bearing capacity of slotted foundations on the length and spacing of the slots, and a qualitative assessment of the stress-strain state of the "slotted foundation-soil base" system has been obtained.

The results of the physical modeling were used to evaluate the performance of the foundation and soil base model in the Plaxis 3D Foundation software. Numerical modeling of the slotted foundation with different geometric parameters was performed, 9 different schemes were considered. The dependence of the bearing capacity of the foundation on different distances between the slots and their different lengths was determined. The obtained modeling results indicate an increase in the bearing capacity of the slotted foundation (1.5-2 times) with an increase in the distance between the slots without increasing their length. This is due to the inclusion of soil, which is located between the slots.

Key words: physical modeling, small-scale models, numerical modeling, slotted foundation, bearing capacity, settlement.

Soroka Maksym V. – graduate student of department of civil engineering, architecture and municipal economy, Faculty of Construction, Civil and Environmental Engineering, Vinnytsia national technical university, Vinnytsia city, Ukraine. email: sorokamaxx@gmail.com.

Blashchuk N. - candidate. Sc., assistant professor of department of construction, architecture and municipal economy, Vinnytsia National Technical University. Vinnitsa, e-mail: blaschuk@vntu.edu.ua