

РОБОТА БУРОВИХ ПАЛЬ І РОСТВЕРКУ У СКЛАДІ СТОВПЧАСТОГО ПАЛЬОВОГО ФУНДАМЕНТУ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Досліджена реалізація роботи ростверку і паль у складі стовпчастого пальового фундаменту з бурових паль у порівнянні з роботою одиночної палі і ростверку як фундаменту мілкового закладання в залежності від геометричних параметрів фундаменту і виду ґрунтів.

Встановлено, що ступінь реалізації несучої здатності палі і ростверку у складі пальового фундаменту залежить від відносної довжини і кроку паль. Реалізація несучої здатності паль у складі фундаменту підвищується із збільшенням кроку паль та із збільшенням їх відносної довжини, реалізація несучої здатності ростверку збільшується із збільшенням кроку паль.

Використання одержаних залежностей при розрахунках дозволить забезпечити при проектуванні економію матеріалів паль на величину до 30%.

Ключові слова: стовпчастий пальовий фундамент, ростверк, бурова паля, перерозподіл, несуча здатність.

Abstract

The implementation of the work of the grating and piles as a part of the columnar pile foundation of drilling piles in comparison with the work of a single pile and grid as the foundation of shallow laying depending on geometry and type of soil is investigated.

It is established that the degree of realization of bearing capacity of a pile and a grid as a part of the pile base depends on relative length and a step of piles. The realization of the bearing capacity of piles in the foundation increases with increasing pitch of piles and with increasing their relative length, the realization of bearing capacity of the grille increases with increasing pitch of piles.

Use of the received dependences at calculations will allow to provide at designing economy of materials of piles for size up to 30%.

Keywords: columnar pile foundation, grid, drilling pile, redistribution, bearing capacity.

Вступ

Існуючі методи розрахунку пальових фундаментів досить умовні. В їхню основу не в достатній мірі закладено аналіз механічних процесів, що виникають при їхньому навантаженні. Саме тому розміри пальових фундаментів визначаються розрахунком по принципу простого складання несучих здатностей одиночних паль [1], хоча гранична несуча здатність стовпчастого пальового фундаменту не є простим додаванням граничних несучих здатностей одиночних паль. Великою кількістю дослідів встановлено, що у складі стовпчастого пальового фундаменту частина навантаження передається на палі, а частина – на ростверк [2-7]. В результаті адекватного врахування роботи елементів пальового фундаменту відбувається зменшення вартості фундаменту в цілому. Ці обставини зумовлюють доцільність та актуальність подальшого дослідження напружено-деформованого стану стовпчастого пальового фундаменту.

Особливо це стосується стовпчастих фундаментів з бурових паль, для яких практично відсутні наукові дослідження.

Створення достовірної розрахункової моделі ґрунтової основи, що забезпечує достатню відповідність між результатами розрахунку і дійсністю – 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 скінченних елементів та умов просторової задачі.

Результати дослідження

У даній роботі були поставлені задачі:

- виконати огляд експериментальних досліджень сумісної роботи паль та низького ростверку у складі пальового фундаменту;

- шляхом чисельного моделювання, в якому використовується пружно-пластична модель ґрунту, методом скінчених елементів (МСЕ) проаналізувати напружено-деформований стан систем «ростверк – бурові палі – основа»;

- виявити вплив фізико-механічних характеристик основи та роль геометричних параметрів пальових фундаментів на частку несучої здатності ростверку і паль у складі пальових фундаментів при моделюванні методом скінчених елементів;

- розробити адекватну інженерну методику визначення допустимого навантаження на пальовий фундамент із врахуванням сумісної роботи його елементів з основою.

При вирішенні поставлених задач було виконане математичне моделювання роботи під навантаженням бурових паль в програмному комплексі «Plaxis 3D Foundation».

Відомо, що факторами, які впливають на розподіл навантаження між елементами пальового фундаменту, є:

- довжина паль (l_i), м;
- розмір поперечного перерізу палі (d), м;
- відстань між палями (a_i, b_i), м;
- кількість паль у кущі (n);
- фізико-механічні характеристики ґрунту;
- спосіб влаштування паль.

В даній роботі кількість паль у кущі була прийнята сталою - 9 шт. Розглядалися бурові палі.

