

## СУЧАСНІ ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ У ЦИВІЛЬНОМУ БУДІВНИЦТВІ

<sup>1</sup> ВСП Вінницький фаховий коледж будівництва, архітектури та дизайну КНУБА;  
<sup>2</sup>Вінницький національний технічний університет

### **Анотація**

*У роботі розглянуто сучасні теплоізоляційні матеріали, що застосовуються у цивільному будівництві, їх класифікацію, фізико-технічні характеристики та ефективність використання. Проаналізовано основні групи матеріалів, зокрема мінераловатні вироби, пінополістирол, екструдований пінополістирол, пінополіуретан та новітні теплоізоляційні рішення. Визначено вплив теплоізоляції на енергоефективність будівель та екологічну складову будівельної галузі.*

**Ключові слова:** теплоізоляція, теплопровідність, енергоефективність, мінеральна вата, пінополістирол, цивільне будівництво.

### **Abstract**

*The paper examines modern thermal insulation materials used in civil engineering, their classification, physical and technical characteristics, and performance efficiency. The main groups of materials are analyzed, including mineral wool products, expanded polystyrene, extruded polystyrene, polyurethane foam, and innovative thermal insulation solutions. The impact of thermal insulation on building energy efficiency and the environmental component of the construction industry is determined.*

**Keywords:** thermal insulation, thermal conductivity, energy efficiency, mineral wool, expanded polystyrene, civil engineering.

### **Вступ**

У сучасних умовах розвитку будівельної галузі питання підвищення енергоефективності будівель набуває особливої актуальності. Значна частина тепловтрат припадає на огорожувальні конструкції, що обумовлює необхідність застосування ефективних теплоізоляційних матеріалів [1]. За результатами досліджень, втрати тепла через стіни, покрівлю та підлогу можуть досягати 50 - 60 % від загального теплового балансу будівлі [2-4].

Впровадження сучасних теплоізоляційних матеріалів дозволяє суттєво знизити енергоспоживання, підвищити комфорт проживання та забезпечити відповідність будівель сучасним нормативам. Крім того, використання ефективної теплоізоляції сприяє зменшенню викидів парникових газів та відповідає концепції сталого розвитку будівельної галузі [5-7].

Таким чином, дослідження властивостей та особливостей застосування сучасних теплоізоляційних матеріалів є важливим науковим і практичним завданням.

### **Аналітичні дослідження**

Сучасні теплоізоляційні матеріали є невід'ємною складовою конструкцій будівель і споруд, оскільки саме вони забезпечують необхідний рівень теплозахисту та впливають на енергетичну ефективність об'єктів цивільного будівництва. Основною характеристикою таких матеріалів є коефіцієнт теплопровідності, який визначає здатність матеріалу передавати теплову енергію. Чим менше значення цього показника, тим вищими є теплоізоляційні властивості матеріалу [8-10].

Кількісна оцінка теплоізоляційних властивостей матеріалів здійснюється за допомогою коефіцієнта теплопровідності  $\lambda$ , який визначається залежністю:

$$\lambda = (q \cdot \delta) / \Delta T$$

де  $\lambda$  - коефіцієнт теплопровідності, Вт/м·К;  
 $q$  - густина теплового потоку, Вт/м<sup>2</sup>;  
 $\delta$  - товщина матеріалу, м;  
 $\Delta T$  - різниця температур між поверхнями матеріалу, °С.

