

УДК 699.86

DOI: 10.30838/J.BPSACEA.2312.170118.60.41

АНАЛІЗ ТЕПЛОТЕХНІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ТЕПЛОГО ЗАХИСТУ БУДІВЕЛЬ

ГОЛОВАТИЙ В. Д.¹, студ.,
ЮРЧЕНКО Є. Л.², канд. техн. наук, доц.,
КОВАЛЬ О. О.³, канд. техн. наук, с. н. с.,
МАМОН С. А.⁴, директор

¹Кафедра залізобетонних і кам'яних конструкцій, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського 24-а, Дніпро, 49600, Україна, тел. +38 (099) 237-36-86, e-mail: vlad.holovaty@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-2796-9386

²Кафедра залізобетонних і кам'яних конструкцій, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського 24-а, Дніпро, 49600, Україна, тел. +38 (0562) 46-10-36, e-mail: yel@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0002-9356-3261

³Придніпровський науково-освітній інститут інноваційних технологій в будівництві, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського 24-а, Дніпро, 49600, Україна, тел. +38 (0562) 46-10-55, e-mail: 13koval@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-7805-6811

⁴ТОВ «Будівельна компанія «КИТОВРАС»», вул. Січових стрільців 37/41, Київ, 04053, Україна, e-mail: sam.midgard@gmail.com тел. +380503201948

Анотація. Одне з головних завдань будівельного сектора - енергозбереження, а саме: зменшення витрат теплоти на опалення житлового фонду. Запропоновано аналіз розрахунків теплотехнічних параметрів огорожувальної оболонки будівлі за діючими будівельними нормами. **Мета статті** - на прикладі різних конструктивних схем огорожувальних конструкцій визначити оптимальні параметри теплового захисту будівель. **Методика.** Реалізовано методику розрахунку тепловтрат будівлі з урахуванням її архітектурно-конструктивних особливостей. **Результати.** Досліджено відмінність у розрахунках систем утеплення за різними нормами. **Наукова новизна.** Отримано чисельні дані стосовно результатів вибору параметрів утеплювача в системах із вентиляваним фасадом та з індустріальним опорядженням. **Практична значимість.** Надано практичні рекомендації щодо утеплення існуючих будівель для умов України.

Ключові слова: енергоефективність; огорожувальні конструкції; приведений опір теплопередачі; лінійний коефіцієнт теплопередачі; точковий коефіцієнт теплопередачі

АНАЛИЗ ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ТЕПЛОЙ ЗАЩИТЫ ЗДАНИЙ

ГОЛОВАТЫЙ В. Д.¹, студ.,
ЮРЧЕНКО Е. Л.², канд. техн. наук, доц.
КОВАЛЬ Е. А.³, канд. техн. наук, с.н.с.
МАМОН С. А.⁴, директор

¹Кафедра железобетонных и каменных конструкций, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского 24-а, Днепро, 49600, Украина, тел. +38 (099) 237-36-86, e-mail: vlad.holovaty@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-2796-9386

²Кафедра железобетонных и каменных конструкций, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского 24-а, Днепро, 49600, Украина, тел. +38 (0562) 46-10-36, e-mail: yel@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0002-9356-3261

³Приднепровский научно-образовательный институт инновационных технологий в строительстве, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского 24-а, Днепро, 49600, Украина, тел. +38 (0562) 46-10-55, e-mail: 13koval@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-7805-6811

⁴ООО «Строительная компания «КИТОВРАС»», ул. Сичовых стрелцов 37/41, Киев, 04053, Украина, e-mail: sam.midgard@gmail.com тел. +380503201948

Аннотация. Одной из главных целей строительного сектора является энергосбережение, а именно: уменьшение потерь тепла на отопление жилого фонда. В работе предложен анализ расчета теплотехнических параметров ограждающей оболочки здания по действующим строительным нормам. **Цель статьи** - на примере различных конструктивных схем ограждающих конструкций зданий определить оптимальные параметры тепловой защиты зданий. **Методика.** Реализована методика расчета теплотерь здания с учетом его архитектурно-конструктивных особенностей. **Результаты.** Исследовано различие в расчетах систем утепления по разным нормам. **Научная новизна.** Получены числовые данные, касательно результатов выбора параметров утеплителя в системах с вентилируемым фасадом и индустриальной отделкой. **Практическая значимость.** Представлены практические рекомендации утепления существующих зданий в Украине.