Програма вивчення частки навантаження, що сприймається ростверком і палями у складі стовпчастого пальового фундаменту, передбачала наступні етапи:

- створення розрахункової моделі стовпчастого пальового фундаменту;
- дослідження залежності навантаження, що сприймається ростверком і палями у складі стовпчастого пальового фундаменту, від довжини паль, їх кроку та характеристик ґрунту;
- побудова графіків залежності «осідання-навантаження».

При моделюванні були прийняті наступні передумови і параметри:

- модель ґрунту основи – пружно-пластична модель Кулона-Мора;
- за навантаження, що сприймається фундаментом, приймається значення зовнішнього навантаження без урахування ваги ростверку при деформаціях, що не перевищують допустимого значення 10 см;

- частка навантаження, що сприймається ростверком, визначається як добуток реактивного опору основи на площу ростверку без урахування площі паль;

- частка навантаження, що сприймається палями, визначається як різниця між загальним навантаженням на фундамент і навантаженням, що сприймається ростверком.

Моделльні експерименти розділено на такі підгрупи:

I - моделювання сумісної роботи ростверку і паль на однорідній піщаній основі при довжинах паль 3 м, 6 м, 9 м, 12 м та при осьовій відстані між ними 3d, 5d, 7d, товщина ростверку 500 мм.

II - моделювання сумісної роботи ростверку і паль на однорідній глинистій основі при такому ж варіювання геометричними параметрами.

III – моделювання роботи одиночних паль різної довжини в різних ґрунтових умовах підгруп I – II;

IV – моделювання роботи ростверку як фундаменту мілкового закладання в різних ґрунтових умовах підгруп I – II.

У таблиці 1 представлена програма моделювання.

При кількості паль 9 шт. (підгрупи I – II), кроці паль 3d ростверк мав габаритні розміри в плані 2,4 м x 2,4 м; при кроці паль 5d – 3,6 м x 3,6 м; при кроці паль 7d – 4,8 м x 4,8 м.

Для прикладу на рис.1 наведені розрахункові моделі стовпчастого пальового фундаменту та ґрунтового масиву.

Результатом моделювання роботи пальових фундаментів є визначення напружень і перемішень у ґрунтовому масиві та побудова графіку осідання – навантаження.

На рис. 2 наведено мозаїки деформування системи «паль – ростверк – основа» для пальових фундаментів з розмірами ростверку 2,4 м x 2,4 м; 3,6 м x 3,6 м; 4,8 м x 4,8 м з палями довжиною 3 м. При малому кроці паль фундамент працює з основою як єдиний масив, при збільшенні відстані між палями ґрунт під подошвою ростверку в міжпальовому просторі краще реалізує свою несучу здатність.

Для оцінки роботи окремої палі у складі фундаменту було проведено моделювання роботи одиночних паль для всіх довжин та роботи ростверків при різному кроці паль як фундаментів мілкового закладання.

Таблиця 1 - Програма моделювання сумісної роботи ростверку і бурових паль стовпчастого пального фундаменту для підгруп I – II (додатково варіюються вид ґрунту)

Група дослідів	Довжина та діаметр паль	Крок і кількість паль
1	L = 3 м, d = 0,3 м	3d, 9 шт.
2		5d, 9 шт.
3		7d, 9 шт.
4	L = 6 м, d = 0,3 м	3d, 9 шт.
5		5d, 9 шт.
6		7d, 9 шт.
7	L = 9 м, d = 0,3 м	3d, 9 шт.
8		5d, 9 шт.
9		7d, 9 шт.
10	L = 12 м, d = 0,3 м	3d, 9 шт.
11		5d, 9 шт.
12		7d, 9 шт.

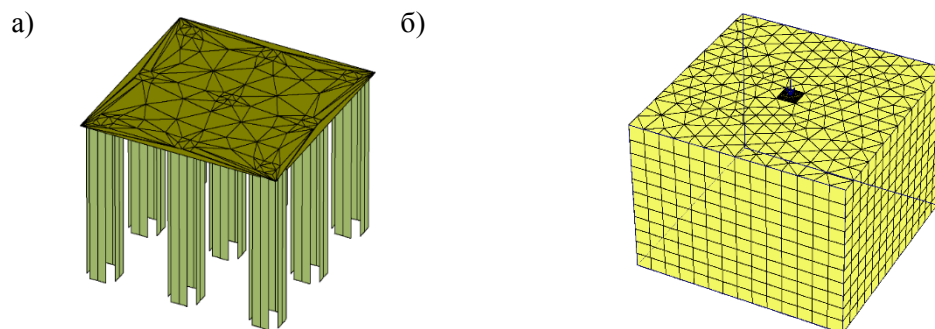


Рис. 1 - Розрахункові моделі стовпчастого пального фундаменту: а) паливий фундамент, палі довжиною 3 м; б) ґрунтовий масив

Несуча здатність групи паль, одиночних паль та ростверків як фундаментів мілкового закладання визначалась при деформації 100 мм.