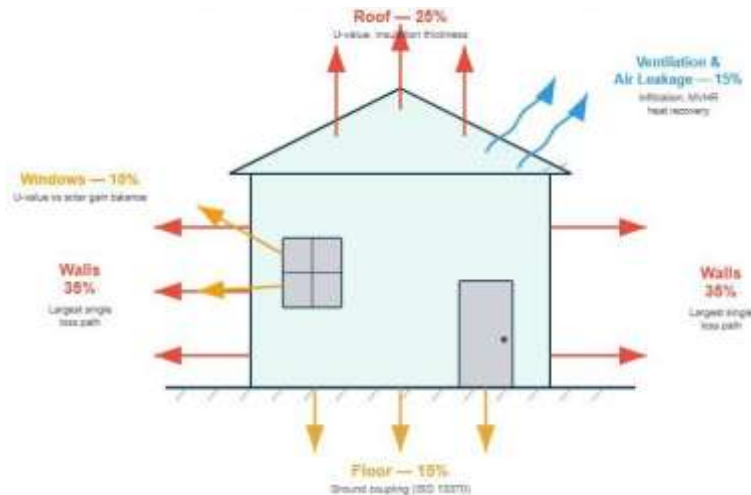


Рис.1. Схема тепловтрат будівлі через стіни, дах, вікна та підлогу

Серед найбільш поширених теплоізоляційних матеріалів у цивільному будівництві значне місце займають мінераловатні вироби. Вони виготовляються на основі розплавів гірських порід або скла і мають волокнисту структуру, що забезпечує наявність великої кількості повітряних пор, які і визначають їх низьку теплопровідність. Мінеральна вата характеризується коефіцієнтом теплопровідності в межах 0,035 - 0,045 Вт/м·К, високою вогнестійкістю, паропроникністю та добрими звукоізоляційними властивостями [11-13]. Разом з тим, до недоліків даного матеріалу можна віднести схильність до зволоження, що призводить до погіршення теплоізоляційних характеристик, а також необхідність додаткового захисту від вологи.



Рис. 2. Мікроструктура мінеральної вати

Широке застосування в будівництві отримали полімерні теплоізоляційні матеріали, зокрема пінополістирол. Даний матеріал має комірчасту структуру, що складається з замкнених повітряних пор, завдяки чому досягається низька теплопровідність, яка становить приблизно 0,032–0,040 Вт/м·К [11]. Пінополістирол відзначається малою густиною, простотою монтажу та доступною вартістю, що робить його одним із найбільш популярних матеріалів для утеплення фасадів. Водночас його основними недоліками є горючість та низька паропроникність, що обмежує сферу застосування.



Рис. 3. Комірчаста структура пінополістиролу

Екструдований пінополістирол є модифікованим видом пінополістиролу, який отримують методом екструзії. Він має більш щільну та однорідну структуру, що забезпечує ще нижчу теплопровідність у межах 0,028 - 0,034 Вт/м·К та підвищену міцність [14-16]. Завдяки цим властивостям матеріал широко використовується для утеплення фундаментів, підлог та інших конструкцій, що зазнають значних механічних навантажень. Крім того, екструдований пінополістирол має низьке водопоглинання, що підвищує його довговічність.

Окрему групу становлять напилювані теплоізоляційні матеріали, зокрема пінополіуретан. Його застосування дозволяє створювати безшовний теплоізоляційний шар, що значно зменшує тепловтрати через стики та шви. Коефіцієнт теплопровідності пінополіуретану може досягати 0,022 - 0,028 Вт/м·К, що є одним із найкращих показників серед сучасних матеріалів [17-19]. Водночас застосування цього матеріалу потребує спеціального обладнання та дотримання технологічних умов.

Хімічна структура пінополіуретану формується в результаті реакції поліолу та ізоціанату з утворенням поліуретанових зв'язків. У спрощеному вигляді процес можна подати рівнянням:



У результаті реакції утворюється просторово-зшита полімерна структура з великою кількістю замкнених пор, заповнених газом, що і забезпечує високі теплоізоляційні властивості матеріалу.

З розвитком технологій у будівництві з'являються інноваційні теплоізоляційні матеріали, такі як аерогелі та вакуумні теплоізоляційні панелі. Аерогелі характеризуються надзвичайно низькою теплопровідністю, що може бути меншою за 0,015 Вт/м·К, що робить їх перспективними для використання у високоефективних теплоізоляційних системах [20-22]. Проте їх широке застосування обмежується високою вартістю та складністю виробництва.

