

# МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ АРМОВАНОЇ ОСНОВИ ГРУНТОЦЕМЕНТНИМИ ЕЛЕМЕНТАМИ З ВИКОРИСТАННЯМ ЗОЛИ ВИНЕСЕННЯ

Вінницький національний технічний університет

**Анотація.** В даній роботі виконане математичне моделювання роботи армованої основи ґрунтоцементними елементами з використанням золи винесення. Розглянутий стрічковий фундамент для якого виконано оптимізацію ґрунтоцементного масиву. На прикладі оптимального варіанту проаналізовано вплив добавок золи винесення на напружено-деформований стан системи «фундамент-армована основа».

**Ключові слова:** армуючий елемент; основа; ґрунтоцемент; мінеральна добавка; зола винесення; напружено-деформований стан.

**Abstract.** In this work mathematical modeling of the work of reinforced substrate with soil cement elements using ash removal is performed. The tape foundation for which soil cement optimization is performed is considered. On the example of an optimal variant the influence of ash removal additives on the stress-strain state of the foundation-reinforced base system is analyzed.

**Keywords:** reinforcing element; basis; soil cement; mineral additive; ash removal; stress-strain state.

## Вступ

У попередніх дослідженнях було визначено фізико-механічні властивості ґрунтоцементу з додаванням золи винесення [1]. Проведені дослідження показали, що в залежності від вмісту золи винесення (від 20 % до 80 % від ваги в'язучого) міцність ґрунтоцементу змінюється в межах 3,2-0,5 МПа. При цьому міцність ґрунтоцементу без використання золи складала 4,7 МПа. Модуль деформації ґрунтоцементу з використанням золи коливається в межах 2500-360 МПа а без використання золи складає 2760 МПа.

Отже можна зробити висновок про те, що при вмісті золи від 20 % до 60 % від ваги в'язучого міцність ґрунтоцементу та його деформаційні властивості є прийнятними для використання у ґрунтоцементних палях при армуванні основ.

Для визначення економічної доцільності використання золи винесення потрібно проаналізувати роботу армованої основи при різних властивостях ґрунтоцементу, адже відомо, що у більшості випадків проектної практики не має потреби у значній міцності армуючих елементів.

В даній роботі була поставлена задача виконати математичне моделювання армованого ґрунтоцементними палями масиву при роботі стрічкового фундаменту з метою визначення прийняттого відсотку вмісту золи винесення.

## Результати дослідження

Для аналізу був обраний стрічкових фундамент під середню стіну 4-поверхової будівлі з експлуатаційним навантаженням 243,29 кН/п.м. Ґрунтова основа представлена такими нашаруваннями (таблиця 1).

Таблиця 1 – Фізико-механічні характеристики ґрунтової основи

№ ПТЕ	Найменування ґрунтів	Потужність шару, м	Питома вага		Вологість		Питома вага частинок ґрунту		Коефіцієнт пористості		Ступінь вологості		Вологість на межі текучості		Вологість на межі пластичності		Число пластичності		Показник текучості		Питоме зчеплення		Кут внутрішнього тертя		Модуль деформації		Коефіцієнт Пуассона		Розрахунковий опір ґрунту	
			$\gamma$ , кН/м <sup>3</sup>	w	$\gamma_s$ , кН/м <sup>3</sup>	e	$S_r$	w <sub>L</sub>	w <sub>p</sub>	I <sub>p</sub>	I <sub>L</sub>	c, кПа	$\phi$ , град.	E, МПа	V	R <sub>0</sub> , кПа														
1	Рослинний шар	0,9-1,1	15,8	0,12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
2	Суглинок м'якопластичний, гумусований, жовто-бурий просадочний	6,0	18,7	0,18	26,8	0,73	0,70	0,24	0,15	0,09	0,99	14	7	-	200	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
3	Суглинок м'якопластичний, жовтий	необмеж.	18,8	0,27	26,8	0,81	0,89	0,28	0,19	0,09	0,90	15	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

Рівень ґрунтових вод – 7 м

Оскільки основою фундаменту мілкого закладання є просадковий ґрунт ІГЕ №2, базовим варіантом влаштування фундаменту була стрічка шириною 2,4 м підбраною з умовою допущення просідання.