На рис. 3 наведено графіки залежності несучої здатності стовпчастого пального фундаменту в цілому від кроку паль при довжині паль 3 м, 6 м, 9 м, 12 м для піщаних та глинистих ґрунтів. Бачимо закономірне зростання несучої здатності фундаменту при збільшенні довжини паль та їх кроку. Якісний характер зростання близький для різних видів ґрунту.

При аналізі результатів моделювання визначались:

- частка ростверку у навантаженні на фундамент;
- усереднене навантаження на палю у складі фундаменту для порівняння з несучою здатністю одиночної палі;
- реактивний опір під подошвою ростверка і ступінь його реалізації у порівнянні з реактивним опором під подошвою відповідного фундаменту мілкового закладання.

На рис. 4 наведені графіки залежності частки ростверку у навантаженні на стовпчастий паливий фундамент від довжини і кроку паль.

При збільшенні осьової відстані між палями частка ростверку у навантаженні на фундамент збільшується, оскільки площа плити ростверку збільшилась. При зміні довжини паль частка ростверку змінюється несуттєво.

Порівняння графіків для різних ґрунтів показує, що для глинистого ґрунту частка ростверку дещо зменшилась у порівнянні з піщаним. Це можна пояснити більшою деформативністю прийнятого для розгляду глинистого ґрунту.

Отже, ґрунт під ростверком краще включається у роботу для ґрунту з більшим модулем деформації.

На рис. 5 наведені графіки залежності усередненого навантаження на палю у складі фундаменту від довжини палів та їх кроку.

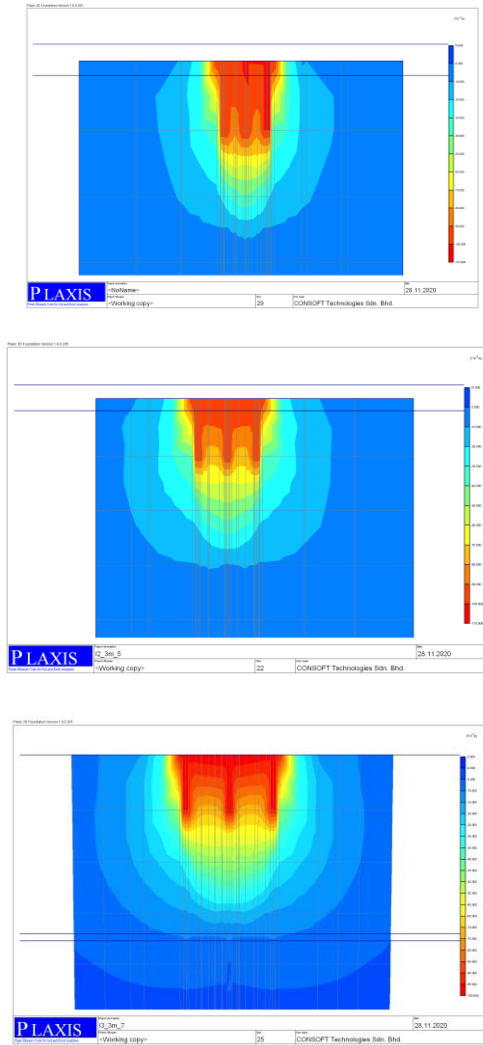


Рис. 2 - Мозаїки вертикальних деформацій ґрунту при навантаженні пального фундаменту при кроці палів 3d, 5d та 7d; довжина палів 3 м