Для більш наочного порівняння властивостей сучасних теплоізоляційних матеріалів доцільно розглянути їх основні характеристики, наведені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Основні характеристики сучасних теплоізоляційних матеріалів

Матеріал	Теплопровідність, Вт/м*К	Густина, кг/м <sup>3</sup>	Водопоглинання, %
Мінеральна вата	0,035 – 0,045	30 – 200	До 10
Пінополістирол	0,032 – 0,040	10 – 35	2 – 4
Екструдований ППС	0,028 – 0,034	25 – 45	<1
Пінополіуретан	0,022 – 0,028	30 – 80	<2
Аерогель	0,013 – 0,018	3 – 150	<1

Аналіз даних таблиці 1 показує, що найнижчі показники теплопровідності мають аерогель та пінополіуретан, тому саме вони забезпечують найвищу теплоізоляційну ефективність. Водночас їх застосування не завжди є найбільш доцільним через високу вартість або технологічну складність. Мінеральна вата має дещо вищу теплопровідність, однак поєднує достатню ефективність, негорючість і паропроникність, тому залишається одним із найбільш практичних матеріалів для житлового будівництва.

Для більш глибокого аналізу ефективності сучасних теплоізоляційних матеріалів доцільно розглянути не лише їх фізико – технічні характеристики, але й експлуатаційні властивості, що визначають можливість застосування у конкретних умовах будівництва. Важливими критеріями є довговічність, стійкість до впливу вологи, пожежна безпека, технологічність монтажу та економічна доцільність використання.

У зв'язку з цим проведено узагальнення основних переваг та недоліків найбільш поширених теплоізоляційних матеріалів, що дозволяє більш обґрунтовано здійснювати їх вибір при проектуванні будівель.

Таблиця 2 – Переваги та недоліки теплоізоляційних матеріалів

<b>Матеріал</b>	<b>Переваги</b>	<b>Недоліки</b>
Мінеральна вата	Негорюча, висока паропроникність, хороші звукоізоляційні властивості, стійкість до дії високих температур	Схильність до зволоження, зниження теплоізоляційних властивостей при намоканні
Пінополістирол	Низька теплопровідність, мала густина, простота монтажу, низьке водопоглинання	Горючість, низька паропроникність, виділення токсичних речовин при горінні
Екструдований пінополістирол	Висока механічна міцність, дуже низьке водопоглинання, довговічність, стійкість до впливу вологи	Горючість, низька паропроникність, вища вартість порівняно зі звичайним пінополістиролом
Пінополіуретан	Дуже низька теплопровідність, утворення безшовного теплоізоляційного шару, висока адгезія до поверхонь	Горючість, складність технології нанесення, потреба у спеціальному обладнанні
Аерогель	Надзвичайно низька теплопровідність, мала маса, високоефективна теплоізоляція	Висока вартість, складність виробництва, обмежене практичне застосування

З таблиці 2 випливає, що аналіз наведених даних показує, що жоден із теплоізоляційних матеріалів не є універсальним, оскільки кожен має як значні переваги, так і певні обмеження. Зокрема, мінеральна вата відзначається високою пожежною безпекою та паропроникністю, що є критично важливим для житлових будівель, тоді як пінополістирол характеризується доступністю та простотою використання, але поступається за екологічними та експлуатаційними показниками.

Екструдований пінополістирол демонструє покращені механічні властивості та водостійкість, що робить його доцільним для застосування у конструкціях, які контактують із ґрунтом або вологою. Пінополіуретан забезпечує найкращі теплоізоляційні характеристики, однак його використання обмежується високою вартістю та складністю технології нанесення. Аерогель, незважаючи на свої унікальні властивості, на сьогодні залишається матеріалом перспективного застосування із-за вартості.

Для більш наочного представлення відмінностей між теплоізоляційними матеріалами доцільно використовувати графічний аналіз їх основних параметрів. Побудова відповідних графіків дозволяє візуально оцінити співвідношення між теплопровідністю та густиною матеріалів, що є важливими показниками при виборі теплоізоляції для конкретних умов експлуатації.

