

**УРАХУВАННЯ ГЕОГРАФІЧНОЇ ВИСОТИ ПРИ ПРОЄКТУВАННІ
ОГОРОДЖУВАЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ У ГІРСЬКІЙ МІСЦЕВОСТІ**

**GEOGRAPHIC HEIGHT CONSIDERATION IN THE DESIGN OF
ENCLOSURE STRUCTURES IN MOUNTAIN REGIONS**

**Пашинський В.А., д.т.н., професор, ORCID: 0000-0002-5474-6399,
Настоящий В.А., к.т.н., професор, ORCID: 0009-0004-4953-6081,
Пашинський М.В., к.т.н., доцент, ORCID: 0000-0002-2669-523X,
Карпушин С.О., к.т.н., доцент, ORCID: 0000-0001-9035-9065**
(Центральноукраїнський національний технічний університет)

**Pashynskiy V.A., Sc.D., professor, ORCID: 0000-0002-5474-6399,
Nastoyashchiy V.A., PhD., professor, ORCID: 0009-0004-4953-6081,
Pashynskiy M.V., PhD., assist. prof., ORCID: 0000-0002-2669-523X,
Karpushyn S.O., PhD., assist. prof., ORCID: 0000-0001-9035-9065.**(Central
Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi)

За даними 115 рівнинних та гірських пунктів спостереження, розміщених на території Львівської, Івано-Франківської, Чернівецької, Закарпатської областей та АР Крим, проаналізовані втрати тепла через стіни житлових і громадських будівель, покриття теплих горищ і мансард. Істотне збільшення втрат тепла з ростом висоти над рівнем моря запропоновано компенсувати коефіцієнтом географічної висоти, на який слід множити встановлене в ДБН В.2.6-31:2021 мінімально необхідне значення опору теплопередачі огороджувальної конструкції.

According to the results of the heat losses analysis through the enclosing structures of civil buildings in the mountains, the values of the heat transfer resistance that are necessary for the equalization of heat losses in mountainous and plain areas have been established.

Meteorological data of 78 plain and 37 mountain observation points located in Crimea, Lviv, Ivano-Frankivsk, Chernivtsi and Zakarpattia regions were used for the study. According to the data of 115 weather stations, heat losses through the walls and through heated attics and mansards of residential and public buildings were determined. Heat losses increase significantly as the height of the building above sea level goes up. The average heat losses due to enclosing structures placed on flat terrain at an altitude of up to 400 m above sea level are quite similar for Carpathian and Transcarpathian regions, but significantly lower in Crimea.

The required values of the heat transfer resistance of enclosures placed at heights of 400...1429 m above sea level are determined from the condition of equality of heat loss through these structures to the average losses through enclosures in the flat area of the same region. The increase in the required heat transfer resistance of enclosing structures with increasing height above sea level is reflected by the geographic height coefficient, which is equal to the ratio of the required heat transfer resistance for the selected observation point to the average heat transfer resistance of a similar structure located in the flat terrain of the corresponding region of Ukraine. The closeness of the geographical height coefficients for walls and roofs made it possible to describe their growth with height with one analytical function, which provides a margin of thermal reliability for 80% of mountain observation points.

It is recommended to increase the heat transfer resistance by multiplying the values established in DBN V.2.6-31:2021 for the relevant temperature zone by the proposed factor of geographic height when designing enclosing structures at heights of more than 400 m above sea level.

Ключові слова: гірська місцевість, температура повітря, огорожувальні конструкції, опір теплопередачі
mountainous area, outside air temperature, enclosing structures, heat transfer resistance

Постановка проблеми. Згідно з вимогами Державних будівельних норм України ДБН В.2.6-31:2021 [1], ключовим фактором при проектуванні огорожувальних конструкцій є їх опір теплопередачі. Він повинен бути не меншим від мінімально допустимого значення, встановленого в ДБН [1] залежно від температурної зони України, виду й призначення огорожувальної конструкції.