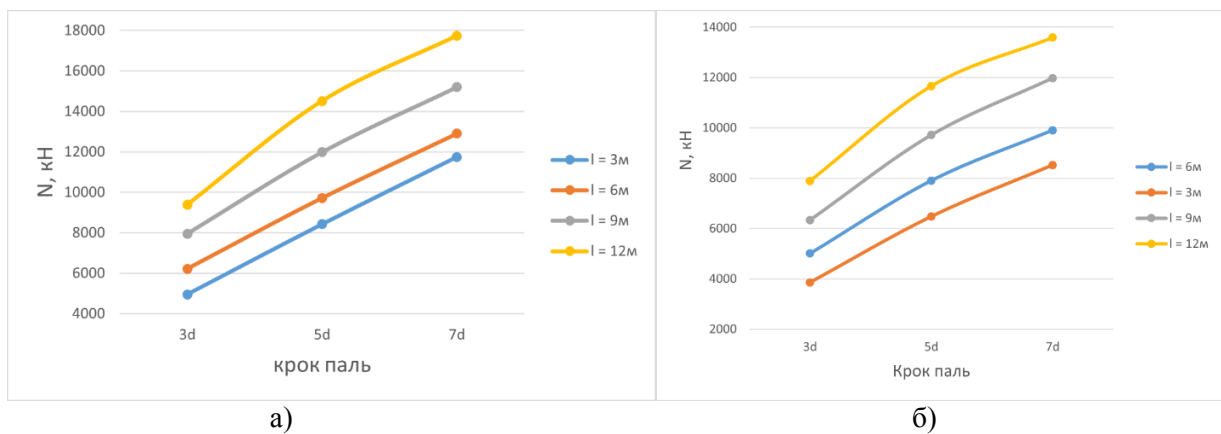


Рис. 3 - Графіки залежності несучої здатності стовпчастого пального фундаменту від кроку і довжини палів: а) - для піщаного ґрунту; б) - для глинистого ґрунту

Видно, що ступінь реалізації несучої здатності палі у складі пальового фундаменту залежить від довжини і кроку палі. При збільшенні як кроку, так і довжини палі ступінь реалізації несучої здатності палі зростає. Характер включення палі у роботу аналогічний роботі у різних ґрунтах.

Навантаження, що припадає на ростверк пальового фундаменту менше у порівнянні з навантаженням на ростверк, як фундамент мілкого закладання. На рис. 6 наведено графік залежності ступеню реалізації тиску під подошвою ростверку стовпчастого пальового фундаменту від кроку палі різної довжини.

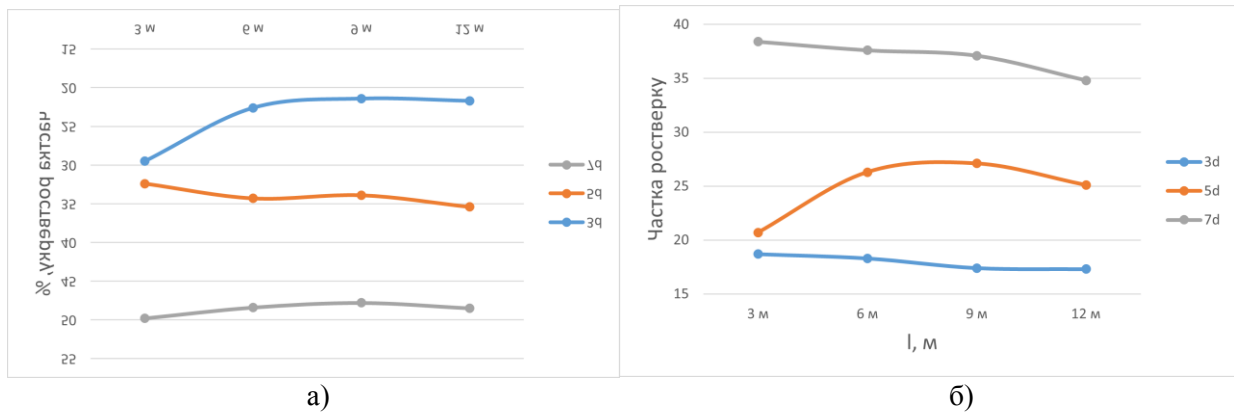


Рис. 4 - Графіки залежності частки ростверку у навантаженні на стовпчастий паливий фундамент від довжини і кроку палі: а) - для піщаного ґрунту; б) - для глинистого ґрунту

