

ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІ КОНСТРУКЦІЇ ПІДЛОГ У СИСТЕМІ ТЕПЛОВОГО ЗАХИСТУ СУЧАСНИХ ЦИВІЛЬНИХ БУДІВЕЛЬ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Розглянуто сучасні принципи підвищення енергоефективності підлогових конструкцій у структурі теплового захисту цивільних будівель. Обґрунтовано інженерно-технічні рішення із застосування теплоізоляційних матеріалів на основі екструзійного пінополістиролу, аерогелю та комбінованих відбивних систем. Проведено порівняльну оцінку впливу різних схем утеплення й інтеграції систем низькотемпературного обігріву типу «тепла підлога» на зменшення питомих тепловтрат. Показано, що застосування оптимізованої багатошарової конструкції дозволяє скоротити теплопередачу на 65–75 % і підвищити клас енергоефективності будівель до рівня B–A.

Ключові слова: енергоефективність, тепловий захист, підлога по ґрунту, екструзійний пінополістирол, аергель, термомодернізація, тепла підлога.

Abstracts

The paper presents modern engineering solutions for improving the energy efficiency of floor structures within the overall thermal protection system of civil buildings. Technical approaches using extruded polystyrene foam, aerogel insulation, and combined reflective layers are substantiated. A comparative analysis of different insulation layouts and the integration of low-temperature heating systems ("warm floor") is provided. Modeling results demonstrate that the application of optimized multilayer floor structures reduces heat transfer by 65–75% and raises the building's energy performance class to levels B–A according to DBN V.2.6-31:2021.

Key words: energy efficiency, thermal protection, ground floor, extruded polystyrene foam, aerogel, thermal modernization, underfloor heating.

Вступ

Вступ

Однією з найважливіших складових підвищення енергоефективності будівель є вдосконалення системи теплового захисту огорожувальних конструкцій, що забезпечує зменшення витрат енергії на опалення, стабілізацію мікроклімату та підвищення експлуатаційної надійності споруди. В умовах сучасних вимог до енергозбереження, визначених положеннями ДБН В.2.6-31:2021 «Теплова ізоляція та енергоефективність будівель» і європейськими директивами щодо Nearly Zero Energy Buildings (NZEB), підлоги розглядаються як невід'ємний елемент теплового контуру будівлі [1-4].

Підлогові конструкції, що безпосередньо контактують із ґрунтом або розділяють опалювані та неопалювані об'єми, характеризуються високою теплопровідністю і є значним каналом тепловтрат – до 20–25 % від загального балансу будівлі. Через наявність «містків холоду» у зоні стику «стіна–підлога» та недостатню товщину теплоізоляційного шару втрачається частина теплової енергії, знижується температура поверхні підлоги, виникають умови для конденсації вологи та зволоження матеріалів.

Проблема зменшення теплопередачі через підлоги особливо актуальна для житлових і громадських будівель, споруджених у 1960–1990-х роках, де теплоізоляція або відсутня, або виконана з матеріалів, що не відповідають сучасним стандартам. У новому будівництві зростає потреба у використанні конструкцій з високим опором теплопередачі, які одночасно забезпечують комфорт, довговічність і відповідність принципам сталого розвитку.

Науково-технічний прогрес у сфері теплоізоляційних матеріалів і систем обігріву створює можливість формування енергоефективних підлогових рішень. Сучасні технології, такі як екструзійний пінополістирол (ЕППС), пінополіуретан, надтонкі аерогельні ізолятори та низькотемпературні системи обігріву типу «тепла підлога», дозволяють суттєво підвищити термічний опір конструкції. Комплексна термомодернізація підлог, що включає утеплення, гідроізоляцію та автоматизоване регулювання температури, є ключовим напрямом у формуванні енергоефективних

будівель нового покоління [5-7].

Основна частина

Конструкції підлог значною мірою впливають на енергетичний баланс будівель. У неопалюваних цокольних або підвальних приміщеннях втрати тепла через підлогу можуть становити від 15 до 25 % від загальних тепловтрат споруди (рис. 1). Це обумовлено високою теплопровідністю ґрунту ($\lambda \approx 1,5\text{--}2,0 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$) та наявністю «містків холоду» у зонах примикання [8-9].