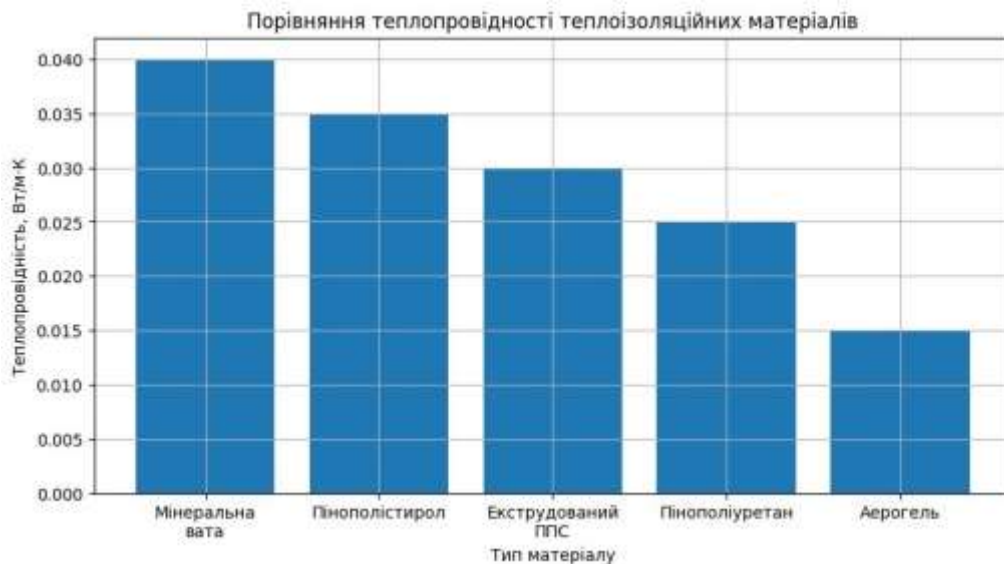


Рис.4. Порівняння теплопровідності теплоізоляційних матеріалів

З рис. 4 видно, що найменше значення коефіцієнта теплопровідності має аерогель, а серед більш доступних матеріалів високою ефективністю відзначається пінополіуретан. Мінеральна вата та пінополістирол мають вищі показники теплопровідності, однак залишаються поширеними завдяки доступності, простоті застосування та достатнім експлуатаційним характеристикам.

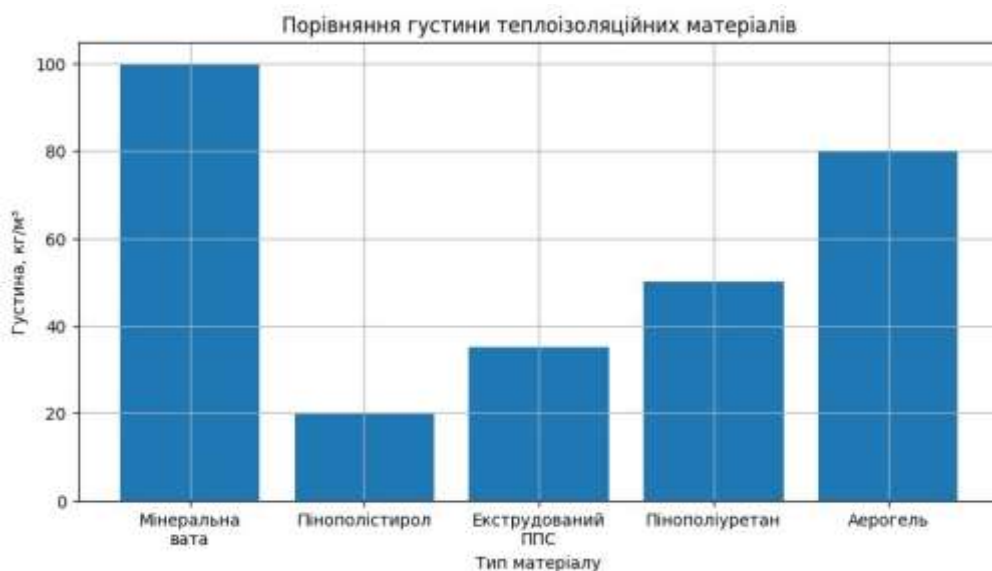


Рис.5. Порівняння густини теплоізоляційних матеріалів

З рис. 5 видно, що густина теплоізоляційних матеріалів істотно відрізняється, що впливає на їх механічну міцність, масу конструкції та сферу застосування. Матеріали з малою густиною зменшують навантаження на конструкції, однак не завжди мають достатню міцність для використання у навантажених ділянках. Тому при виборі теплоізоляції необхідно враховувати не лише теплопровідність, а й густину, водопоглинання, пожежну безпеку та умови експлуатації.

Таким чином, оптимальний вибір теплоізоляційного матеріалу повинен базуватися на комплексному врахуванні його фізико-технічних та експлуатаційних характеристик.