Ключевые слова: энергоэффективность; ограждающие конструкции; приведенное сопротивление теплопередачи; линейный коэффициент теплопередачи; точечный коэффициент теплопередачи

THE ANALYSIS OF HEAT ENGINEERING PARAMETERS OF BUILDING'S THERMAL PROTECTION

HOLOVATYI V. D.¹, student of group PCB-16m

YURCHENKO Yev. L.², Cand. Sc. (Tech.), Ass.-prof.

KOVAL O. O.³, Cand. Sc. (Tech.)

MAMON C. A.⁴, director

¹Department of Reinforce-Concrete and Stone Construction, State Higher Educational Establishment «Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture», Chernyshevsky st. 24a, Dnipro, 49600, Ukraine, tel. +38 (099) 237-36-86, e-mail: vlad.holovaty@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-2796-9386

²Department of Reinforce-Concrete and Stone Structures, State Higher Education Establishment «Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture», Chernyshevsky St. 24a, Dnipro, 49600, Ukraine, tel. +38 (0562) 46-10-36, e-mail: yel@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0002-9356-3261

³Pridneprovsky Research and Educational Institute for Innovation Technology in Construction, State Higher Education Establishment «Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture», Chernyshevsky St. 24a, Dnipro, 49600, Ukraine, tel. +38 (0562) 46-10-55, e-mail: 13koval@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-7805-6811

⁴LLC «Construction company «KITOVRAS»», st. Sichovyh strelchov 37/41, Kiev, 04053, Ukraine, e-mail: sam.midgard@gmail.com тел. +380503201948

Abstract. Energy efficiency is a one of most important goals in a building sector, namely reduction of heat losses for heating of housing stock. The article presents the results of analysis of heat engineering parameters calculation of building's enclosing sheath by applicable building codes. **Purpose.** To define an optimal parameters of heat resistance of constructions on an example different design schemes of building walling. **Methodology.** The calculation method of building heat losses with considering its architectural and design features was implemented. **Conclusion.** The difference in calculations of thermal insulation systems in a different codes was researched. **Originality.** The numerical data concerning results of the insulation parameters selection in systems with a ventilated facade and industrial finishes was received. **Practical value.** The practical recommendations concerning insulation of existing building in the Ukraine's conditions was represented.

Keywords: energy efficiency; the protecting designs; reduced resistance to heat transfer; linear coefficient of thermal conductivity; point coefficient of thermal conductivity

Постановка проблеми. Введені у дію з 01.05.2017 року ДБН В.2.6-31:2016 [1] «Теплова ізоляція будівель» змінили підходи до визначення класу енергетичної ефективності будинку порівняно з ДБН В.2.6-31:2006 [2]. Клас енергоефективності визначається вже не за питомими тепловитратами на опалення будинків, а за річною енергопотребною будівлі в опаленні, охолодженні та гарячому водопостачанні.

Ще одна принципова відмінність полягає у застосуванні системного принципу проектування за вимогами до енергоефективності будівлі. Вимоги до опору теплопередачі елементів теплоізоляційної оболонки будівлі альтернативні до системного принципу проектування огорожувальних конструкцій. У разі застосування системного принципу проектування за вимогами до енергоефективності будівлі, вимоги до показників мінімально допустимої температури внутрішньої

поверхні огорожувальних конструкцій, температурного перепаду між температурою внутрішнього повітря і наведеною температурою внутрішньої поверхні огорожувальної конструкції, вологісного режиму, повітропроникності огорожувальної конструкції, показників теплостійкості перевіряються обов'язково.

Також треба зазначити, що в ДСТУ В.2.6-31:2013 [3], на котрий для розрахунку приведенного опору огорожувальної конструкції посилається ДБН В.2.6-31:2016 [1], був змінений підхід до розрахунку приведенного опору огорожувальної конструкції порівняно з розрахунком, приведеним у ДБН В.2.6-31:2006 [2].

Мета статті – шляхом розрахунку приведенного опору фрагмента стінової конструкції житлового панельного будинку з фасадною теплоізоляцією з індустріальним опорядженням та вентиляваним повітряним прошарком за методикою розрахунку, наведеною в ДСТУ В.2.6-

31:2013 [3] та ДБН В 2.6.-31:2006 [2], виявити різницю у для подальшого розрахунку.

