

**МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ
ПІДСИЛЕНОГО ПАЛЯМИ СТРИЧКОВОГО ФУНДАМЕНТУ**

І. В. Маєвська, Н. В. Блащук

Викладено матеріали математичного моделювання підсиленого стрічкового фундаменту палями з різним кроком. Досліджено моделі підсиленого фундаменту з різним кроком паль. Для порівняння отриманих результатів досліджувалась робота пального фундаменту з високим ростверком.

Изложены материалы математического моделирования усиления ленточного фундамента сваями с разным шагом. Исследовано модели фундамента с разным шагом свай. Для сравнения полученных результатов исследовалась работа свайного фундамента с высоким ростверком.

In the article materials of mathematical modeling of strengthening of band foundation are laid out by the piles with a different step. Investigated the model foundation is different steps of piles. For comparison of the results studied the work of pile foundation with a high grillage.

Вступ

Врахування роботи ростверка в складі пального фундаменту є актуальним питанням. Згідно з нині діючими нормами [1], все навантаження передається на палі, а робота ростверка не враховується взагалі.

В процесі підсилення, через неможливість безпосередньо близько до існуючих фундаментів розташувати палі, утворюється значної ширини ростверк, який сприймає значну частку навантаження. Дослідженнями різних авторів [2-5] встановлено, що частка навантаження, яку сприймає ростверк, досягає 37-50 %. Ця величина залежить від ряду факторів: довжини і кроку паль в поперечному і поздовжньому напрямках, характеристик ґрунту під підошвою ростверка і вістрям паль.

У даній роботі наведено результати математичного моделювання роботи стрічкового фундаменту мілкого закладання, що підсилюється палями.

Обґрунтування вибору моделі

Для математичного моделювання процесу підсилення та роботи фундаменту мілкого закладання обрано програмний продукт Plaxis 3D, який базується на використанні чисельного методу скінченних елементів. При розрахунку використовувалась модель ґрунтів Кулона-Мора.

Розрахунковий комплекс Plaxis являє собою цільовий пакет геотехнічних програм для скінченно-елементного аналізу напруженого стану системи «будівля–основа» в плоскій і просторовій постановці. Всі моделі матеріалів, що використовуються, базуються на залежності між швидкістю зміни ефективних деформацій і швидкістю проходження деформацій. Механічна поведінка ґрунтів в Plaxis може бути змодельована за допомогою використання різних моделей ґрунту: модель Кулона-Мора; модель ґрунту, що ущільнюється; модель повзучості слабкого ґрунту (реологічна модель).

При виборі програмного продукту для математичного моделювання даної задачі було проаналізовано можливості програмного комплексу «Лира 9.6 R4». На жаль, даний програмний продукт дає не зовсім коректні результати при розв'язанні даної задачі, оскільки при моделюванні використовується пружна модель, що ґрунтується на законі Гука. При такому моделюванні ґрунт розглядається як пружне середовище і зміна його властивостей в процесі навантаження не розглядається взагалі.

Для оцінки коректності отриманих результатів за допомогою програми Plaxis 3D було виконано моделювання пального фундаменту з десяти паль і порівняно з результатами статичного випробування [5].

Вихідні дані: палі призматичні забивні С6-30, ростверк розмірами в плані 1,5×4,2 м товщиною 0,5 м (рис. 1).

Ґрунтові умови представлені четвертинними суглинками і глинами потужністю 12 м, питома вага коливається в межах 18,2-19,8 кН/м³, природна вологість – 0,31-0,37, модуль

деформації $E=13$ МПа.

Модель даного пальового фундаменту в ґрунтовому середовищі показано на рис. 2.