В якості альтернативного варіанту пропонується використати фундамент мілкого закладання на армованій основі. Армуючим елементом є ґрунтоцементна паля довжиною 6 м та діаметром 0,3 м. Довжина палі обрана з умови повного прорізання просадкової товщі оскільки відомо, [2] що армування просадкового ґрунту ґрунтоцементними палями призводить до відсутності прояву просадковості під час замочування.

Положення фундаменту в ґрунті наведено на рисунку 1.

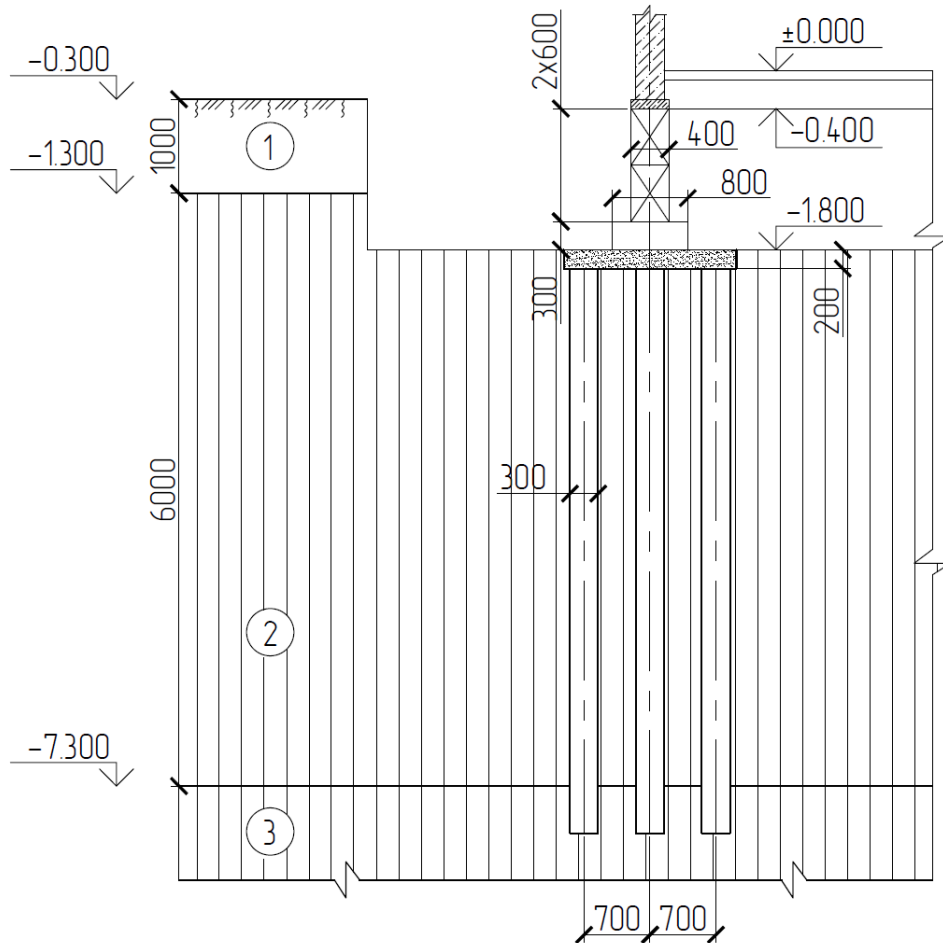


Рисунок 1 – Положення фундаменту з шириною підшви 0,8 м в ґрунті при трирядному розміщенні армуючих елементів

Моделювання роботи армованого ґрунтоцементними палями масиву виконувалось за допомогою програмного комплексу PLAXIS 3D Foundation. При моделюванні були прийняті наступні передумови і параметри:

- модель ґрунту основи – пружно-пластична модуль Кулона-Мора
- модель стрічкового фундаменту, що підсилюється, з співвідношенням сторін  $L/B \geq 10$
- армуючі елементи – циліндричні палі діаметром 0,3 м та довжиною 6 м
- спосіб влаштування армуючих елементів – з вийманням ґрунту
- розташування армуючих елементів в один, два та три ряди
- відстань між армуючими елементами не менше ніж  $3d$
- між армованим масивом та підшвою фундаменту передбачено прошарок піщаного ґрунту товщиною 200 мм
- розміри розрахункової області в плані 40x20x15 м
- за максимальне навантаження, що сприймається фундаментом прийняте навантаження на стіну будинку 243,29 кН/п.м

Модельні експерименти були розділені на такі підгрупи:

1 – визначення потрібного кроку та кількості рядів армуючих елементів за умови зменшення розмірів підшови до 0,6 та 0,8 м (тиск по підшві становив 863,33 кПа/м та 655 кПа/м відповідно). На даному етапі ґрунтоцементні палі приймалися без вмісту золи з модулем деформації 2700 МПа. У таблиці 2 наведено програму математичного моделювання.