Виклад матеріалу. Для розрахунку обрано типовий фрагмент стінової конструкції житлового панельного будинку з фасадною теплоізоляцією з індустріальним опорядженням та вентиляльованим повітряним прошарком. Як типовий фрагмент розглядається рядова залізобетонна стінова панель розмірами 3,0 м × 3,75 м (висота × ширина), що по горизонталі та вертикалі примикає до аналогічних стінових панелей. Товщина стінової панелі складає 160 мм, теплоізоляційний шар передбачається влаштувати зі спінених пінополістирольних плит з густиною 25 кг/м³. Пінополістирольні плити кріпляться до несної стіни за допомогою пластикових дюбелів із металевим стрижнем. Кількість дюбелів із розрахунку 8 шт на 1 м². Із внутрішнього боку зовнішніх стін влаштовується цементно-піщана штукатурка товщиною 15 мм. Несні елементи підсистеми вентиляльованого фасаду кріпляться до стінової панелі з розрахунку 2 шт на 1 м². Стінова панель має віконний проріз розмірами 1,5 м × 1,5 м. Загальна площа непрозорої частини фрагмента фасаду дорівнює 9 м².

Кліматичні умови м. Дніпро.

Необхідно визначити мінімально допустиму товщину теплоізоляційного шару для забезпечення нормативних вимог ДБН В.2.6-31:2016 [1].

Нормативні вимоги згідно з ДБН В.2.6-31:2016 [1]: мінімально допустиме значення приведенного опору теплопередачі для непрозорих частин зовнішніх стін в I температурній зоні експлуатації України (м. Дніпро) становить $R_{q\min} = 3,3 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$.

Розрахунок згідно з ДСТУ В.2.6-189:2013 [3]:

- Товщину теплоізоляційного шару приймають рівною 150 мм.
- Визначають опір теплопередачі зовнішніх стін згідно з формулою 1 ДСТУ В.2.6-189:2013 [3]:

$$R_{\Sigma} = \frac{1}{\alpha_B} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_{ip}} + \frac{1}{\alpha_3}, \quad (1)$$

де α_B, α_3 - коефіцієнти тепловіддачі внутрішньої та зовнішньої поверхонь огорожувальної конструкції, Вт/м²×К, приймають згідно з Додатком Б ДСТУ В.2.6-189:2013 [8], і дорівнюють: $\alpha_B = 8,7 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$; $\alpha_3 = 12 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$; δ_i - товщина i -го шару зовнішніх стін, м; λ_{ip} - розрахункова теплопровідність матеріалу i -го шару зовнішніх стін в розрахункових умовах, Вт/м²×К, приймають згідно з Додатком А, для умов експлуатації «Б».

Отже, характеристики шарів стінової конструкції:

- 1) $\delta_1 = 0,015 \text{ м}$,
 $\lambda_1 = 0,93 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$ - характеристика внутрішньої штукатурки;
- 2) $\delta_2 = 0,16 \text{ м}$,
 $\lambda_2 = 2,04 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$ - характеристика залізобетонної панелі;
- 3) $\delta_3 = 0,15 \text{ м}$,
 $\lambda_3 = 0,053 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$ - характеристика спінених пінополістирольних плит густиною 25 кг/м³.

Тоді:

$$R_{\Sigma} = 3,123025 [\text{м}^2 \cdot \text{К/Вт}].$$

Визначають характерні ділянки та типи теплопровідних включень.

На фрагменті, що розглядається, присутні такі теплопровідні включення, що належать до непрозорої огорожувальної конструкції:

- a) відкоси віконних прорізів у зоні надвіконної перемички, підвіконня, рядового примикання-лінійні елементи;
- b) дюбелі для кріплення пінополістирольних плит-точкові елементи;
- c) несні кронштейни для кріплення елементів підсистем вентиляльованого фасаду - точкові елементи.

Для вищезазначених теплопровідних включень за проектними даними та даними Додатків Г та Д ДСТУ В.2.6-189:2013 [3] визначають кількісні показники та характеристики лінійних та точкових

коефіцієнтів теплопередачі. Результати наведені в таблиці 1.

