

## ЕНЕРГЕТИЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ТА ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ ENERGY EFFICIENCY AND ENERGY SAVING

УДК 697.1

В.І. Дешко, д-р техн. наук, проф., ORCID 0000-0002-8218-3933

І.Ю. Білоус, асистент, ORCID 0000-0002-6640-103X

О.Е. Максименко, аспірант, ORCID 0000-0003-4099-2772

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

### АНАЛІЗ ТОЧКОВОЇ ІНДИВІДУАЛЬНОЇ ТЕРМОСАНАЦІЇ ОГОРОДЖУЮЧИХ КОНСТРУКЦІЙ БАГАТОКВАРТИРНИХ ЖИТЛОВИХ БУДИНКІВ

*Сучасний стан багатоквартирних житлових будинків (ЖБ), побудованих до кінця 90-х років, потребує повної або часткової модернізації та значного підвищення енергоефективності. При термомодернізації ЖБ основна увага приділяється: вдосконаленню архітектурних та об'ємно-планувальних рішень будівель та їх приміщень; підвищенню ефективності роботи системи опалення, водопостачання та кондиціонування повітря; оптимальному використанню природного освітлення. Однак найбільш відповідальним етапом енергозбереження є термосанація зовнішніх огороджуючих конструкцій.*

*Слід відзначити, що вплив утеплення на опалення потребує додаткового вивчення. При цьому раціональним може бути поєднання експериментального визначення умов комфортності з математичним моделюванням теплових процесів у конструкції будівлі та системі опалення. Виходячи з цього, в роботі проведено аналіз впливу комплексного та «клаптикового» утеплення на температурні умови окремих приміщень та режимів системи опалення при експлуатації типових багатоквартирних будинків.*

**Ключові слова:** теплове навантаження, витрата теплоносія, багатоквартирні будинки, точкова модернізація, умови комфортності, система опалення.

#### Вступ

Підвищення енергетичної ефективності об'єктів житлово-комунального господарства є одним із стратегічно важливих завдань державної політики України, адже на їх опалення витрачається більше 40% всіх паливно-енергетичних ресурсів (ПЕР) [1]. Досягти зниження витрат ПЕР можна тільки при системному підході до управління та аналізу ефективності.

На сьогодні відбувається гармонізація нормативної бази України з європейською, ведеться співпраця з міжнародними фінансовими організаціями для залучення іноземних інвестицій в рамках міжнародних проектів; активно використовуються інструменти співфінансування (Фонд енергоефективності, регіональні, місцеві програми), створюються муніципальні системи енергетичного менеджменту та енергомоніторингу [2]. Серед інструментів державного впливу на енергоефективність будівельного фонду можна вказати також наступні: удосконалення законодавчої та нормативно-правової бази, ліцензії, сертифікація діяльності (наприклад, енергоаудиторської), ціноутворення та тарифна політика (в тому числі на енергоносії), податкові та кредитні пільги тощо.

Значну частину будівельного фонду було зведено за часів масового серійного будівництва 90-х років, тому енергоемність комунальних послуг на сьогодні є дуже високою і майже вдвічі перевищує показники розвинених країн. Наприклад, Україна витрачає в п'ять разів більше енергії, ніж Німеччина, а в порівнянні з Польщею – витрачає в три рази більше енергії не лише на опалення, а й на освітлення і побутове споживання будівель [3].

Одним з інструментів досягнення енергоефективності у житловому секторі є впровадження заходів на рівні кінцевих споживачів, якими можуть бути як власники приватних будинків, так і ОСББ, ЖБК та інші форми об'єднання співмешканців.

При термомодернізації багатоквартирних житлових будинків основна увага приділяється: вдосконаленню архітектурних та об'ємно-планувальних рішень будівель та їх приміщень; підвищенню ефективності роботи системи опалення, водопостачання та кондиціонування повітря; оптимальному використанню природного освітлення.