З кліматології відомо, що температура атмосферного повітря знижується приблизно на 6°C на кожен кілометр географічної висоти. Відповідне зниження температури опалювального періоду приводить до надмірного зростання втрат тепла через огорожувальні конструкції в гірській місцевості, але цей ефект чинними нормами проектування [1] не враховується. Вирівняти втрати тепла через огороження будівель в гірській місцевості та на рівнині можна шляхом уведення поправки до значень опору теплопередачі, залежної від висоти над рівнем моря.

Аналіз відомих досліджень і публікацій. Вимоги до теплової надійності огорожувальних конструкцій та принципи їх проектування встановлені в Державних будівельних нормах України [1]. Конкретні методики теплотехнічних розрахунків огорожень викладені в стандарті [2]. Там же наведені розрахункові значення теплофізичних характеристик будівельних матеріалів та інші довідкові дані.

Одним з найвагоміших факторів, які визначають рівень теплової надійності, є температура атмосферного повітря. Результати численних досліджень температури атмосферного повітря узагальнені в монографії [3], де виконане імовірнісне подання температури у формі квазістаціонарного випадкового процесу та наведені статистичні характеристики цього процесу для 485 пунктів спостереження України. Стандарт [4] містить розрахункові характеристики температури атмосферного повітря для опорної мережі з 57 пунктів спостереження з різних регіонів України.

Попри загальновідомий факт зниження температури атмосферного повітря з висотою над рівнем моря та відповідного збільшення втрат тепла, вказівки чи рекомендації щодо поліпшеного утеплення огорожувальних конструкцій в гірській місцевості в нормативній та довідковій літературі не виявлені. У публікаціях [5, 6] описані сучасні технології зведення малоповерхових каркасних будинків у Карпатах. Товщина утеплювача з мінеральної вати становить 150...200 мм, що приблизно відповідає сучасним вимогам [1] до стін житлових будинків і не вказує на поліпшену теплоізоляцію в гірській місцевості. Отже, питання теплової ізоляції будівель на великих висотах над рівнем моря залишається не вирішеним.

Мета дослідження полягає в тому, щоб за результатами аналізу втрат тепла через стіни й покриття житлових і громадських будівель, розміщених на різній висоті над рівнем моря, обґрунтувати значення поправок до опору теплопередачі огорожувальних конструкцій, залежних від висоти розміщення будівлі над рівнем моря.

Об'єкти дослідження та вихідні дані. Враховуючи призначення та конструкцію більшості будівель, характерних для гірської місцевості, для аналізу обрані огорожувальні конструкції двох видів: стіни житлових і громадських будівель, а також покриття утеплених горищ і мансард. Встановлені нормами проектування [1] вимоги до опору теплопередачі цих конструкцій наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

Мінімально необхідні опори теплопередачі огорожень за ДБН В.2.6-31:2021

Огороджувальні конструкції житлових і громадських будівель	Необхідний опір теплопередачі R_{qmin} , $m^2 \cdot K/W$	
	у першій зоні	у другій зоні
Зовнішні стіни	4,0	3,5
Покриття опалюваних горищ і мансард	6,0	5,5

Згідно з вимогами [1], температуру внутрішнього повітря в приміщеннях житлових та громадських будівель вважаємо рівною $+20^{\circ}C$. Для лікарень та дитячих дошкільних закладів в [1] встановлена температура внутрішнього повітря $+22^{\circ}C$, а для спортивних закладів $+18^{\circ}C$. Аналіз закономірностей теплопередачі [2, 7] показує, що такі відмінності температури внутрішнього повітря призведуть до пропорційних змін втрат тепла через огороження, але

не призведуть до помітних змін кінцевого результату дослідження, тобто коефіцієнтів географічної висоти. Цн дозволяє в подальших дослідженнях враховувати лише температуру внутрішнього повітря рівну $+20^{\circ}\text{C}$ та опори теплопередачі, вказані в таблиці 1.