На підставі даних таблиці 1 визначають приведенний опір теплопередачі зовнішніх стін згідно з формулою 2 ДСТУ Б В.2.6-189:2013 [3]:

$$R_{\Sigma np} = \frac{F_{\Sigma}}{\sum_{i=1}^i \frac{F_i}{R_{\Sigma i}} + \sum_{j=1}^j k_j L_j + \sum_{k=1}^k \psi_k N_k}; \quad (2)$$

$$R_{\Sigma np} = \frac{F_{\Sigma}}{\sum_{i=1}^i \frac{F_i}{R_{\Sigma i}} + \sum_{j=1}^j k_j L_j + \sum_{k=1}^k \psi_k N_k} =$$

$$= 2,364799 [\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}]$$

Установлена величина не задовольняє нормативним вимогам ДБН Б В.2.6-31.

Збільшимо товщу утеплювача до 250 мм, тоді:

$$R_{\Sigma np} = \frac{F_{\Sigma}}{\sum_{i=1}^i \frac{F_i}{R_{\Sigma i}} + \sum_{j=1}^j k_j L_j + \sum_{k=1}^k \psi_k N_k} =$$

$$= 3,3088 [\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}]$$

Таблиця 1

Теплопровідні включення та їх кількісне вираження / Thermal conductors and their quantitative expression

Найменування теплопровідного включення	Протяжність, м	Кількість, шт	Лінійний коефіцієнт теплопередачі, k , Вт/(м·К)	Точковий коефіцієнт теплопередачі, ψ , Вт/К
Віконний відкос у зоні перемички	1,5	-	0,063	-
Віконний відкос у зоні підвіконня	1,5	-	0,035	-
Віконний відкос у зоні рядового примикання	3,0	-	0,049	-
Дюбелі для кріплення пінополістирольних плит	-	72	-	0,005
Несні кронштейни для кріплення елементів підсистеми вентиляваного фасаду	-	18	-	0,015

Таким чином, мінімально необхідна товщина теплоізоляції стінової конструкції з залізобетонної плити товщиною 160 мм з

спінених пінополістирольних плит густиною 25 кг/м³ становить 250 мм.

Розрахунок згідно з ДБН В.2.6-31:2006 [2]:

Товщину теплоізоляційного шару приймають рівною 150 мм.

Визначають опір теплопередачі зовнішніх стін згідно з формулою 3 ДБН В.2.6-31:2006 [2]:

$$R_{\Sigma} = \frac{1}{\alpha_B} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_3}, \quad (3)$$

де α_B, α_3 - коефіцієнти тепловіддачі

внутрішньої та зовнішньої поверхонь огорожувальної конструкції, Вт/м²·К, приймають згідно з Додатком Е ДБН В.2.6-31:2006 [2], і дорівнюють:

$\alpha_B = 8,7$ [Вт/(м²·К)]; $\alpha_3 = 23$ [Вт/(м²·К)];

δ_i - товщина i -го шару зовнішніх стін, м;

λ_{ip} - розрахункова теплопровідність матеріалу i -го шару зовнішніх стін у розрахункових умовах, Вт/м²·К, приймають згідно з Додатком Л, для умов експлуатації «Б».

Отже, характеристики шарів стінової конструкції:

а) $\delta_1 = 0,015$ м,

$\lambda_1 = 0,93$ Вт/(м²·К) - характеристика внутрішньої штукатурки;

б) $\delta_2 = 0,16$ м,

$\lambda_2 = 2,04$ Вт/(м²·К) - характеристика залізобетонної панелі;

в) $\delta_3 = 0,15$ м,

$\lambda_3 = 0,053$ Вт/(м²·К) - характеристика спінених пінополістирольних плит густиною 25 кг/м³.

Тоді:

$$R_{\Sigma} = 3,08317 [\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}].$$

Установлена величина не задовольняє нормативним вимогам ДБН Б В.2.6-31-2006 [2].

Збільшимо товщу утеплювача до 200 мм, тоді:

$$R_{\Sigma} = 4,027 [\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}].$$

Таким чином, мінімально необхідна товщина теплоізоляції стінової конструкції з залізобетонної плити товщиною 160 мм зі спінених пінополістирольних плит густиною 25 кг/м^3 становить 200 мм.