Рис. 1. Тепловтрати через конструкції будівлі

Для зниження втрат тепла необхідно формувати багатошарові підлогові системи з урахуванням опору теплопередачі не менше $4,3 \text{ м}^2\cdot\text{К}/\text{Вт}$, що відповідає класу енергоефективності «В» (табл. 1).

Таблиця 1 – Порівняння теплотехнічних показників конструкцій підлог

№	Тип конструкції	Матеріал утеплювача	Товщина шару, мм	λ , $\text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$	R , $\text{Вт}/\text{м}^2\cdot\text{К}$	Примітка
1	Підлога по ґрунту	ЕППС	100	0,034	0,25	Рекомендовано для новобудов
2	Над підвалом	Мінеральна вата	80	0,042	0,32	Монтаж з боку підвалу
3	Дерев'яна підлога	Перліт + фольгопін	60	0,040	0,35	Для реконструкцій
4	Комбінована	Аерогель	25	0,015	0,18	Для історичних будівель

Матеріали нового покоління – ЕППС, пінополіуретанові піни H₂Foam FORTE, аерогельні композити – забезпечують надійний теплозахист і довговічність.

ЕППС характеризується закритопористою структурою, вологостійкістю, стискальною міцністю $\geq 250 \text{ кПа}$, тому рекомендований для бетонних підлог [10].

Рідка теплоізоляція (Ісупене) утворює безшовне покриття, що герметизує шви й ліквідує «містки холоду», має клас екологічності А+ і термін служби 25 років [11].

Аерогель є інноваційним матеріалом із найнижчою теплопровідністю ($0,013\text{--}0,020 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$) та пористістю до 99 %, що дозволяє отримати високу ефективність навіть при мінімальній товщині шару [12].

Стовпчаста діаграма (рис. 1) відображає результати порівняння тепловтрат через підлогу залежно від типу теплоізоляції.

Найвищі втрати ($\approx 14 \text{ Вт/м}^2$) характерні для варіанта без утеплення. Використання мінераловати товщиною 80 мм знижує теплотоки на 31 %, а застосування екструзійного пінополістиролу (ЕППС 100 мм) – на 55 % [5, 13-14].

Поєднання ЕППС з системою «тепла підлога» забезпечує зменшення втрат до $4,1 \text{ Вт/м}^2$ (економія $\approx 70 \%$), а додавання шару аерогелю 25 мм – до $3,2 \text{ Вт/м}^2$, тобто $\approx 78 \%$.

Таким чином, комплексна термомодернізація з використанням сучасних ізоляторів та низькотемпературного обігріву є найефективнішим шляхом підвищення енергоефективності підлогових конструкцій.

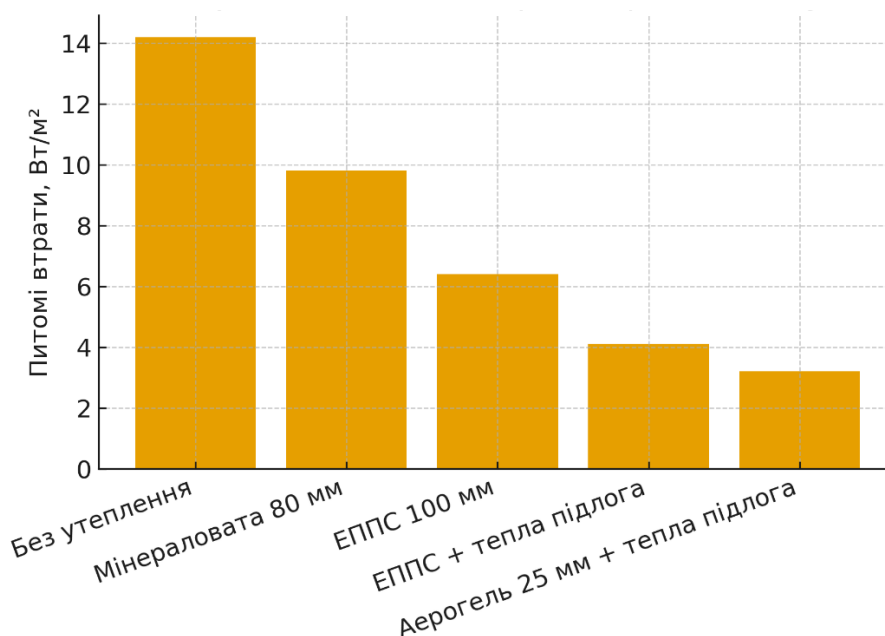


Рис. 1 – Порівняння питомих тепловтрат через підлогу для різних конструктивних рішень

Оптимальний тепловий режим досягається завдяки поєднанню теплоізоляційного шару з екструзійного пінополістиролу (ЕППС) товщиною 80–120 мм, армованої стяжки та системи «тепла підлога». Така система формує стабільну температуру поверхні $+22\dots+27 \text{ }^\circ\text{C}$ при зовнішніх умовах $-15 \text{ }^\circ\text{C}$.