Одним з вирішальних факторів, який впливає на втрати тепла через огорожувальні конструкції, є температура атмосферного повітря. Для аналізу використані функції математичного сподівання температури повітря, наведені в монографії [3] у вигляді послідовностей з 12-ти середньомісячних значень. За даними [3] сформована мережа зі 115 пунктів спостереження (ПС), розміщених у п'яти гірських регіонах України. При формуванні бази даних були об'єднані результати для пунктів спостереження, які розташовані у межах одного міста. Кількість пунктів спостереження в кожному з гірських регіонів вказана в таблиці 2.

Уся територія України, за винятком Кримських та Карпатських гір, розташована на висотах над рівнем моря, не більших за 400 м. Тому 78 пунктів спостереження, географічна висота яких не перевищує 400 м, вважаються рівнинними, а 37 пунктів спостереження з висотою понад 400 м віднесені до гірських. Найбільші в межах кожного регіону географічні висоти пунктів спостереження вказані в таблиці 2.

Таблиця 2

Загальна характеристика мережі ПС в гірських регіонах України

Регіони України	Температурна зона	Кількість ПС		Найбільша висота ПС
		рівнинних	гірських	
Львівська область	перша	13	7	783
Івано-Франківська обл.	перша	7	13	1429
Чернівецька область	перша	2	2	1330
Закарпатська область	друга	9	8	877
АР Крим	друга	47	7	1180
Гірські регіони України		78	37	1429

Згідно з [4], опалювальним періодом в Україні вважається холодний період року, протягом якого середньодобова температура атмосферного повітря не перевищує $+8^{\circ}\text{C}$. Тривалість опалювального періоду в кожному зі 115 пунктів спостереження визначена як різниця між датами перетину функцією математичного сподівання температури повітря рівня $+8^{\circ}\text{C}$. Середня температура опалювального періоду обчислена шляхом чисельного інтегрування функції математичного сподівання з [3] в межах тривалості опалювального періоду.

Обчислення та аналіз втрат тепла через огородження. Втрати тепла через стіни та покриття житлових і громадських будівель визначені за відомими залежностями будівельної теплофізики [2, 7]. Підстановка параметрів опалювального періоду та перетворення результату в мегакалорії

дає робочу формулу для визначення втрат тепла через один квадратний метр огородження на протязі опалювального періоду:

$$Q = 0,0206 \times \frac{\Theta_{\text{int}} - \Theta_h}{R_{\Sigma}} \times t_{\text{оп}} \quad (\text{Мкал/рік}). \quad (1)$$

де Θ_{int} – розрахункова температура повітря в приміщенні за нормами [1];
 t_h і Θ_h – тривалість і середня температура опалювального періоду;
 R_{Σ} – опір теплопередачі огороджувальної конструкції згідно з [2].

За формулою (1) обчислені річні втрати тепла через стіни та покриття житлових і громадських будівель в кліматичних умовах 115 пунктів спостереження. Залежності обчислених втрат тепла від висоти розміщення будівель над рівнем моря показані на графіках з рисунка 1. Унаслідок більших значень опору теплопередачі, відображених в таблиці 1, втрати тепла через покриття опалювальних горищ та мансард є меншими, ніж через стіни. На обох графіках прослідковуються чітко виражене збільшення втрат тепла з ростом висоти над рівнем моря. Таким чином, отримані результати вказують на необхідність збільшення опору теплопередачі огороджувальних конструкцій в гірській місцевості з метою забезпечення незалежності втрат тепла від висоти над рівнем моря.