Аналогічним методом також було розраховано та порівняно приклад фрагмента стінової конструкції будинку з фасадною теплоізоляцією та з індустріальним опорядженням. Несна конструкція виконана із силікатної цегли густиною 1800 кг/м^3 та товщиною 510 мм із віконним прорізом розмірами $1.3 \text{ м} \times 1.4 \text{ м}$. Теплоізоляційний шар передбачається влаштовувати з пінополістирольних плит з густиною 25 кг/м^3 .

Порівняння результатів наведені в таблиці 2, також у вигляді діаграм на рисунках 1 і 2.

Таблиця 2

Зведена таблиця порівняння методів розрахунку / Summary table of calculation methods

Нормативний документ	1-й приклад		2-й приклад	
	R_{Σ} , $\text{м}^2 \cdot \text{К/Вт}$	$\delta_{\text{утепл}}$, мм	R_{Σ} , $\text{м}^2 \cdot \text{К/Вт}$	$\delta_{\text{утепл}}$, мм
ДСТУ В.2.6-189:2013	3,31	250	3,22	200
ДБН В.2.6-31:2006	4,03	200	3,6	150

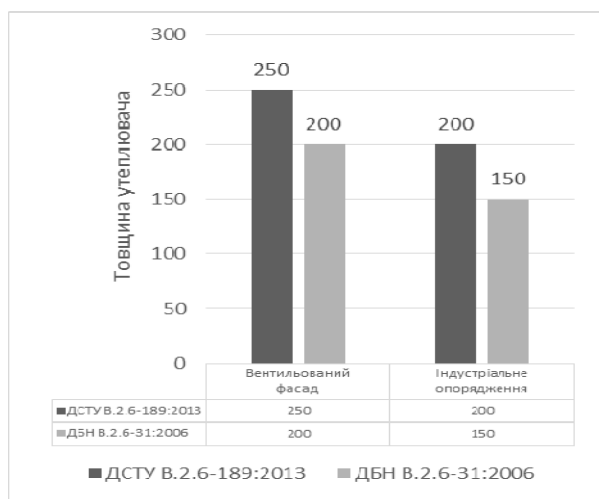


Рис. 1. Порівняння товщин утеплювача / Comparison of the thickness of the heater

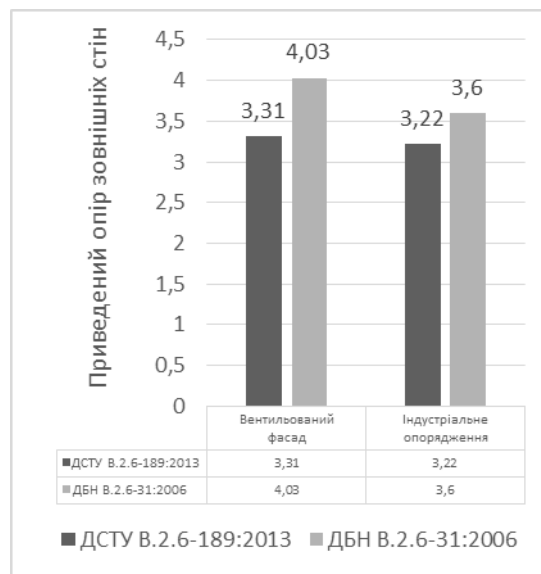


Рис. 2. Порівняння приведенного опору теплопередачі / Comparison of reduced resistance to heat transfer

Висновки. В результаті проведених розрахунків приведенного опору фрагмента стінової конструкції житлового панельного будинку із фасадною теплоізоляцією з індустріальним опорядженням та вентиляваним повітряним прошарком виявлено розбіжність в отриманих результатах, розрахованих за методиками ДСТУ В.2.6-189:2013 та ДБН В.2.6-31:2006.

Розраховуючи приведений опір за ДСТУ В.2.6-189:2013, ми отримали значення приведенного опору в розмірі $3,31 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$ у першому випадку та $3,22 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$ - у другому і в результаті товщу утеплювача в розмірі 250 мм та 200 мм, а розраховуючи за методикою, наведеною в ДБН В.2.6-31:2006, ми отримали значення приведенного опору в розмірі $4,03 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$ в першому випадку і $3,6 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$ - у другому і відповідно товщу утеплювача в розмірі 200 мм та 150 мм.