Таблиця 2 – Програма математичного моделювання

Ширина підшови фундаменту, м	0,6		0,8		
Кількість рядів армуючих елементів	1	2	1	2	3

2 – для обраного на попередньому етапі оптимального варіанту розміщення елементів підсилення і ширини підшови провести аналіз напружено-деформованого стану системи «фундамент-армована основа» в залежності від вмісту золи винесення у складі ґрунтоцементу.

Для початку було змодельовано базовий варіант фундаменту шириною 2,4 м який без армування масиву забезпечує надійну роботу, для того, щоб у подальшому графіки осідання-навантаження для армованого масиву порівнювались з графіком осідання базового варіанту.

#### Результати першого етапу досліджень

В результаті першого етапу досліджень були одержані мозаїки деформації ґрунту в основі фундаменту, які дозволили побудувати залежності осідання-навантаження для кожного випадку.

На рисунку 2 наведено розрахункову модель стрічкового фундаменту базового варіанту та модель стрічкового фундаменту на армованому масиві при трирядному розміщенні паль.

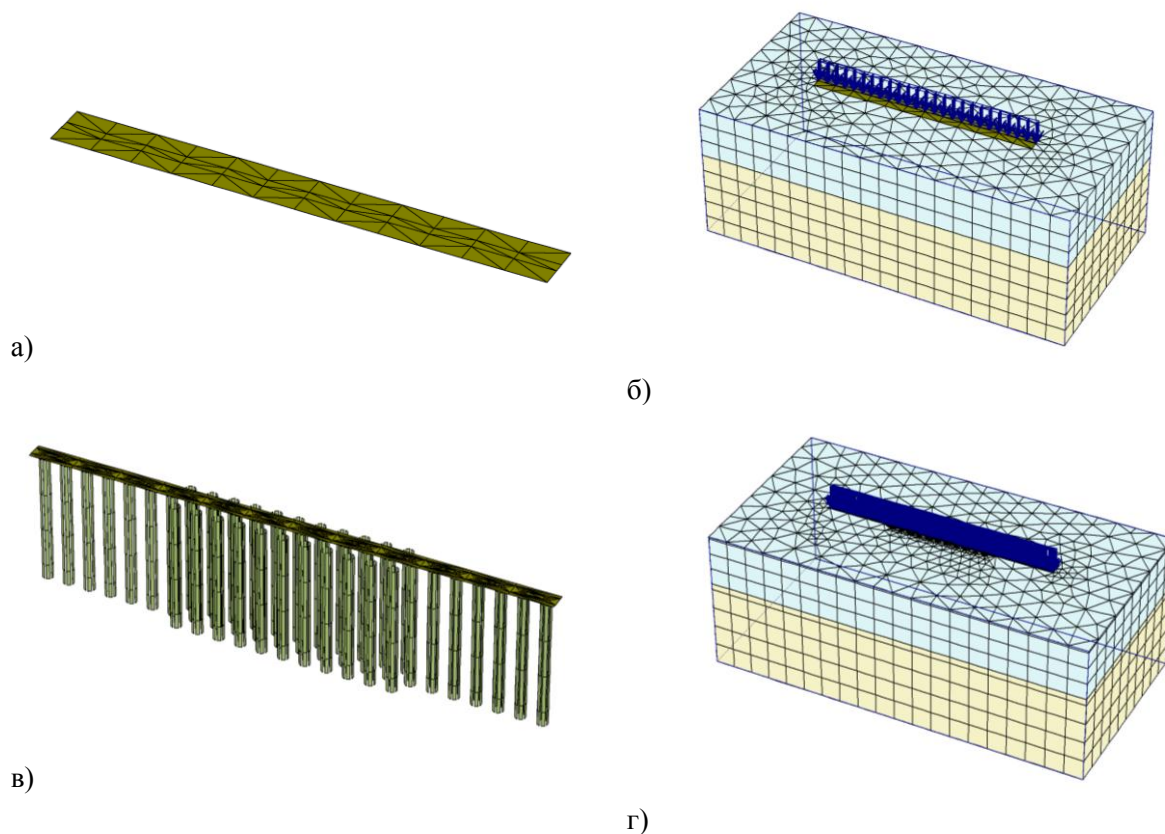