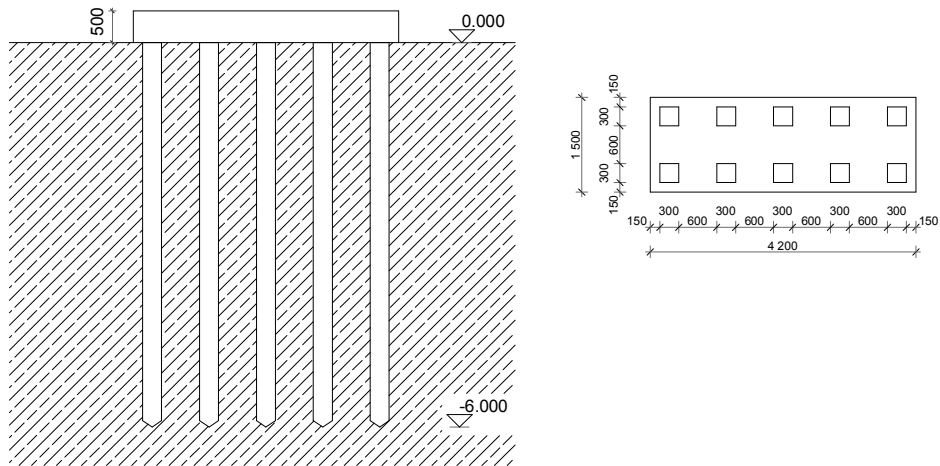


Рис. 1. Схема розміщення паль в ґрунті (зліва) та в ростверку (справа)

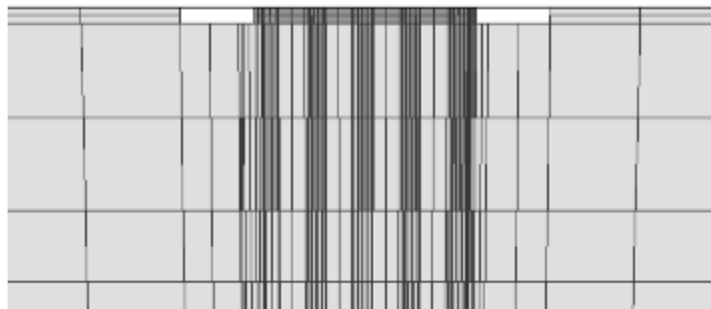


Рис. 2. Модель пальового фундаменту

В результаті розрахунку отримано залежність осідання–навантаження для даного фундаменту (рис. 3). На рис. 3 також показано залежність осідання–навантаження, що отримана при статичному випробуванні.

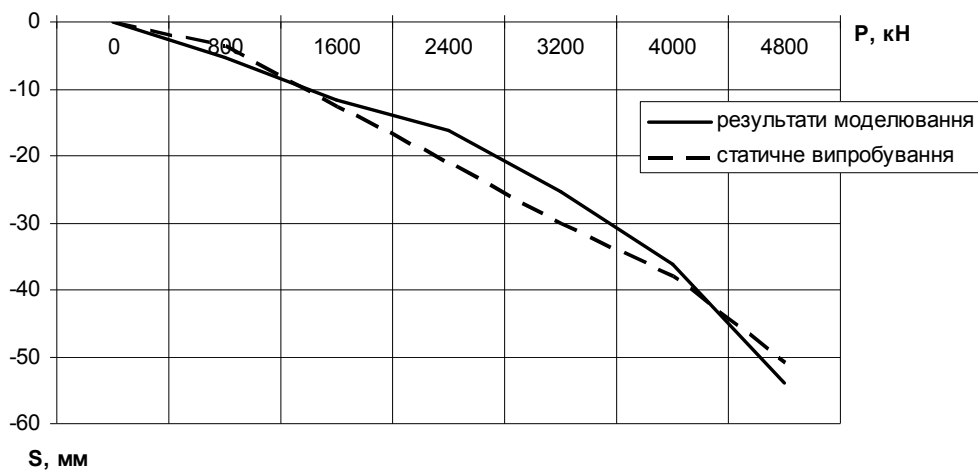


Рис. 3. Графік залежності осідання–навантаження

Як видно з рис. 3 розбіжність між значеннями осідань при однакових навантаженнях при статичному випробуванні і за результатами моделювання не перевищує 10 %, тому дана модель може бути використана для подальшого дослідження роботи пальового фундаменту.

Модельні дослідження

Для моделювання роботи стрічкового фундаменту, підсиленого палями, було прийнято

такі вихідні дані: розміри підсиленого фундаменту в плані 2,2×22 м, палі С6-30 з кроком 3d (48 шт), 6d (24 шт), 9d (18 шт) та 12d (14 шт) (рис. 4); ґрунт – пісок середньої щільності, питома вага – 17,3 кН/м³, модуль деформації 30 МПа.