Цю розбіжність пояснює новий підхід, наведений в ДСТУ В.2.6-189:2013, в якому визначають та застосовуються характерні ділянки та типи теплопровідних включень. Для практикуючих проектувальників розраховані товщини ефективного утеплювача в найпоширеніших системах утеплювача. Розрахунками доведено, що мінімальна товщина утеплювача для ефективного енергозбереження в умовах України становить від 200 мм.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Теплова ізоляція будівель : ДБН В.2.6-31:2016. – Чинні від 2017-05-01 ; на заміну ДБН В.2.6-31:2006. – Київ : Мінрегіон України. – 2017. – 30 с.
2. Конструкції будинків і споруд. Теплова ізоляція будівель : ДБН В.2.6-31:2006. – Чинні з 2007-04-01 ; на заміну СНиП II-3-79. – Київ : Мінбуд України. – 2006. – 71 с.
3. Методи вибору теплоізоляційного матеріалу для утеплення будівель : ДСТУ Б В.2.6-189:2013. – Чинні від 2014-01-01. – Київ : Мінрегіон України. – 2014. – 51 с.
4. Economic Feasibility Evaluation of Building Passive / Ievgenii Iurchenko, Olena Koval, Mykola Savytskyi and Karim Limam // Journal of Energy and Power Engineering Houses. – 2014. – Vol. 8. – P. 1047–1053. – Режим доступу: <http://www.davidpublisher.org/Public/uploads/Contribute/5526295498503.pdf>. – Проверено: 05.06.2018.
5. Development of low-rise energy-efficient construction in Ukraine / M. Savytskyi, Iev. Iurchenko, O. Koval, M. Babenko // Seismic resistance and rehabilitation of buildings : International Conferens Seismics-2014 (Tbilisi, 29-30 May 2014) / ECCE, GSCE, WCCE, Ministry of Regional Development and Infrastructure of Georgia. – Tbilisi, 2014. – P. 5–11. – Режим доступу: http://www.ecceengineers.eu/news/2014/59_Intl_Conf_Seismic_design_papers.pdf. – Проверено: 05.06.2018.

REFERENCES

1. *Tplova izoliatsiia budivel: DBN V 2.6-31-2016* [Thermal insulation of buildings: the State Building Regulations V.2.6-31: 2016]. Dated on 2016-01-10. Kyiv: Minregion Ukraine, 2017, 30 p. (in Ukrainian).
2. *Konstruktzii budynkiv i sporud. Tplova izoliatsiia budivel: DBN V.2.6-31:2006* [Structures of buildings and structures. Thermal insulation of buildings: the State Building Regulations V.2.6-31: 2006.]. Dated on 2007-04-01. Kyiv: Minbud Ukraine, 2006, 71 p. (in Ukrainian).
3. *Metody vyboru teploizoliatsiinoho materialu dlia uteplennia budivel: DSTU B V.2.6-189:2013* [Methods of choosing insulation material for insulation of buildings: the State Standards of Ukraine V.2.6-189: 2013.]. Dated on 2014-01-01. Kyiv: Minregion Ukraine, 2014, 51 p. (in Ukrainian).
4. Yurchenko Ye., Koval O., Savytskyi M. and Limam K. *Economic Feasibility Evaluation of Building Passive*. Journal of Energy and Power Engineering Houses. 2014, vol. 8, pp.1047–1053. Available at: <http://www.davidpublisher.org/Public/uploads/Contribute/5526295498503.pdf>. (Accessed on Jun 05, 2018).
5. Savytskyi M., Yurchenko Ye., Koval O. and Babenko M. *Development of low-rise energy-efficient construction in Ukraine*. Seismic resistance and rehabilitation of buildings : International Conferens Seismics-2014 (Tbilisi, 29-30 May 2014). ECCE, GSCE, WCCE, Ministry of Regional Development and Infrastructure of Georgia. Tbilisi, 2014, pp. 5–11. Available at: http://www.ecceengineers.eu/news/2014/59_Intl_Conf_Seismic_design_papers.pdf (Accessed on Jun 05, 2018).

Рецензент: Савицький М. В., д-р техн. наук, проф.

Надійшла до редколегії: 12.12.2017 р.