Однак найбільш відповідальним етапом енергозбереження є термосанація зовнішніх огороджуючих конструкцій (ОК). Існує два види утеплення: комплексне та «клаптикове» («латкове»). Більшість помилок, що призводять до зниження теплозахисних властивостей і експлуатаційної надійності утеплених конструкцій пов'язано саме з «клаптиковим» утепленням, коли шар утеплювача монтується навколо однієї окремої квартири або декількох сусідніх квартир. Роблячи таке утеплення мешканці підвищують умови комфортності в квартирі, але якщо в ній відсутній прилад обліку тепла та можливість регулювання його споживання – це не вплине на плату за опалення. Слід відзначити, що вплив цього виду утеплення на

опалення потребує додаткового вивчення. При цьому раціональним може бути поєднання експериментального визначення умов комфортності з математичним моделюванням теплових процесів у конструкції будівлі та системі опалення. Можливими недоліками є також втрати тепла через сусідні неутеплені квартири і створення "містків холоду", які сприяють утворенню плісняви і грибка. Окрім вищезгаданого, «латкове» утеплення є ще й забороненим не лише в Україні [4], а й у країнах Західної Європи та Польщі.

#### Мета та завдання

Метою роботи є аналіз впливу комплексного та «клаптикового» утеплення на температурні умови окремих приміщень та режимів системи опалення (СО) при експлуатації типових багатоквартирних будинків.

Для досягнення поставленої мети були поставлені наступні завдання: 1) провести аналіз результатів енергоаудиту типової багатоквартирної будівлі; 2) розробити математичну модель для визначення теплового стану приміщень будівлі з вертикальною однотрубною системою опалення; 3) визначити вплив «клаптикового» утеплення на рівень параметрів опалення і температур приміщення.

#### Матеріал та результати досліджень

Опис об'єкту досліджень. Як об'єкт проведення енергоаудиту було вибрано окремо розташовану житлову багатоквартирну будівлю у м. Києві (1993 року забудови). Будівля являє собою 12-поверхову споруду, побудовану за індивідуальним проектом, з панельним перекриттям, цегляними стінами та лоджіями, без складних архітектурно-планувальних чи конструктивних рішень. Будинок має 4 під'їзди, сумарно 175 квартир (431 кімната), загальною опалювальною площею 12429 м<sup>2</sup>. СО – вертикальна однотрубна, з проточною схемою підключення приладів опалення (радіатори типу МС–140), тепловий пункт з елеваторним вузлом та теплотічильником). В якості моделі обране житлове приміщення, характеристики ОК якого наведені в табл. 1.

Таблиця 1 – Характеристика огорожувальних конструкцій об'єкту дослідження

Конструктивний елемент	Опис (товщини $\delta$ , м та коефіцієнти теплопровідності $\lambda$ , Вт/м·°С)	Термічний опір R, (м <sup>2</sup> ·°С)/Вт	Площі F, м <sup>2</sup>
Зовнішні стіни	Плитка керамічна (0,02 ; 0,64) розчин бетонний (0,01 ; 0,93) цегла пориста (0,51 ; 0,58) шпаклівка (0,05 ; 0,81)	1,14	5,35
Зовнішня стіна з утеплювачем	Мінеральна вата (0,10 ; 0,058)	2,86	5,35
Вікна	Однокамерні склопакети з ПВХ профілем, дерев'яні (близько 20%)	0,34	1,8

Загальний вигляд зовнішніх огорожень будівлі показано на рис. 1.



Рисунок 1 – Загальний вигляд зовнішніх стін будівлі ОСББ

Проведено визначення фактичної температури подачі та зворотної води в СО будинку за отриманими даними теплотічильника протягом 1,5 року. Встановлено, що температурний графік подачі теплоносія не відповідає проектному і не забезпечує належних умов комфортності в приміщеннях, а також невідповідність фактичної температури води в зворотному трубопроводі СО, що свідчить про зменшення фактичної витрати теплоносія порівняно з проектною, майже в 1,2 рази, і недотримання комфортних умов у приміщенні.