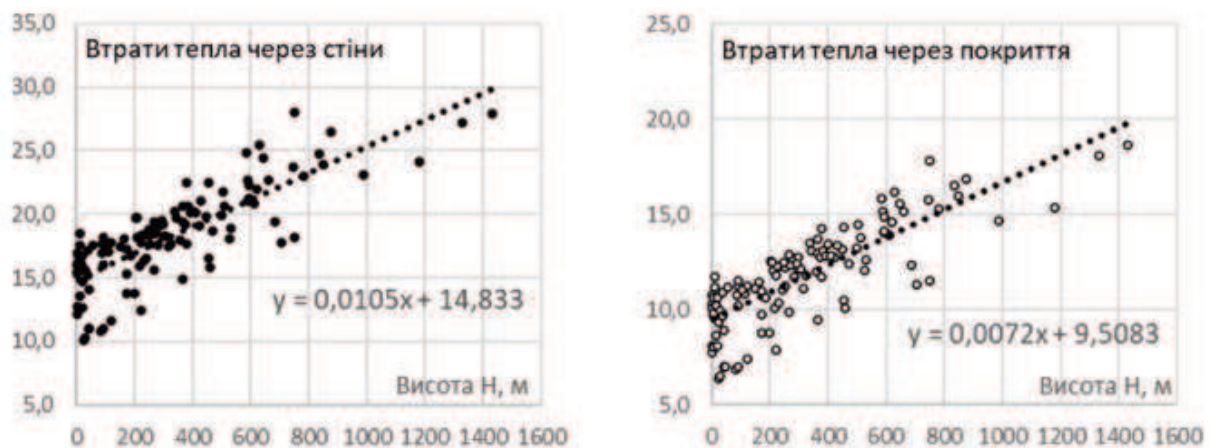


Рис. 1 Залежності втрат тепла через стіни та покриття житлових і громадських будівель від висоти над рівнем моря

Значний розкид втрат тепла при однаковій висоті над рівнем моря обумовлюється відмінностями температурного режиму досліджених територій. Аналіз отриманих результатів з урахуванням встановлених в [1] температурних зон вказує на доцільність поділу досліджених місцевостей на три регіони: Прикарпаття (Львівська, Івано-Франківська та Чернівецька області), Закарпаття та Крим. В таблиці 3 для кожного регіону вказані осереднені по рівнинних пунктах спостереження (на висотах до 400 м) втрати тепла та характеристики опалювального періоду.

Середні характеристики для рівнинних пунктів спостереження

Регіони України	Температурна зона	Характеристики опалюв. періоду		Втрати тепла (Мкал/рік) через 1 м ²	
		t _h , діб	θ _h , °С	стін	покриттів
Прикарпаття	перша	181	0,05	18,6	12,4
Закарпаття	друга	166	0,18	19,4	12,4
Крим	друга	150	3,05	15,0	9,6

Не дивлячись на істотні відмінності тривалості та температури опалювального періоду, втрати тепла через розташовані в рівнинній місцевості стіни й покриття в Прикарпатті та Закарпатті отримані практично рівними. Це пояснюється тим, що більш жорсткі кліматичні умови Прикарпаття, відображені в таблиці 3, компенсуються вищим опором теплопередачі огорожень, вказаним в таблиці 1 згідно з [1]. Помітно відрізняються дані для території Криму, яка відноситься до другої температурної зони [1], але характеризується більш теплим кліматом.

Залежність необхідного опору теплопередачі від висоти будівлі над рівнем моря. Вирівнювання втрат тепла через огорожувальні конструкції, розміщені на рівнинній місцевості та в горах, можна здійснити шляхом збільшення опору теплопередачі залежно від висоти над рівнем моря. У якості еталонних використані середні для рівнинної місцевості значення втрат тепла, наведені в таблиці 3. З урахуванням округлень прийнято:

- 15 Мкал/рік для стін і 10 Мкал/рік для покриттів у Криму;
- 19 Мкал/рік для стін і 12 Мкал/рік для покриттів в інших регіонах.

За характеристиками опалювального періоду для кожного з 37 гірських пунктів спостереження визначені необхідні опори теплопередачі R_H , при яких втрати тепла через стіни й покриття дорівнюватимуть вказаним середнім значенням для рівнинних територій. Значення R_H обчислені шляхом чисельного розв'язання рівняння (1) відносно R_{Σ} . З ростом висоти H необхідний опір теплопередачі стін і покриттів R_H збільшується приблизно на 30...50% на кілометр висоти. Аналогічно методиці визначення кліматичних навантажень в ДБН В.1.2-2:2006 [8], це явище доцільно урахувати коефіцієнтом географічної висоти, рівним

$$C_H = R_H / R_{q_{\min}}, \quad (2)$$

де R_H – необхідний опір теплопередачі для висоти H над рівнем моря;
 $R_{q_{\min}}$ – мінімально допустимий опір теплопередачі за [1] для даної температурної зони.