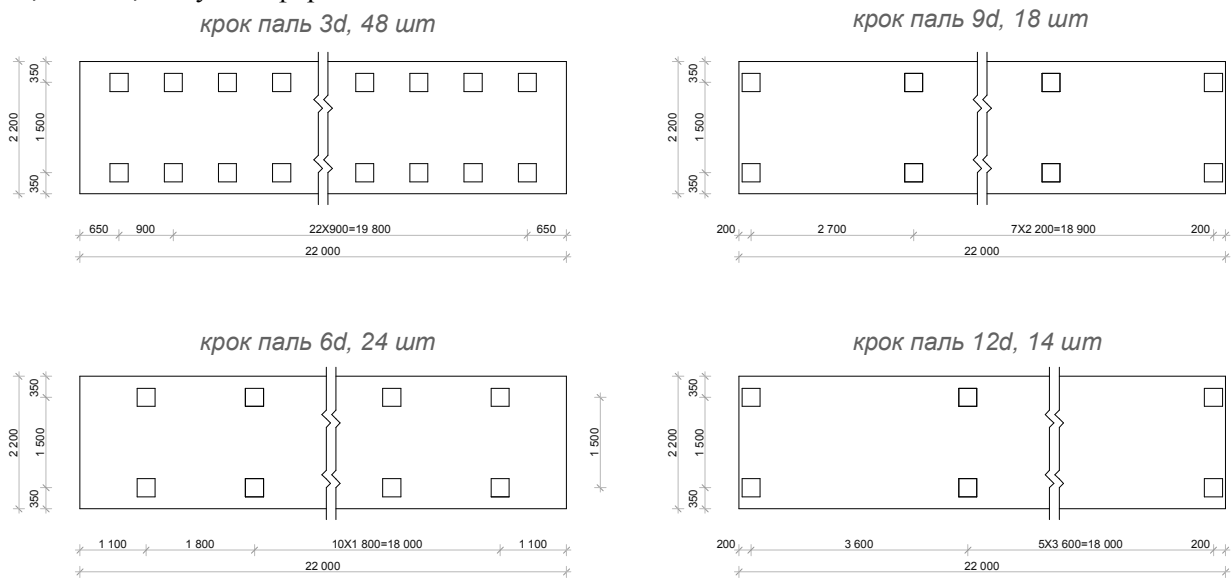


Рис. 4. Схеми розміщення палі в ростверку при різному кроці

Модель пального фундаменту при кроці 3d наведена на рис. 5. Мозаїка сумарних вертикальних деформацій для цієї ж моделі при $S = 15$ см наведена на рис. 6.