Враховуючи цю ситуацію, деякі з перемикачів проводили точкову індивідуальну термосанцію огорожуючих конструкцій своїх квартир. Типовим є використання шару утеплювача мінвати товщиною 10 см, що не дозволяє досягти мінімально допустимого опору теплопередачі для зовнішніх стін, якщо становить  $3,3 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$  для I температурної зони [5]. Дана ситуація є типовою для багатоквартирних будинків, тому для її аналізу розроблена математична модель та проведено ряд розрахунків, які наведено далі.

*Опис моделі.* Для досягнення поставленої мети було створено математичну модель, реалізовану в програмному середовищі Mathcad. В моделі розглядається стояк одноконтурної СО з нерегульованими опалювальними приладами (ОП), який проходить через однакові житлові приміщення 12-типоверхового будинку. Ця модель дозволяє визначити температури теплоносія на вході та виході з ОП, тепловий потік від ОП та внутрішню температуру повітря в приміщеннях.

Модель представляє собою систему рівнянь теплового балансу: теплопередачі від приладу опалення до повітря у кімнаті (1), від кімнати назовні (2) та теплового потоку від води до ОП (3), записану для стояка одноконтурної СО. Приймалося, що внутрішні теплонаходження у приміщенні відсутні.

$$Q = Q_p \cdot \left[ \frac{t_n + t_{3\text{в}} - t_{\text{вн}}}{70} \right]^{1,3}$$

$$Q = h \cdot (t_{\text{вн}} - t_{3\text{овн}}) \quad (1-3)$$

$$Q = m \cdot c \cdot (t_n - t_{3\text{в}})$$

де  $Q_p$  – номінальний тепловий потік ОП при  $\Delta t = 70^\circ\text{C}$ ,  $\text{кВт}/\text{м}^2$ ;

$t_{3\text{в}}$  – середня температура ОП,  $^\circ\text{C}$ ;

$t_n$  – температура теплоносія на вході в ОП,  $^\circ\text{C}$ ;

$t_{3\text{в}}$  – температура теплоносія на виході з ОП,  $^\circ\text{C}$ ;

$t_{\text{вн}}$  – внутрішня температура повітря в приміщенні,  $^\circ\text{C}$ .

$t_{3\text{овн}}$  – зовнішня температура повітря в приміщенні,  $^\circ\text{C}$ ;

$m$  – витрата теплоносія через стояк,  $\text{кг}/\text{с}$ ;

$c = 4,183 \text{ кДж}/\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}$  – питома теплоємність теплоносія (води).

$h$  – приведений коефіцієнт теплової провідності огороження, визначається згідно характеристик огорожувальних конструкцій, наведених в таблиці 2 та формулою (4) [6,7],  $\text{Вт}/\text{К}$ .

$$h = h_{tr} + h_{vent} \quad (4)$$

де  $h_{tr}$  – загальний коефіцієнт теплопередачі зовнішніх огорожувальних конструкцій,  $\text{Вт}/\text{К}$ ;

$h_{vent}$  – загальний коефіцієнт теплопередачі вентиляцією,  $\text{Вт}/\text{К}$ .

$$h_{tr} = \sum_{j=1}^m A_s \cdot \frac{1}{R_{se} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + R_{is}} + U_w \cdot A_w \quad (5)$$

де  $R_{is} = 0,17 \text{ (м}^2 \cdot \text{К)}/\text{Вт}$  – тепловий внутрішній поверхневий опір [7];

$R_{se} = 0,043 \text{ (м}^2 \cdot \text{К)}/\text{Вт}$  – тепловий зовнішній поверхневий опір [7];

$U_w = 2,94 \text{ Вт}/\text{(м}^2 \cdot \text{К)}$  – коефіцієнт теплопередачі світлопрозорого огороження [8];

$A_s, A_w$  – площі світлопрозорих та непрозорих огорожень відповідно;