Значення C_H обчислені за формулою (2) для кожного з гірських пунктів спостереження. Отримані залежності коефіцієнта C_H від висоти розміщення будівлі над рівнем моря H показані на рисунку 2. Темними точками

відображені коефіцієнти C_H для стін, а світлими – для покриттів. Рисунок 2 та аналіз отриманих результатів для 37 гірських пунктів спостереження показав, що коефіцієнти географічної висоти для стін і покриттів в одному й тому ж пункті спостереження відрізняються не більше, ніж на 5,6%.

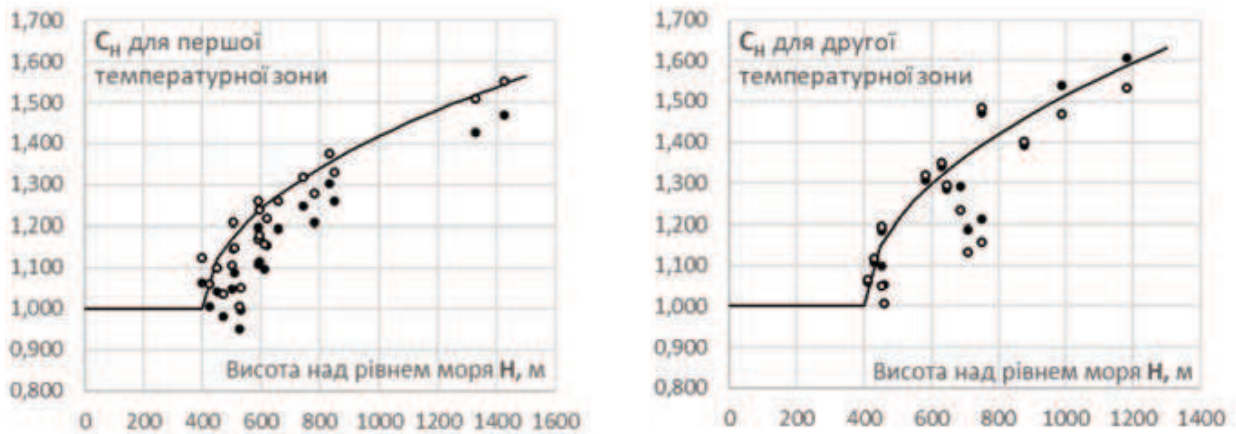


Рис. 2 Залежності коефіцієнта географічної висоти C_H від висоти над рівнем моря

Аналіз графіків, що відповідають першій (Прикарпаття) та другій (Закарпаття і Крим) температурній зоні, вказує на значний розкид коефіцієнтів географічної висоти C_H при близьких значеннях висоти над рівнем моря H . На нашу думку, це пояснюється мезокліматичними відмінностями місцевостей з близькими висотами над рівнем моря, зокрема різною експозицією гірських схилів, відкритістю чи захищеністю від дії вітру та сонячної радіації, а також іншими випадковими факторами.

З іншого боку, апроксимуючі лінії, що проходять поблизу верхньої межі дослідних точок і таким чином відображають залежності коефіцієнта C_H від висоти над рівнем моря H у запас надійності, є досить близькими. Це дозволяє об'єднати дані обох температурних зон в одну сукупність і тим самим істотно спростити вибір опору теплопередачі при проектуванні огорожувальних конструкцій в гірській місцевості.