### Висновки

У результаті проведеного аналізу встановлено, що всі розглянуті теплоізоляційні матеріали мають свої переваги та обмеження, які визначають сферу їх застосування. Найбільш доцільним матеріалом у використанні є мінеральна вата, оскільки вона поєднує доступну вартість, достатню

теплоізоляційну ефективність, негорючість та паропроникність, що робить її оптимальною для житлового будівництва.

Разом з тим, більш ефективним за показником теплопровідності є пінополіуретан, який забезпечує максимальне зниження тепловтрат, однак його використання обмежується високою вартістю та технологічною складністю. Аерогель демонструє найкращі теплоізоляційні властивості, проте наразі залишається матеріалом перспективного застосування через надто високу вартість порівняно з традиційними теплоізоляційними матеріалами.

Таким чином, вибір оптимального теплоізоляційного матеріалу залежить від конкретних умов експлуатації. На сьогодні найбільш ефективним матеріалом за теплоізоляційними характеристиками є аерогель, проте найбільш доцільним для масового цивільного будівництва залишається мінеральна вата. Для підвищення енергоефективності будівель доцільним є також комбіноване використання теплоізоляційних матеріалів з урахуванням їх властивостей.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. ДБН В.2.6-31:2021. Теплова ізоляція та енергоефективність будівель. – Київ : Міністерство розвитку громад та територій України, 2021. – 32 с.
2. European Commission. Energy Performance of Buildings Directive (EPBD). – Brussels, 2018. – 24 р.
3. Білоус Д. А. Сучасні органічні теплоізоляційні матеріали [Електронний ресурс] / Д. А. Білоус, В. П. Ковальський, А. В. Бондар // Матеріали Всеукраїнської науково-практичної інтернет-конференції «Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи (МН-2023)», Вінниця, 22 червня 2023 р. – Електрон. текст. дані. – 2023. – Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/mn/mn2023/paper/view/18862>.
4. Ковальський В. П. Енергозбереження при реконструкції житлової секції застарілої серії [Текст] / В. П. Ковальський, Д. П. Щербань // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. – 2013. – № 2. – С. 116-118.
5. Cabeza L. F. Advances in Thermal Energy Storage Systems : Methods and Applications / L. F. Cabeza. – Woodhead Publishing, 2015. – 586 p.
6. Vereziuk V. et al. High-precision ultrasonic method for determining the distance between garbage truck and waste bin //Mechatronic Systems 1. – Routledge, 2021. – С. 279-290.
7. Балинська А. В., Любарський С. С., Ковальський В. П. Аналіз властивостей теплоізоляційних матеріалів з мінеральних розплавів: скловата, піноскло // Матеріали LIV Всеукраїнської науково-технічної конференції підрозділів ВНТУ, Вінниця, 24-27 березня 2025 р. Електрон. текст. дані. 2025. URI: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fbtegp/all-fbtegp-2025/paper/view/24404>
8. Callister W. D. Materials Science and Engineering: An Introduction / W. D. Callister. – 10th ed. – Wiley, 2018. – 960 p.
9. Kalafat, K., L. Vakhitova, and V. Drizhd. "Technical research and development." International Science Group. – Boston : Primedia eLaunch, 616 p. (2021).
10. Дзюбенко, А. Ю., and В. П. Ковальський. *Концепція використання утеплювача на основі піноізолу при влаштуванні вентиляованого фасаду*. ВНТУ, 2024.
11. Jelle B. P. Traditional, state-of-the-art and future thermal building insulation materials and solutions / B. P. Jelle // Energy and Buildings. – 2011. – Vol. 43, №10. – P. 2549–2563.
12. Юзькова, Є. П., В. П. Очеретний, and В. П. Ковальський. Аналіз різних видів утеплювачів по термічним та економічним показникам. ВНТУ, 2020.
13. Hladyshev, D., et al. Technical and agricultural sciences in modern realities: problems, prospects and solutions. International Science Group, 2023.
14. Papadopoulos A. M. State of the art in thermal insulation materials and aims for future developments / A. M. Papadopoulos // Energy and Buildings. – 2005. – Vol. 37, №1. – P. 77–86.
15. Лемешев, Михайло Степанович, and Олег Володимирович Березюк. "Ніздрюваті бетони з використанням промислових відходів." *Перспективні інновації в науці, освіті, виробництві та транспорті 2017: матеріали міжнародної науково-практичної Інтернет-конференції*. SWorld, 2017.