$\delta$  – товщина  $i$ -го шару елемента непрозорої конструкції,  $\text{м}$ ;

$\lambda$  – теплопровідність матеріалу  $i$ -го шару непрозорої конструкції,  $\text{Вт}/\text{(м}^2 \cdot \text{К)}$ ;

$n$  – кількість шарів конструкції;

$i$  – порядковий номер шару конструкції;

$m$  – кількість зовнішніх непрозорих елементів огорожень через які втрачається тепло;

$j$  – порядковий номер зовнішніх непрозорих огорожень.

$$h_{vent} = 0,34 \cdot V \cdot n \quad (6)$$

де  $V = 30,6 \text{ м}^3$  – внутрішній об'єм приміщення,

$n = 1 \text{ год}^{-1}$  – кратність повітрообміну.

*Результати розрахунків.* Розрахунки проведено для даних, представлених в таблиці 2. Фактична витрата води через стояк  $0,084 \text{ кг}/\text{с}$ . При температурі зовнішнього повітря відповідно  $-18^\circ\text{C}$  та  $0^\circ\text{C}$  температура подачі теплоносія в стояк:  $68,8^\circ\text{C}$  та  $50,9^\circ\text{C}$  відповідає фактичному температурному графіку з урахуванням охолодження води в подавальному трубопроводі від тепловитратного пункту.

Таблиця 2 – Вихідні дані для розрахунків

Температура зовнішнього повітря $t_{зовн}, ^\circ\text{C}$	-18	0
Температура подачі теплоносія в стояк $t_n, ^\circ\text{C}$	68,8	50,9
Витрата теплоносія через стояк $m, \text{кг/с}$	0,084	
Коефіцієнт теплової провідності огороження $h, \text{Вт/К}$	17,6	
	14,4	

Проведено три варіанти розрахунків поперхового розподілу температур та теплових потоків в приміщеннях:

- 1) для коефіцієнта теплопровідності огорожень, розрахованого відповідно до норм забудови будинку;
- 2) для коефіцієнта теплопровідності огорожень, перерахованого для «клаптикового» утеплення стін з 9 по 4 поверх шаром мінвати 10см;
- 3) у випадку комплексного утеплення будинку з 1 по 12 поверхи.

Результати розрахунків теплових потоків у приміщеннях, у віднесенні до  $Q_p=0,740$  кВт, що відповідає розрахунковим даним, наведено на рис.2.