Системи «тепла підлога» – водяні або електричні – поєднують функції теплопередачі та регулювання мікроклімату. Згідно з дослідженнями, такі системи знижують споживання енергії на 5–20 %, створюючи рівномірний температурний розподіл у приміщенні та підвищуючи комфорт на рівні підлоги (табл. 2).

Таблиця 2 – Порівняння систем низькотемпературного підігріву підлог

Тип системи	Джерело тепла	Потужність, Вт/м^2	Клас енергоефективності	Економія, %
Водяна	ЦО або тепловий насос	80–100	В	15–20
Електрична (резистивна)	Електромережа	100–120	С	10–15
Електрична (саморегульована)	Електромережа	60–80	А	20–25

На рисунку 2 показано розподіл температури по товщині конструкції підлоги при температурі повітря всередині приміщення $+22 \text{ }^\circ\text{C}$ і зовні (у зоні ґрунту) $-15 \text{ }^\circ\text{C}$.

Крива 1 (синя) – варіант без утеплення, який демонструє різке зниження температури до $+5 \text{ }^\circ\text{C}$ уже на глибині 0,2 м, що свідчить про високі втрати тепла.

Крива 2 (помаранчева) – підлога з шаром ЕППС 100 мм, яка забезпечує плавний температурний перехід та підвищення температури нижнього шару ґрунту до $+2 \text{ }^\circ\text{C}$.

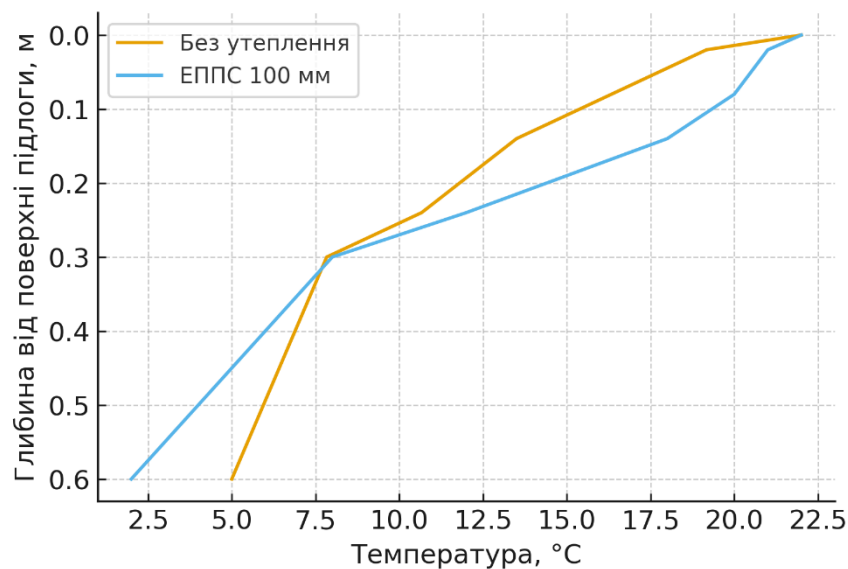


Рис. 2 – Температурний профіль через конструкцію підлоги

Завдяки теплоізоляції середня температура поверхні підлоги зростає з +12 °C до +22 °C (рис. 3), а щільність теплового потоку зменшується більш ніж удвічі (з 14 до 6 Вт/м²). Це дозволяє усунути ризик конденсації й промерзання вузла «стіна–підлога».