16. Ковальський, А. В., В. П. Ковальський, and Д. В. Смашнюк. *Особливості проектування багатопверхових енергозберігаючих будівель*. ВНТУ, 2019.
17. ASTM C1029-22. Standard Specification for Spray-Applied Rigid Cellular Polyurethane Thermal Insulation. – ASTM International, 2022. – 9 p.
18. Чумак, Ю. Ю., І. М. Вознюк, and В. П. Ковальський. *Мінеральна вата для утеплення та звукоізоляції будинків*. ВНТУ, 2024.
19. Мищик, Т. С., and В. П. Ковальський. "Преваги застосування композиційних матеріалів." *СУЧАСНІ СВІТОВІ ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ НАУКИ, ОСВІТИ, ТЕХНОЛОГІЙ ТА СУСПІЛЬСТВА* (2023): 66.
20. Сердюк В. Р. Сучасні теплоізоляційні матеріали у будівництві / В. Р. Сердюк // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. – 2019. – №2. – С. 45–51.
21. Дзюбенко, А. Ю., and В. П. Ковальський. *Обґрунтування доцільності використання піноізолу*. Одеська державна академія будівництва та архітектури, 2024..
22. Сердюк В. Р., Ковальський В. П. Оцінка усадки теплоізоляційного автоклавного газобетону. Матеріали міжнародної науково-технічної конференції «Структурутворення та руйнування композиційних будівельних матеріалів та конструкцій», 23 квітня 2024 р. Одеса, 2024. С. 129-135.

**Любарський Сергій Степанович** - викладач, Вінницький фаховий коледж будівництва, архітектури та дизайну Київського національного університету будівництва і архітектури e-mail: [sestls71@gmail.com](mailto:sestls71@gmail.com)

**Очеретний Володимир Петрович** — к.т.н., доцент, доцент кафедри будівництва, міського господарства та архітектури, Вінницький національний технічний університет. Email: [ocheretny@vntu.edu.ua](mailto:ocheretny@vntu.edu.ua)

**Ковальський Віктор Павлович** - к.т.н., доцент кафедри будівництва, міського господарства та архітектури, Вінницький національний технічний університет. Email: [kovalskiy.vk.vntu.edu@gmail.com](mailto:kovalskiy.vk.vntu.edu@gmail.com)

**Барбалиук Максим Сергійович** - студент гр. 2Б-24б, факультет будівництва цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет. Email: [destroyer.maksimka@gmail.com](mailto:destroyer.maksimka@gmail.com)

**Науковий керівник: Ковальський Віктор Павлович** - доцент каф. "Будівництва, міського господарства та архітектури" Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: [kovalskiy.vk.vntu.edu@gmail.com](mailto:kovalskiy.vk.vntu.edu@gmail.com).

**Lyubarskyi Serhiy S** – Lecturer, Vinnytsia Professional College of Construction, Architecture and Design Kyiv National University of Construction and Architecture e-mail: [sestls71@gmail.com](mailto:sestls71@gmail.com)

**Ocheretny Volodymyr P.** — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Construction, Urban Management and Architecture, Vinnytsia National Technical University. Email: [ocheretny@vntu.edu.ua](mailto:ocheretny@vntu.edu.ua)

**Kovalskiy Viktor P** - Ph.D., Associate Professor of the Department of Construction, Urban Management and Architecture, Vinnytsia National Technical University. Email: [kovalskiy.vk.vntu.edu@gmail.com](mailto:kovalskiy.vk.vntu.edu@gmail.com)

**Barbaliuk Maksym Serhiyovych** - student group 2B-24b, Faculty of Civil and Environmental Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: [destroyer.maksimka@gmail.com](mailto:destroyer.maksimka@gmail.com)

**Scientific adviser: Kovalsky Victor P** - Associate Professor "Construction, Municipal Economy and Architecture" Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: [kovalskiy.vk.vntu.edu@gmail.com](mailto:kovalskiy.vk.vntu.edu@gmail.com).