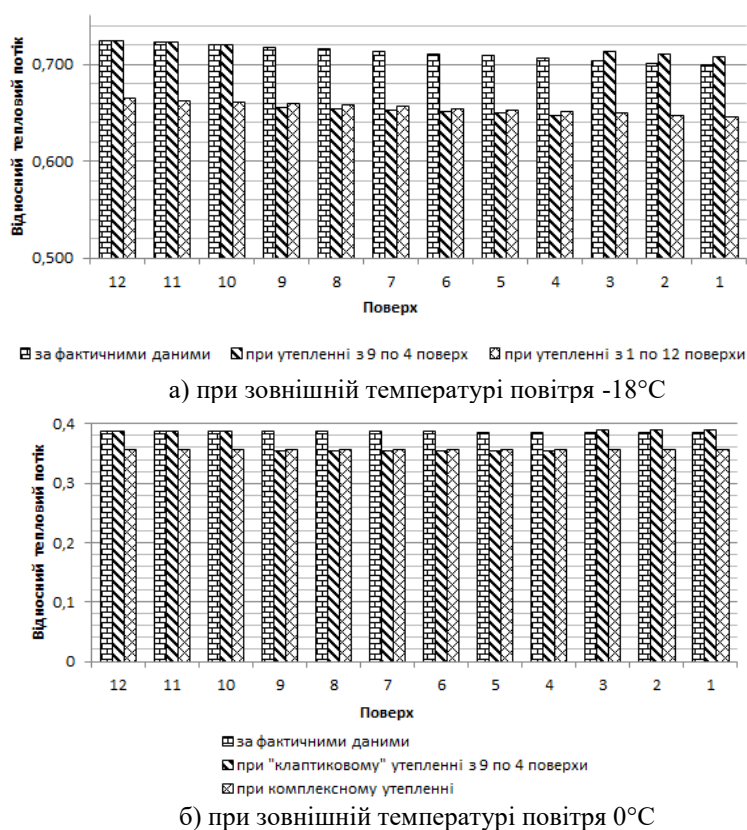


Рисунок 2 – Відносні теплові потоки ОП, які розташовані на різних поверхах в залежності від виду утеплення

При фактичних температурі подачі та витраті теплоносія відносно значення теплового потоку від ОП при  $t_3 = -18^\circ\text{C}$  складає від 0,724 до 0,700 (рис. 2,а). За умови «клаптикового» утеплення цей потік зменшується від 0,718 до 0,655 на 9-му поверсі і від 0,707 до 0,647 – на 4-му. Тепловий потік у випадку комплексного утеплення – 0,665 ... 0,646.

Для середніх температур опалювального сезону відносно значення фактичного теплового потоку ОП майже не змінюється на першому поверсі в порівнянні з 12-м і становить 0,386 (рис. 2,б). При «латковому» утепленні спостерігається зменшення теплового потоку з 9 по 4 поверхи (0,355) і збільшення на нижніх поверхах – 0,389. При комплексному утепленні відбувається зниження теплового потоку на 8% в порівнянні з фактичними даними (0,357).

Аналогічний аналіз проводився для температур повітря в приміщеннях (рис.3). За фактичними даними, отриманим при енергоаудиті об'єкту встановлено, що температура повітря в приміщеннях при ( $t_3 = 0^\circ\text{C}$ ) в середньому становить  $16,2^\circ\text{C}$ . За даними розрахунків при «клаптиковому» утепленні: з 12 по 10 поверх – температура залишається незмінною; з 9 по 4 – підвищується на  $2,1^\circ\text{C}$ ; а з 3 по 1 – зменшується на

1,9°C. У випадку комплексної модернізації спостерігається підвищення температур повітря на 2,1°C порівняно з фактичними даними на всіх поверхах (18,3°C).



Рисунок 3 – Температури повітря в приміщеннях

### Висновки

В роботі проведено аналіз впливу утеплення на умови комфортності та зниження енергоспоживання в типовій багатоквартирній будівлі. Розглянуто варіанти 50 % та 100% утеплення стін. В останньому випадку для розглянутих умов спостерігається економія теплової енергії на потреби опалення 8%. Ця економія могла би бути більшою при використанні світлопрозорих елементів конструкцій з кращими теплотехнічними показниками та зменшених втратах з повітрообміном.

«Клаптикове» утеплення з 9 по 4 поверхи додатково призвело до покращення показників комфортності на 3-1 поверсі (внутрішня температура зросла всього на 0,2°C). Отримані результати можуть бути використані при визначенні розподілу загальнобудинкової вартості опалення між окремими мешканцями. «Клаптикове» утеплення призводить до зменшення споживання для утеплених квартир (8%) та збільшення споживання енергії і, відповідно, плати мешканцями нижніх поверхів (понад 1% для середніх температур зовнішнього повітря).

*Перспективи подальших досліджень.* Врахування в моделі теплоінерційних особливостей, можливості перетоків між суміжними приміщеннями та врахування додаткових теплонадходжень.