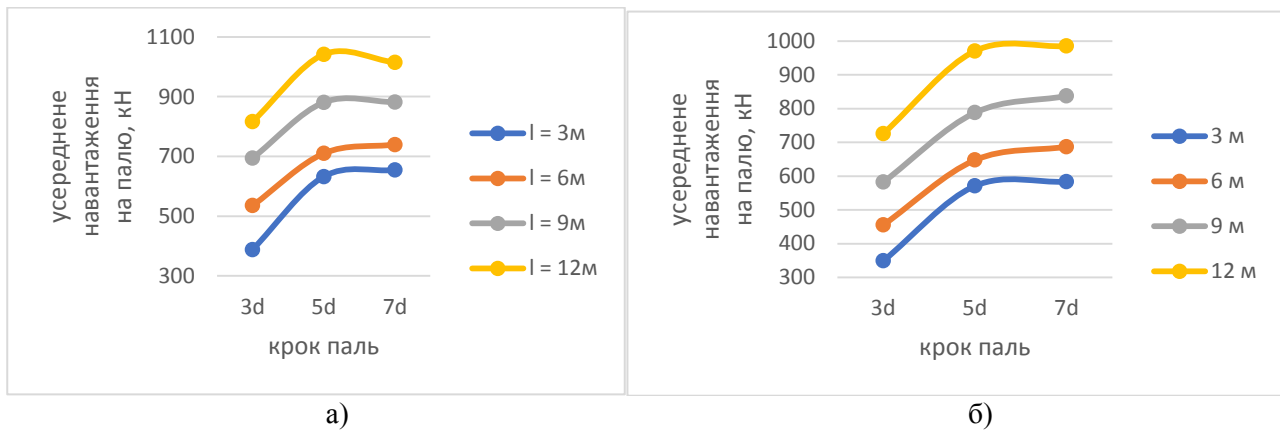


Рис. 5 - Графіки залежності усередненого навантаження на палю у складі стовпчастого пальового фундаменту від кроку та довжини палі: а) - для піщаного ґрунту; б) - для глинистого ґрунту

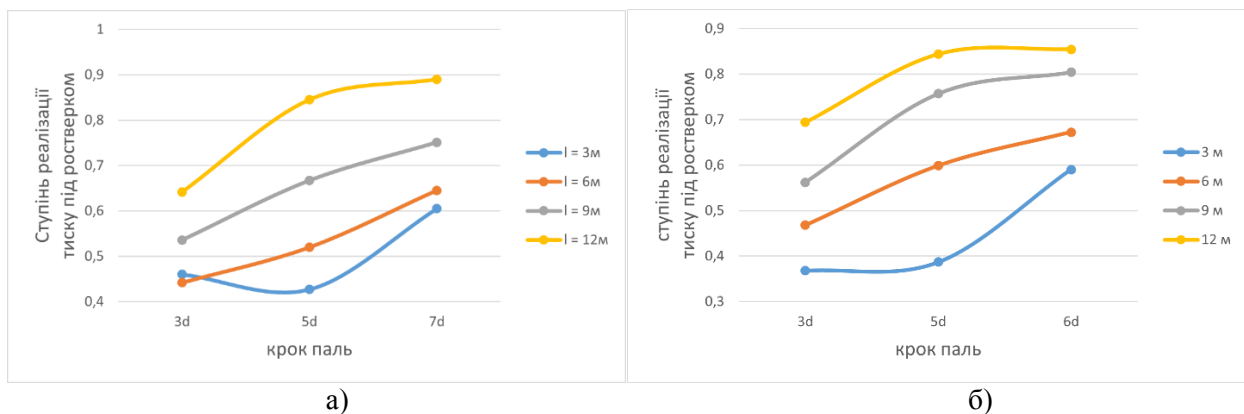


Рис. 6 - Залежність ступеню реалізації тиску під подошвою ростверку стовпчастого пальового фундаменту від кроку палі різної довжини: а) - для піщаного ґрунту; б) - для глинистого ґрунту

Бачимо, що тиск під подошвою ростверку складає 0,35-0,9 від можливого для заданого ґрунту. Найбільше значення має місце для палі великої довжини при найбільшому кроці палі. Характер зміни

ступеню реалізації тиску під подошвою ростверку аналогічний до фундаментів у глинистому та піщаному ґрунті. Для піщаного ґрунту з більшим модулем деформації ступінь реалізації дещо більший.