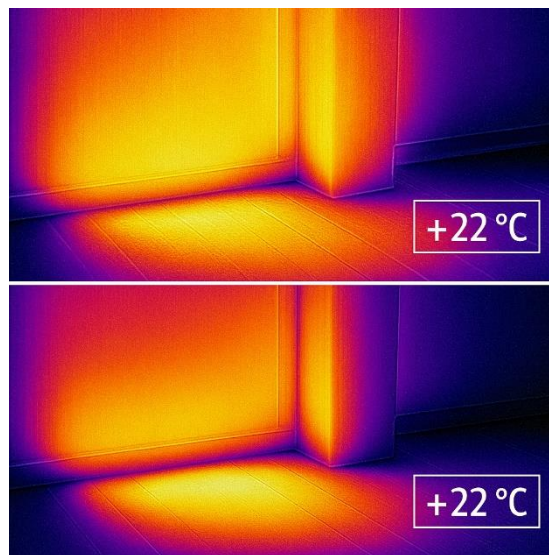


Рис. 3 – Температурний профіль через конструкцію підлоги

Рис. 3 показує 2D-профіль теплових потоків від внутрішнього приміщення (+22 °C) до ґрунтової зони (–15 °C). У моделі враховано багатошарову конструкцію підлоги, що складається з:

- фінішного покриття (ламінат або плитка) – рівномірно прогріта зона (червоні й помаранчеві кольори);
- стяжки з системою “тепла підлога”, де формується рівномірний тепловий потік униз;
- теплоізоляційного шару з ЕППС – синьо-зелені відтінки, які вказують на різке зниження температурного градієнта;
- гідроізоляційного шару – тонка смуга з незначною теплопровідністю;
- ґрунту – холодна зона (сині й фіолетові кольори), де температура поступово падає до –15 °C.

Ізотерми мають щільне розташування у верхній частині, що свідчить про активний теплообмін у шарі стяжки та системі підігріву. Нижче шару ЕППС ізотерми розріджуються, а тепловий потік зменшується у 2–3 рази. При відсутності утеплення температура на межі ґрунту та бетону знижується до +5 °C, тоді як із ЕППС – не нижче +15 °C. Таким чином, теплоізоляція забезпечує підвищення

температури поверхні підлоги на 8–10 °С та зменшення тепловтрат через ґрунт на понад 60 %, що підтверджує ефективність конструкції енергоефективної підлоги.

Удосконалення терморегулювання через автоматизовані контролери дозволяє стабілізувати температуру підлоги в межах +22...+27 °С при зниженні температури теплоносія до +35 °С, що суттєво зменшує навантаження на систему опалення.

Згідно з практичними проектами термомодернізації, утеплення підлоги по ґрунту в поєднанні з гідроізоляцією, паробар'єром і системою підігріву знижує питомі тепловтрати з 14 до 6 Вт/м² [1, 5]. У разі використання аерогельного шару – до 3 Вт/м². Оптимізація структури конструкції підлоги включає:

- вирівнюючу стяжку з цементно-піщаного розчину;
- гідроізоляційну мембрану;
- теплоізоляційний шар (ЕППС або аерогель);
- армовану стяжку з системою обігріву;
- фінішне покриття.

Моделювання теплового потоку показує, що температура поверхні підлоги в зоні примикання до стіни підвищується на 8–10 °С порівняно з неутепленим варіантом, а градієнт тепловтрат через ґрунт скорочується у 2–3 рази (рис. 4).