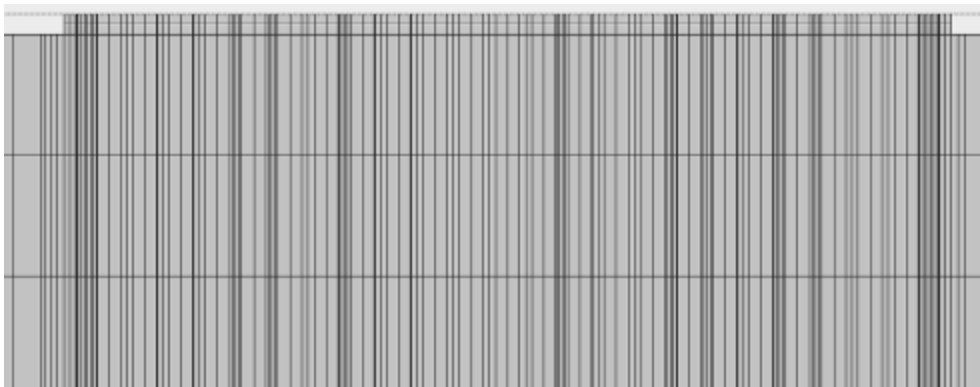


Рис. 5. Модель пального фундаменту при кроці 3d

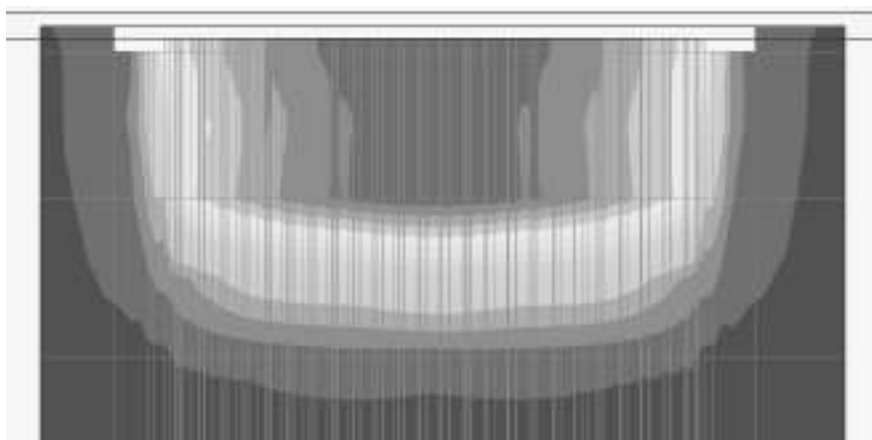


Рис. 6. Мозаїка сумарних вертикальних деформацій

Для оцінки роботи існуючого фундаменту мілкого закладання як ростверка підсиленого пального фундаменту виконано моделювання аналогічних палових фундаментів з високим ростверком. Результати зведено в таблицю 1. За несучу здатність палових фундаментів прийнято

значення навантаження при осіданні 15 см. Навантаження, яке сприймає ростверк, знаходилось як різниця між несучою здатністю пальового фундаменту з низьким ростверком і несучою здатністю пальового фундаменту з високим ростверком. Також визначена частка роботи ростверка в складі пальового фундаменту, за результатами побудований графік залежності частки роботи ростверка від кроку паль (рис. 7).

Таблиця 1

Несуча здатність пальового фундаменту з низьким і високим ростверком

№ п/п	Довжина, кількість і крок паль	Несуча здатність пальового фундаменту, кН		Навантаження, яке сприймає ростверк $P_H - P_B$	Частка роботи ростверк у %	Сума несучих здатностей паль, кН		$\frac{P_B}{P_{\Sigma 1}}$	$\frac{P_B}{P_{\Sigma 2}}$
		з низьким ростверком P_H	з високим ростверком P_B			$P_{\Sigma 1}$ при $S=0,2S_u$	$P_{\Sigma 2}$ при $S=S_u$		
1	C6-30, 46шт, 3d	44 140	35 805	8 335	18	34086	64030	1,05	0,56
2	C6-30, 22шт, 6d	43 928	31 945	11 983	27	16320	30910	1,95	1,03
3	C6-30, 16шт, 9d	43 818	27 195	16 623	38	11856	22480	2,29	1,21
4	C6-30, 12шт, 12d	37 800	16 724	21 025	55	8892	16860	1,88	0,99

З наведених в таблиці 1 даних видно, що при збільшенні відстані між палями збільшується частка роботи ростверка у складі пальового фундаменту. Це підтверджується даними, що отримані на основі проведених модельних досліджень [6].

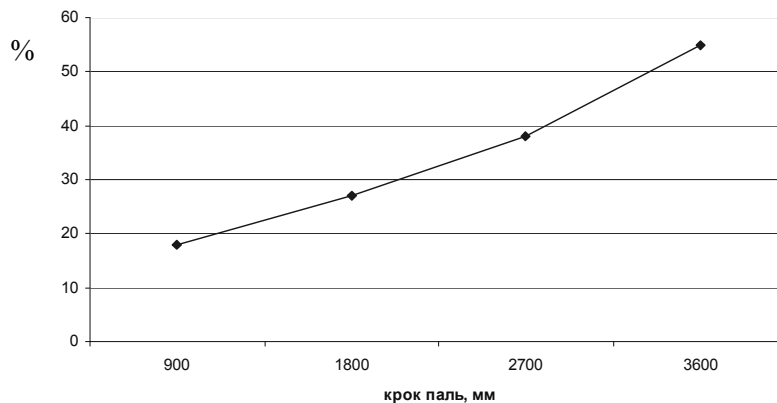


Рис. 7. Графік залежності частки, яку складає несуча здатність ростверка у складі підсиленого фундаменту, від кроку паль

Для визначення кушового ефекту роботи групи паль було проведено моделювання в Plaxis 3D роботи одиночної палі. Для порівняння в таблиці 1 наведено значення суми несучої здатності одиночних паль (при $S=0,2S_u$) і визначено співвідношення несучої здатності пальового фундаменту з високим ростверком та суми несучих здатностей одиночних паль. На графіку (рис. 8) наведено залежність кушового ефекту від кроку паль при різному критерії визначення несучої здатності одиночних паль. Результати показують, що при значному кроці паль запропонований нормами критерій визначення несучої здатності одиночні палі при $S=0,2S_u$ не є коректним. Тому висновок про величину кушового ефекту потребує уточнення питання вибору критерію.