Висновки.

1. Несуча здатність стовпчастого пальового фундаменту з бурових паль з низьким ростверком перевищує суму несучих здатностей одночних паль.

2. Частка ростверку у навантаженні на фундамент залежить від осьової відстані між палями (крок паль). Довжина паль впливає на частку ростверку несуттєво. При збільшенні осьової відстані між палями несуча здатність плити ростверку збільшується. Частка навантаження, яке сприймає ростверк, знаходиться в межах 0,2 -0,5 від загального навантаження на куш.

3. Ступінь реалізації несучої здатності палі у складі пальового фундаменту з бурових паль залежить від довжини і кроку паль. Реалізація несучої здатності паль у складі фундаменту підвищується із збільшенням кроку паль та із збільшенням їх довжини.

4. Реактивний опір основи під подошвою ростверка при роботі пальового фундаменту менше за можливий реактивний опір фундаменту мілкого закладання відповідних розмірів. Ступінь реалізації тиску під подошвою ростверку стовпчастого пальового фундаменту залежить від кроку паль і їх довжини. Тиск під подошвою ростверку складає 0,35-0,9 від можливого для заданого ґрунту. Найбільше значення має місце для паль великої довжини при найбільшому кроці паль.

5. Вид ґрунту практично не впливає на характер перерозподілу зусиль між елементами стовпчастого пальового фундаменту з бурових паль. Збільшення піддатливості ґрунту (зменшення модуля деформації) під подошвою ростверка призводить до незначного зменшення частки ростверку.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. ДБН В.2.1-10-2009 зі зміною №1 та №2. Основи та фундаменти споруд. [Чинний від 2012-07-01]. – Київ : Мінрегіонбуд України, 2009. 161 с.

2. Рекомендации по расчету свайных фундаментов с несущими ростверками: Р 5.01.015.05 – [Срок действия: с 1.01.2006 г. по 1.01.2011г.]. – Минск: Научно-проектно-производственное республиканское унитарное предприятие «СТРОЙТЕХНОРМ», 2005. – 24с.

3. Маєвська І. В. Вплив виду ґрунту на сумісну роботу паль і ростверку в кушовому пальовому фундаменті / І. В. Маєвська, Н. В. Блашук, К. А. Чобанова // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. – 2013. – №2(15). – С.40-47.

4. Бартоломей А. А. Прогноз осадок свайных фундаментов / А. А. Бартоломей, И. М. Омельчак, Б. С. Юшков – М., Стройиздат, 1994. – 377 с. – Библиогр.: с. 374.

5. Цимбал С.Й., Карцева С.Л. Методика розрахунку пальових фундаментів з урахуванням роботи ростверку // Основи і фундаменти. – К.: КНУБА, 2004. – Вип. 28, с. 121-130.

6. Малишев О.М. Сумісна робота паль і ростверку у стовпчастому пальовому фундаменті/ О.М. Малишев, С.О. Цимбал, І.В. Маєвська, Н.В. Блашук // Тези регіональної науково-практичної інтернет-конференції студентів, аспірантів та молодих науковців ВНТУ, м. Вінниця, ВНТУ, 2017 р. [Електронний ресурс]. Режим доступу:

<https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/mn/mn2018/paper/viewFile/3694/31033103>.

7. Блашук Н.В. Маєвська І.В., Попович М.М. Перерозподіл зусиль між елементами стовпчастого пальового фундаменту/, „Сучасні технології, матеріали та конструкції в будівництві”, н/т збірник ВНТУ, Вінниця. – 2018. – №1(24). – С.36-44.

Колібаба Вадим Вікторович — студент групи Б-19м, факультет будівництва теплоенергетики та газопостачання, Вінницький національний технічний університет, Вінниця; E-mail: b15b.kolibaba@gmail.com

Науковий керівник: **Маєвська Ірина Вікторівна** — канд. техн. наук, доцент кафедри промислового та цивільного будівництва, Вінницький національний технічний університет. E-mail: irina.mayevskaja@gmail.com maevska@vntu.edu.ua

Kolibaba Vadym Viktorovych — Department of Building Heating and Gas Supply, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

Supervisor: **Irina V. Mayevska** — Cand. Sc. (Eng), Assistant Professor of Building Heating and Gas Supply, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.