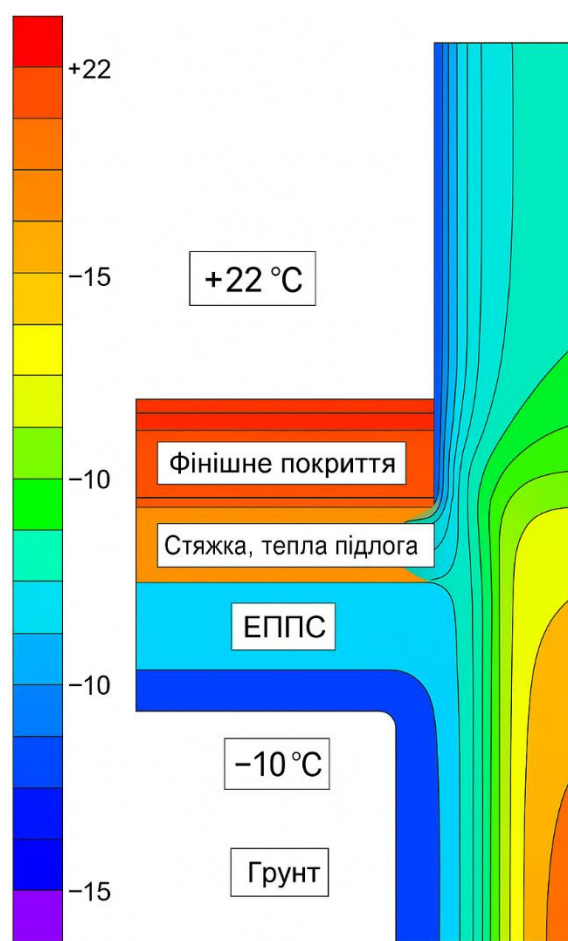


Рис. 4 – Моделювання розподілу температур через конструкцію підлоги

На рисунку 4 зображено багатошарову систему енергоефективної підлоги, де кожен елемент виконує певну функцію у формуванні теплового бар'єра:

- фінішне покриття (ламінат або плитка) – забезпечує рівномірне поширення тепла в приміщенні;
- армована стяжка з системою “тепла підлога” – головне джерело низькотемпературного обігріву, у якому формується найвищий градієнт температур;
- шар ЕППС (екструзійний пінополістирол, товщина 100 мм) – основний теплоізоляційний бар'єр, що знижує інтенсивність теплопередачі до 60–70 %;

- гідроізоляційна мембрана – перешкоджає проникненню вологи з ґрунту у шар утеплення;
- ущільнений ґрунт – зона із найнижчою температурою, яка становить близько -15°C .

Кольорова шкала відображає зміну температури від $+22^{\circ}\text{C}$ (червоні відтінки) у зоні приміщення до -15°C (сині й фіолетові відтінки) у ґрунті. Ізотерми щільно розташовані у верхній частині – це свідчить про активний тепловий обмін у зоні стяжки та обігріву. У межах шару ЕППС ізотерми розріджуються, тобто тепловий потік значно знижується. Нижче ізоляції, у ґрунті, температура поступово зменшується без різких перепадів, що вказує на стабільний тепловий режим.

Отже, температура поверхні підлоги підтримується на рівні $+22\dots+24^{\circ}\text{C}$. На межі теплоізоляції та ґрунту температура становить близько $+10^{\circ}\text{C}$, що виключає промерзання конструкції. Тепловий потік через підлогу зменшується у 2,5–3 рази порівняно з неутепленим варіантом. Втрати тепла через підлогу скорочуються на $\approx 65\%$, а зона комфорту всередині приміщення розширюється до 1,5 м від зовнішньої стіни.

Таким чином, теплове моделювання підтверджує, що використання ЕППС у поєднанні з системою “тепла підлога” формує ефективний тепловий бар’єр, зменшує енергоспоживання будівлі й підвищує її клас енергоефективності до рівня В–А.

Впровадження енергоефективних підлог зменшує річне енергоспоживання системи опалення будівлі на 20–25 %, скорочує питомі викиди CO_2 до 47 кг/м^2 на рік. Використання матеріалів з високим терміном експлуатації (ЕППС – до 50 років, аерогель – 30 років) забезпечує швидку окупність енергомодернізації – протягом 4–6 років [15–16].

Висновки

Проведене дослідження підтвердило, що енергоефективні конструкції підлог є одним із ключових напрямів підвищення теплового захисту сучасних цивільних будівель.

Оптимізація структури підлоги з використанням теплоізоляційних матеріалів (ЕППС, мінераловати, аерогелів) дозволяє знизити тепловтрати через ґрунт на 60–75 %, підвищуючи температуру поверхні підлоги з $+12^{\circ}\text{C}$ до $+22^{\circ}\text{C}$.

Комплексна термомодернізація підлоги поєднує гідроізоляційні, пароізоляційні, теплоізоляційні та опалювальні шари, що забезпечує стабільність теплового режиму навіть при зовнішній температурі -15°C .

Моделювання теплових потоків показало зменшення градієнта температури у 2,5–3 рази та збереження комфортного мікроклімату в приміщенні.

Економічна ефективність підтверджена зниженням питомого енергоспоживання будівлі з 210 до $120\text{ кВт}\cdot\text{год/м}^2\cdot\text{рік}$ і скороченням викидів CO_2 на 20–30 %. Орієнтовний термін окупності заходів становить 5–7 років.

Інтеграція системи “тепла підлога” у поєднанні з ЕППС забезпечує рівномірний розподіл температури та зменшення споживання енергії на 15–25 %.