Для порівняння було виконано теоретичний розрахунок несучої здатності пальових фундаментів згідно з нині діючими нормами [1]. Несуча здатність пальових фундаментів визначалась як сума несучих здатностей паль. Несуча здатність забивної палі C6-30 за теоретичним розрахунком складає 700 кН. Результати порівняння наведені в таблиці 2.

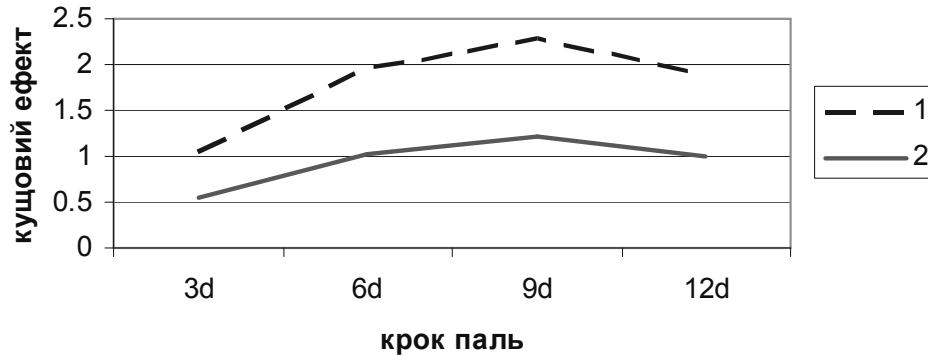


Рис. 8. Графік залежності кушового ефекту від кроку паль:

- 1 – критерієм визначення несучої здатності одиночні палі є величина осідання $S=0,2S_u$;
- 2 – критерієм визначення несучої здатності одиночні палі є величина осідання $S=S_u$ ($S_u=15\text{см}$).

Таблиця 2

Порівняння несучої здатності пальових фундаментів, що отримана за результатами моделювання, з теоретичним розрахунком згідно з чинними нормами [1]

№ п/п	Довжина, кількість і крок паль	Несуча здатність пальового фундаменту з низьким ростверком, P_n , кН	Несуча здатність пальового фундаменту згідно СНиП 2.02.03-85, $P_{\text{СНиП}}$, кН	$\frac{P_n}{P_{\text{СНиП}}}$
1	С6-30, 46шт, 3d	44 140	32200	1.37
2	С6-30, 22шт, 6d	43 928	15400	2.85
3	С6-30, 16шт, 9d	43 818	11200	3.91
4	С6-30, 12шт, 12d	37 800	8400	4.5

З таблиці 2 видно, що розрахунок згідно з чинними нормативними документами дає занижений результат. Найбільш близьке значення отриманих несучих здатностей спостерігається при кроці 3d. При збільшенні кроку різниця між отриманими значеннями зростає.

Ряд авторів пропонує визначати несучу здатність пальового фундаменту як суму несучої здатності плити ростверка та суми несучої здатності паль. Це не зовсім коректно, оскільки розглядається окремо одна від одної робота кожної складової: паль і ростверка.

Корнієнко М. В. [7] пропонує при розрахунку несучої здатності підсиленого пальового фундаменту враховувати роботу ростверка як добуток його площі і розрахункового опору ґрунту під подошвою. При цьому несучу здатність паль по бічній поверхні вираховують за винятком верхнього шару (під подошвою фундаменту) товщиною близько $1...1,5 b$, де b – ширина ростверка. Використаємо такий підхід для теоретичного розрахунку: приймаємо, що паля не працює по боковій поверхні на глибині до $1,25b=2,75$ м і порівняємо з отриманими значеннями при моделюванні (табл. 3). Несуча здатність палі в пальовому фундаменті з врахуванням пропозиції Корнієнко М. В. складає 520 кН, розрахунковий опір під подошвою фундаменту мілкого закладання $R=338$ кПа, площа ростверка визначалась без врахування площі, що приходить на палі.