Рисунок 2 – Розрахункова модель стрічкового фундаменту базового варіанту (а) та розташування моделі під дією вертикального навантаження в масиві ґрунту (б); розрахункова модель стрічкового фундаменту на армованому масиві при трирядному розміщенні паль (в) та розташування моделі під дією вертикального навантаження в масиві ґрунту (г)

На рисунку 3 наведено графік осідання при ширині підшови фундаменту на армованому масиві 0,6 м та при ширині підшови фундаменту на армованому масиві 0,8 м.

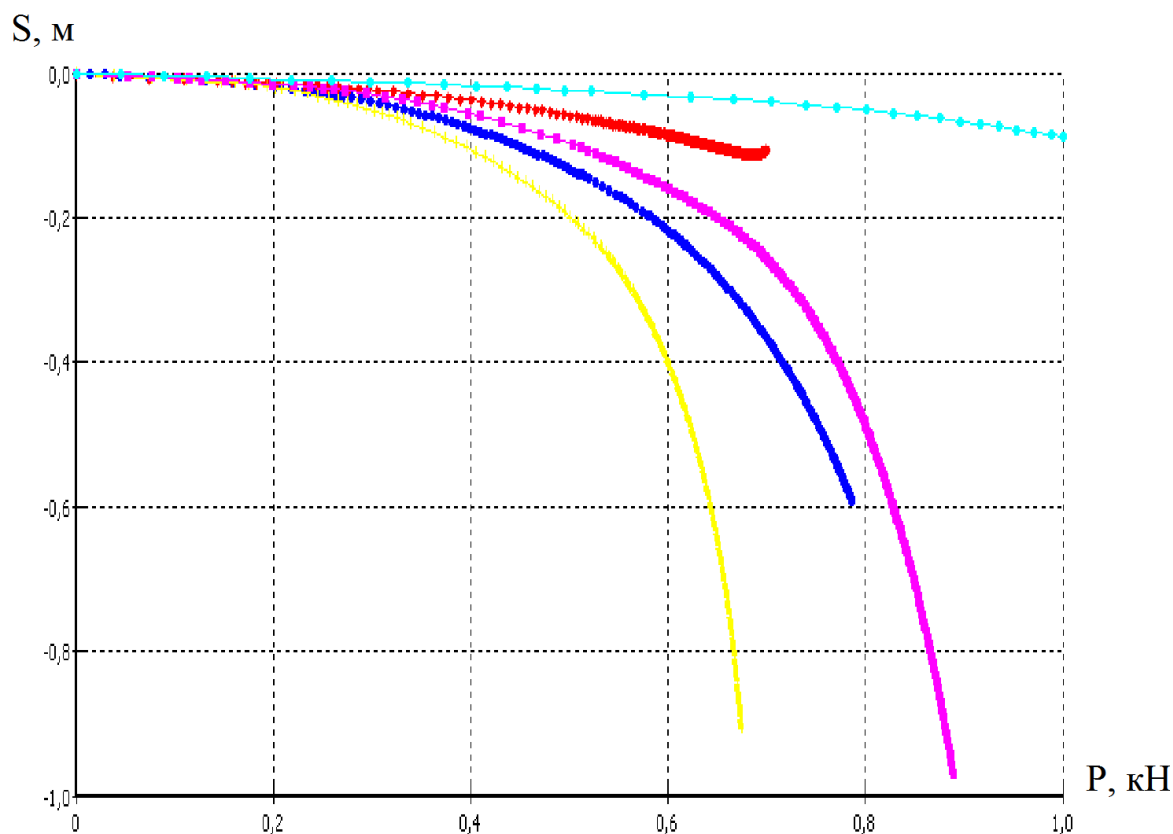


Рисунок 3 – Синій – графік осідання при однорядному розміщенні паль та ширині підшви 0,6 м; червоний – графік осідання при дворядному розміщенні паль та ширині підшви 0,6 м; жовтий – графік осідання при однорядному розміщенні паль та ширині підшви 0,8 м; рожевий – графік осідання при дворядному розміщенні паль та ширині підшви 0,8 м; зелений – графік осідання при трирядному розміщенні паль та ширині підшви 0,8 м

З графіків видно, що найбільш надійну роботу при заданому навантаженні забезпечує фундамент шириною 0,8 м при армуванні ґрунтоцементними палями розміщеними у три ряди, тому саме він був прийнятий в якості оптимального варіанту для подальшого дослідження.