Використання аерогельних композитів як інноваційного утеплювача відкриває можливості для енергоефективної реконструкції історичних і громадських будівель із мінімальним збільшенням товщини конструкцій.

Отже, застосування сучасних енергоефективних матеріалів і технологій у конструкціях підлог дозволяє досягнути комплексного ефекту: зменшення енергоспоживання, підвищення комфорту, продовження терміну служби будівлі та зниження екологічного навантаження на довкілля.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. ДБН В.2.6-31:2021. Теплова ізоляція та енергоефективність будівель. [Чинний з 2022-01-01]. Київ: Мінрегіон України, 2021. 108 с.
2. Закон України № 2118-VIII від 22.06.2017 р. Про енергетичну ефективність будівель // Відомості Верховної Ради України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2118-19>
3. Nearly zero energy building standard. URL: <https://www.seai.ie/plan-your-energy-journey/for-your-business/standards/nearly-zero-energy-building-standard>
4. Borowski M., Rathnayake C. M., Zwolińska-Gładys K. Nearly Zero-Energy Buildings (NZEBs): A Systematic Review of the Current Status of Single-Family Houses in the EU // Energies. 2025. Vol. 18, Issue 12, Article 3215. DOI: 10.3390/en18123215.

5. Мандрика А. С. Енергоефективні технології : навчальний посібник. Сумський державний університет, 2021. 330 с.
6. Бахтін Д. Впровадження енергоефективних технологій при будівництві нової комерційної нерухомості в Україні. Вісник НУ «Львівська політехніка». Серія: Архітектура, 2020, №2(4), с. 8–18.
7. Гетун Г., Кошева В., Гамоцький Р., Гончаренко А. Вплив повітрообміну на енергоефективність багатоквартирних житлових будинків. Енергоефективність в будівництві та архітектурі, 2019, вип. 13, с. 58–68.
8. Pelsmakers S., Fitton R., Biddulph P., Swan W., Croxford B., Stamp S. Heat-flow variability of suspended timber ground floors: implications for in-situ heat-flux measuring. Energy and Buildings. 2017. Vol. 138. P. 396–405. DOI: 10.1016/j.enbuild.2017.02.048.
9. BSI. ISO 13370:2007. Thermal Performance of Buildings. Heat Transfer via the Ground. Calculation Methods. Brussels : British Standards Institution, 2009.
10. Екструдований пінополістирол: види, застосування, покрокова інструкція при утепленні. URL: <https://vikbud.ua/news/korisna-informatsiya/jepps-vidy-primenenie-instrukcija-pri-uteplenii>
11. Утеплювач ICYNENE (Айсинін) – революційне рішення в енергозбереженні будинків. URL: <https://icynene.lviv.ua/index.php/main.html>
12. Airoform Gel. URL: <https://www.fortehealthcare.com.au/our-range/cushions-accessories-and-customisations/airoform-gel/>
13. ДСТУ 9190:2022. Енергетична ефективність будівель. Метод розрахунку енергоспоживання під час опалення, охолодження, вентиляції, освітлення та гарячого водопостачання. [Чинний з 2023-03-01]. Київ : Міністерство розвитку громад та територій України, 2022. 142 с.
14. ДСТУ Б В.2.6-101:2010. Конструкції будинків та споруд. Метод визначення опору теплопередачі огорожувальних конструкцій. [Чинний з 2010-10-01]. Київ : Мінрегіонбуд України, 2010. 90 с.
15. Сергейчук О., Кожедуб С. Розробка критеріальної оцінки енергоефективності та екологічності будівельних об'єктів // Енергоефективність в будівництві та архітектурі. – 2018. – № 11. – С. 61–68. DOI: 10.32347/2310-0516.2018.11.61-68
16. CIBSE. Guide A: Environmental Design. London : Chartered Institution of Building Services Engineers, 2015. 420 p.

Гураш Павло Сергійович – студент групи 1Б-24м, Факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, Вінниця

Христич Олександр Володимирович – кандидат технічних наук, доцент кафедри будівництва, міського господарства та архітектури, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: khristych@vntu.edu.ua

Gurash Pavlo Serhiyovych – student of group 1B-24m, Faculty of Construction, Civil and Environmental Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia

Khristych Oleksandr Volodymyrovych – Candidate of Technical Sciences, associate professor of the Department of Construction, Urban Economy and Architecture, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: khristych@vntu.edu.ua