Для порівняння було виконано моделювання в Plaxis 3D плитного фундаменту (розміри якого відповідають розмірам ростверка). Несуча здатність пальового фундаменту, що визначена як алгебраїчна сума несучих здатностей паль та плити, для порівняння показана в таблиці 3.

З таблиць 2 і 3 можна зробити висновок, що несуча здатність пальового фундаменту, яка визначена теоретичними розрахунками, суттєво відмінна від несучої здатності пальового фундаменту, що визначена математичним моделюванням. Це пояснюється тим, що теоретичні методики містять цілий ряд спрощень і допущень.

Порівняння несучої здатності пальових фундаментів, що отримана за результатами моделювання, з теоретичним розрахунком

№ п/п	Довжина, кількість і крок паль	Несуча здатність пальового фундаменту з низьким ростверком, R_n , кН	Несуча здатність пальового фундаменту (за Корнієнко), R_1 , кН	$\frac{R_H}{R_1}$	Несуча здатність пальового фундаменту (за Plaxis) як сума плити і паль, R_2 , кН	$\frac{R_H}{R_2}$
1	С6-30, 46шт, 3d	44 140	38 880	1,06	45086	0,98
2	С6-30, 22шт, 6d	43 928	27 130	1,62	27302	1,61
3	С6-30, 16шт, 9d	43 818	24 192	1,81	22856	1,91
4	С6-30, 12шт, 12d	37 800	22 247	1,70	19892	1,9

Висновки

- Програма Plaxis 3D з достатньою точністю відображає характер поведінки ґрунтів, тому її доцільно застосовувати при моделюванні;
- частка роботи ростверка у складі пальового фундаменту збільшується зі збільшенням відстані між палями;
- несуча здатність пальового фундаменту, що визначена згідно з чинними нормами [1] занижена, що не однократно було зауважено рядом авторів і впливає з результатів даного моделювання;
- визначати несучу здатність пальового фундаменту як суму несучих здатностей паль (з врахуванням частини бокової поверхні під ростверком, що не працює) та плити доцільно тільки при кроці 3d. Зі збільшенням кроку між палями такий підхід дає занижене значення несучої здатності;
- просте підсумовування несучої здатності паль і плити не доцільно використовувати взагалі, оскільки при кроці 3d отримуємо несучу здатність, яка перевищує фактичну;
- результати проведеного математичного моделювання свідчать про доцільність і необхідність продовження дослідження фундаментів мілкового закладання, що підсилюються палями різної довжини та з різним кроком.

Список літератури

1. Свайные фундаменты: СНиП 2.02.03-85. – [Введен в действие с 1-01-1987]. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1986. – 48 с.
2. Микитенко М. И. Исследование работы свайных фундаментов с низкими ростверками / Микитенко М. И., Сернов В. А., Щербицкий Д. Л., Балаш Н. С. // Будівельні конструкції. – 2004. – Вип. 59. – С.420-425.
3. Ковальський Р. К. Дослідження роботи ґрунту під низьким ростверком пальового фундаменту / Р. К. Ковальський // Світ геотехніки. – 2007. – №1. – С.17-21.
4. Далматов Б. И. Проектирование свайных фундаментов в условиях слабых грунтов / Далматов Б. И., Лапшин Ф. К., Россихин Ю. В. – Стройиздат, Лен. отд-ние., 1975. – 240 с.:ил.
5. Бартоломей А. А. Расчет осадок ленточных фундаментов / А. А. Бартоломей, И. М. Омельчак, Б. С. Юшков. – Москва: Стройиздат, 1994. – 384 с.:ил. – Библиогр.: с. 374.
6. Маєвська І. В. Результати модельних досліджень стрічкових фундаментів мілкового закладання, що підсилюються палями / Маєвська І. В., Блащук Н. В. // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. – 2009. – №2(7). – С.64-69.
7. Матеріали семінару: «Основи, фундаменти та підземні споруди. Проектування, будівництво та надійна та безпечна експлуатація». м. Київ, 25-26 лютого 2009 р.

Маєвська Ірина Вікторівна – к.т.н., доцент кафедри промислового та цивільного будівництва Вінницького національного технічного університету.

Блащук Наталя Вікторівна – асистент кафедри промислового та цивільного будівництва Вінницького національного технічного університету.