#### Результати другого етапу досліджень

На другому етапі для оптимального варіанту було розглянуто п'ять варіантів ґрунтоцементних паль з різним відсотком вмісту золи виносення та відповідно з різним модулем деформації (таблиця 3).

Таблиця 3 – Значення модуля деформації ґрунтоцементу із різним вмістом мінеральної добавки

№	Вміст цементу, %	Вміст золи-виносення, %	Модуль деформації E, МПа
1	100	0	2757,91
2	80	20	2506,33
3	60	40	2305,75
4	40	60	2154,03
5	20	80	363,31

В результаті було одержано графік осідання-навантаження, який наведено на рисунку 4.

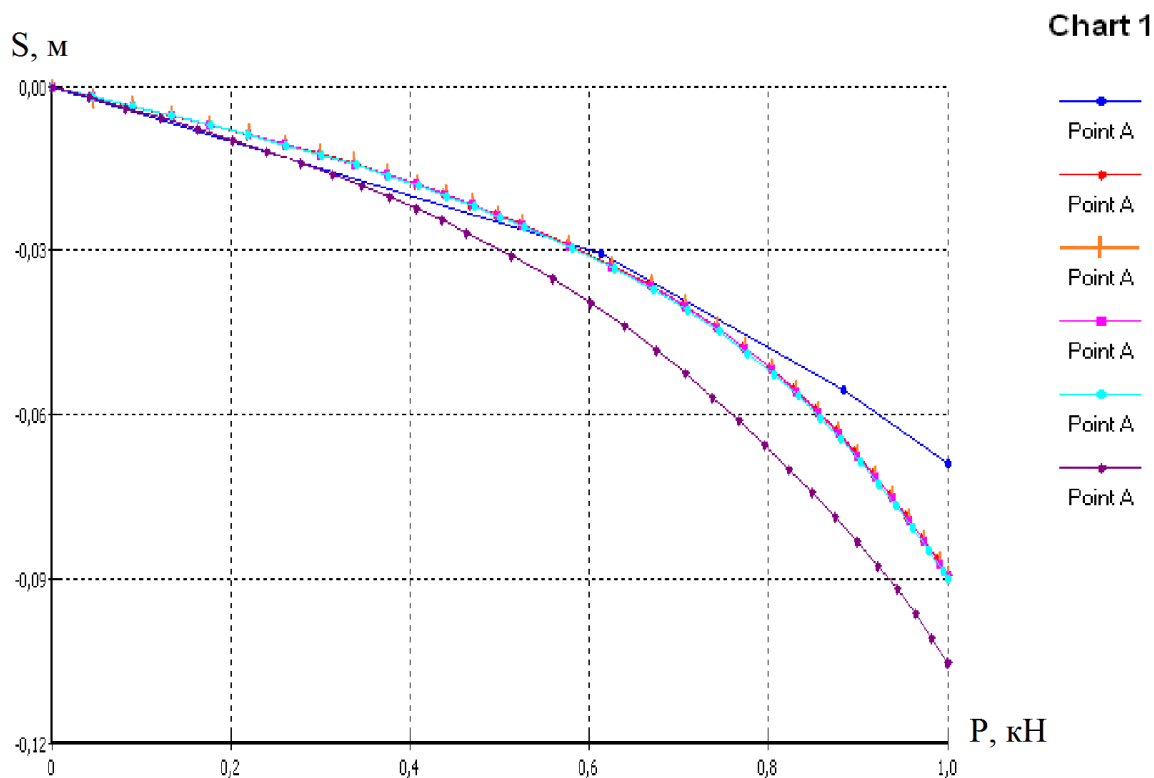


Рисунок 4 – Синій – графік осідання базового варіанту при ширині підшви 2,4 м; червоний – графік осідання при трирядному розміщенні паль та вмістом золи винесення 0 %; оранжевий – графік осідання при трирядному розміщенні паль та вмістом золи винесення 20 %; рожевий – графік осідання при трирядному розміщенні паль та вмістом золи винесення 40 %; зелений – графік осідання при трирядному розміщенні паль та вмістом золи винесення 60 %; фіолетовий – графік осідання при трирядному розміщенні паль та вмістом золи винесення 80 %;