Об'єднана залежність коефіцієнта географічної висоти C_H від висоти розташування будівлі над рівнем моря H показана на рисунку 3. Ця залежність описана аналітичним виразом

$$C_H = 1 \text{ при } H \leq 400 \text{ м; } \quad C_H = 1 + 0,02\sqrt{H - 400} \text{ при } H > 400 \text{ м,} \quad (3)$$

графік якого проходить поблизу верхньої межі дослідних точок і таким чином створює запас надійності при визначення коефіцієнта географічної висоти. На рисунку 4 показана гістограма розподілу відсотків запасу, який створює формула (3) по відношенню до фактично отриманих значень коефіцієнта C_H .

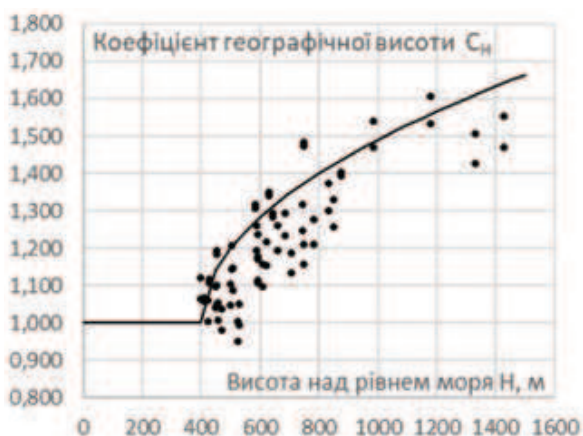


Рис. 3 Залежність коефіцієнта C_H від висоти над рівнем моря



Рис. 4 Відсотки запасу коефіцієнта C_H за формулою (3)

З гістограми рисунка 4 видно, що використання формули (3) забезпечує визначення коефіцієнта географічної висоти в запас надійності для 59 розглянутих гірських пунктів спостереження, тобто у 80% випадків. Загалом запаси визначення C_H за формулою (3) змінюються від $-12,2\%$ до $+22,4\%$, а в середньому становлять $+5,8\%$. Таку точність можна вважати цілком достатньою для теплотехнічних розрахунків огорожувальних конструкцій.

При проектуванні огорожувальних конструкцій будівель в гірських місцевостях з висотою $H > 400$ м над рівнем моря опір теплопередачі слід приймати рівним добутку

$$R_H = R_{q\min} C_H, \quad (4)$$

де C_H – коефіцієнт географічної висоти за (3);

$R_{q\min}$ – мінімально допустимий опір теплопередачі за [1] для даної температурної зони.

Використання формули (4) призводить до істотного збільшення опору теплопередачі (в 1,4 рази) на висоті 800 м та в 1,6 разів на висоті 1300 м), але забезпечує близькість втрат тепла через огорожувальні конструкції, розміщені в гірській та на рівнинній місцевостях.

Висновки за результатами дослідження:

1. Проаналізовані втрати тепла через стіни житлових і громадських будівель, покриття теплих горищ і мансард, розміщені в гірських регіонах України на території Львівської, Івано-Франківської, Чернівецької, Закарпатської областей та АР Крим.

2. Для аналізу використані багаторічні дані про середньомісячні температури атмосферного повітря на 115 пунктах спостереження. Відповідно до рельєфу території України, 78 пунктів спостереження на висотах до 400 м над рівнем моря вважаються рівнинними. До гірських віднесені 37 пунктів спостереження, які розташовані на висотах від 400 м до 1429 м над рівнем моря.

3. При збільшенні висоти над рівнем моря втрати тепла через огороження істотно зростають, що може бути компенсоване відповідним збільшенням їх опору теплопередачі. Залежність необхідного опору

теплопередачі огорожувальних конструкцій від висоти над рівнем моря запропоновано враховувати коефіцієнтом географічної висоти, який для рівнинної місцевості дорівнює одиниці та зростає на висотах понад 400 м над рівнем моря. При проектуванні будівель у гірській місцевості мінімально необхідне значення опору теплопередачі огорожувальної конструкції, встановлене в ДБН В.2.6-31:2021, слід відкоригувати шляхом множення на рекомендований коефіцієнт географічної висоти.