Аналіз одержаних результатів показує, що збільшення вмісту золи винесення не суттєво погіршує роботу армованої основи, так як видно, що при додаванні золи винесення від 20 % до 60 % графіки майже проходять один біля одного. Виключення складає варіант армування при вмісті золи винесення 80 % при якому деформації фундаменту стають неприпустимими.

### Висновок

1. При армуванні основи стрічкового фундаменту ґрунтоцементними елементами оптимальним варіантом є трирядне розміщення армуючих паль.
2. Використання у складі ґрунтоцементу золи винесення у кількості до 60 відсотків від ваги в'язучого, дозволяє одержувати надійне рішення фундаменту із значним зменшенням ширини підшви.
3. Оскільки зола винесення є дешевим компонентом у порівнянні з цементом то заміна частини цементу на золу у складі в'язучого призводить до зменшення вартості фундаментів.

### СПИСОК ВИКОРИСАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Маєвська І. В., Очеретний В. П., Гончарук М. С. Визначення впливу добавок золи-винесення на властивості ґрунтоцементу. *Інноваційні технології в будівництві*: тези науково-технічної конференції, м. Вінниця 14.11.2018 р. [Електронний ресурс]: <http://ir.lib.vntu.edu.ua/bitstream/handle/123456789/25669/34-39.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
2. Петраш Р. В. СПІЛЬНА РОБОТА ҐРУНТУ ТА ЕЛЕМЕНТІВ АРМУВАННЯ, ЯКІ ВИГОТОВЛЕНІ ЗА БУРОЗМІШУВАЛЬНОЮ ТЕХНОЛОГІЄЮ : дис. канд. техн. наук : 05.23.02 / Петраш Руслан Васильович – Полтава, 2009. – 216 с

3. Зоценко М.Л. Досвід і перспектива підсилення основ вертикальними ґрунтоцементними елементами у міському будівництві / М.Л. Зоценко, Ж.М. Бовкун, В.І. Малярєнко // Бетон и железобетон в Украине. – 2006. - № 6. – С. 24-28
4. Армирование лессовых ґрунтов оснований зданий и сооружений / И.В. Степура, В.С. Шокарев, А.С. Трегуб, А.В. Павлов, В.П. Павленко // Международная конференция по проблемам механики ґрунтов, фундаментостроению и транспортному строительству. – Пермь: ПГТУ, 2004. – С. 213-221
5. Проектирование и устройство оснований и сооружений из армированного ґрунта. Строительные нормы Республики Беларусь. Приложение П10-01 к СНБ 5.01.01-99
6. Крисан, В. І. Дослідження напружено-деформованого стану ґрунтового масиву, армованого ґрунтоцементними елементами, що виготовлені по струминно-змішувальній методиці: автореф. дис. на здобуття наук. ст. канд. техн. наук: 05.23.02 / В. І. Крисан. – Полтава: ПолтНТУ, 2010. – 24 с.

**Гончарук Марина Сергіївна** — студентка групи Б-18м, факультет будівництва теплоенергетики та газопостачання, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: [b16ms.plyatsok@gmail.com](mailto:b16ms.plyatsok@gmail.com)

Науковий керівник: **Маєвська Ірина Вікторівна** — доцент кафедри "Будівництва, міського господарства та архітектури". Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: [irina.mayevskaja@gmail.com](mailto:irina.mayevskaja@gmail.com)

**Honcharook Marina** - student of the group B-18m, faculty of heat and power engineering and gas supply, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: [b16ms.plyatsok@gmail.com](mailto:b16ms.plyatsok@gmail.com)

Supervisor: **Maievskaaya Irina Victorivna** - associate professor of the Department of "Building, Urban and Architecture". Vinnitsa National Technical University, Vinnytsia, e-mail: [irina.mayevskaja@gmail.com](mailto:irina.mayevskaja@gmail.com)