4. Узагальнена для стін і покриттів в обох температурних зонах України залежність коефіцієнта географічної висоти від висоти розміщення будівлі над рівнем моря описана простим аналітичним виразом, який забезпечує запас надійності для 80% проаналізованих гірських пунктів спостереження. На цілком реальних висотах 800...1300 м коефіцієнт географічної висоти може сягати 1,4...1,6, що вказує на необхідність істотного збільшення опору теплопередачі та товщини шарів утеплення стін і покриттів у горах порівняно з рівнинною місцевістю.

1. ДБН В.2.6-31:2021. Теплова ізоляція та енергоефективність будівель. – К., 2022. – 23 с.

DBN V.2.6-31:2021. Teplova izoliatsiia ta enerhoefektyvnist budivel. – K., 2022. – 23p.

2. ДСТУ 9191:2022. Теплоізоляція будівель. Метод вибору теплоізоляційного матеріалу для утеплення будівель. – К., 2022. – 60 с.

DSTU 9191:2022. Teploizoliatsiia budivel. Metod vyboru teploizoliatsiinoho materialu dlia uteplennia budivel. – K., 2022. – 60 p.

3. Пашинський В.А., Пушкар Н.В., Карюк А.М. Температурні впливи на огорожувальні конструкції будівель. – Одеса : ОДАБА, 2012. – 180 с.

Pashynskiy V.A., Pushkar N.V., Kariuk A.M. Temperaturni vplyvy na ohorodzhivalni konstruktsii budivel. – Odesa : ODABA, 2012. – 180 p.

4. ДСТУ-Н Б В.1.1–27:2010. Захист від небезпечних геологічних процесів, шкідливих експлуатаційних впливів, від пожежі. Будівельна кліматологія. – К., 2011. – 101 с.

DSTU-N B V.1.1–27:2010. Zakhyst vid nebezpechnykh heolohichnykh protsesiv, shkidlyvykh ekspluatatsiinykh vplyviv, vid pozhezhi. Budivelna klimatolohiia. – K., 2011. – 101 p.

5. Житловий будинок 130 м². Яблуниці. Карпати. [Електронний ресурс] Режим доступу: <https://zdot.com.ua/portfolio/project/zhitloviy-budinok-130-m2-yablunitsi-karpati>
Zhytlovyi budynok 130 m². Yablunytsi. Karpaty. [Electronic resource] Available at: <https://zdot.com.ua/portfolio/project/zhitloviy-budinok-130-m2-yablunitsi-karpati>

6. Будинок А-Фрейм: ідеальне рішення для затишного проживання. [Електронний ресурс] Режим доступу: <https://karpatybud.com.ua/statti/budynok-v-suchasnomu-styli-a-frame/>

Budynok A-Freim: idealne rishennia dlia zatyshnoho prozhyvannia. [Electronic resource] Available at: <https://karpatybud.com.ua/statti/budynok-v-suchasnomu-styli-a-frame/>

7. Маляренко В.А., Герасимова О.М., Малеев О.І. Будівельна теплофізика. Курс лекцій для студентів усіх форм навчання будівельних спеціальностей. Харків – ХНАМГ – 2007 – 99 с. Режим доступу: <https://core.ac.uk/download/pdf/11314464.pdf>

Maliarenko V.A., Herasymova O.M., Malieiev O.I.. Budivelna teplofizyka. Kurs lektsii dlia studentiv usikh form navchannia budivelnykh spetsialnostei. Kharkiv – KhNAMH – 2007 – 99 z. Available at: <https://core.ac.uk/download/pdf/11314464.pdf>

8. ДБН В.1.2-2:2006. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Навантаження і впливи. Норми проектування. К.: Мінбуд України, 2007. – 60с.

DBN V.1.2-2:2006. Systema zabezpechennia nadiinosti ta bezpeky budivelnykh obiektiv. Navantazhennia i vplyvy. Normy proektuvannia. K.: Minbud Ukrainy, 2007. – 60 p.