### Список використаної літератури

1. Лавінська З., Саницька О. Соціально-екологічні аспекти енергозбереження в житлово-комунальному секторі. "GEODESY, ARCHITECTURE & CONSTRUCTION 2009" (GAC-2009), 14-16 MAY 2009, LVIV, UKRAINE. P.75-77.
2. Шовкалюк М.М., Леконцева О.Е. Розвиток програм стимулювання підвищення енергоефективності будівель в Україні / Збірник наук. праць V Міжнар. наук.-техн. та навч.-метод. конф. у м. Києві 17-12.04.2018р., с.116-117.
3. Офіційний сайт НКРЕКП (Національна комісія, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг), [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <http://www.nerc.gov.ua>
4. ЗУ «Про особливості здійснення права власності у багатоквартирних будинках» №417-8, від 10.06.2018 р., Цивільний кодекс України ч. 2 ст. 382 в редакції Закону № 417-8, від 14.05.2015.
5. ДБН В.2.6-31:2016. Теплова ізоляція будівель. К.: Мінбуд України, 2017. 37 с.
6. EN 12831:2003. Heating system in buildings – Method for calculation of the design heatload. – CEN. – European Committee for Standardization. – 2003.
7. ДСТУ Б А.2.2-12:2015. Енергетична ефективність будівель. Метод розрахунку енергоспоживання при опаленні, охолодженні, вентиляції, освітленні та гарячому водопостачанні [Уведений вперше; чинний від 2015.01.01]. К. Мінрегіонбуд України, 2016. 205 с.
8. ДБН В.2.6-31:2006. Конструкції будинків та споруд. Теплова ізоляція будівель [На заміну СНиП П-3-79; чинний від 2007.04.01]. К.: Мінбуд України, 2006. 64 с.

**В.И. Дешко**, д-р техн. наук, проф., ORCID 0000-0002-8218-3933

**И.Ю. Белоус**, ассистент, ORCID 0000-0002-6640-103X

**А.Э. Максименко**, аспирант, ORCID 0000-0003-4099-2772

Национальный технический университет Украины

«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»

### **АНАЛИЗ ТОЧЕЧНОЙ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ТЕРМОСАНАЦИИ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ МНОГОКВАРТИРНОГО ЖИЛОГО ДОМА**

Современное состояние многоквартирных жилых домов (ЖД), построенных до конца 90-х годов, требует полной или частичной модернизации и повышения энергоэффективности. При термомодернизации ЖД основное внимание уделяется: совершенствованию архитектурных и объемно-планировочных решений зданий и их помещений; повышению эффективности работы системы отопления, водоснабжения и кондиционирования воздуха; оптимальному использованию естественного освещения. Однако наиболее ответственным этапом энергосбережения является термосанация наружных ограждающих конструкций.

Следует отметить, что влияние утепления на отопление требует дополнительного изучения. При этом рациональным может быть сочетание экспериментального определения условий комфортности с математическим моделированием тепловых процессов в конструкции здания и системе отопления. Исходя из этого, в работе проведен анализ влияния комплексного и «лоскутного» утепления на температурные условия отдельных помещений и режимов системы отопления при эксплуатации типовых многоквартирных домов.

**Ключевые слова:** тепловая нагрузка, расход теплоносителя, многоквартирные дома, точечная модернизация, условия комфортности, система отопления.

**V. Deshko**, Dr. Sc. Sciences., Prof., ORCID 0000-0002-8218-3933

**I. Bilous**, TF, ORCID 0000-0002-6640-103X

**A. Maksymenko**, Ph.D. student, ORCID 0000-0003-4099-2772

National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»

### **ANALYSIS OF DOMESTIC INDIVIDUAL THERMOSANATION OF DIFFERENT STRUCTURES OF MULTI-APARTMENT RESIDENTIAL BUILDINGS**

The current state of multi-apartment residential buildings built up to the end of the 1990s requires full or partial modernization and a significant increase in energy efficiency. At the thermo-modernization of the housing stock, the main attention is paid to: improvement of architectural and bulk-planning decisions of buildings and their premises; increase of efficiency of the heating system, water supply and air conditioning; optimal use of natural light. However, the most important stage of energy conservation is the thermal sensing of external enclosing structures.

There are two types of insulation: complex and "shred" ("patchy"). Most of the mistakes that lead to a decrease in the heat-shielding properties and operational reliability of the insulated constructions are due to the "shred" insulation. When doing such insulation, residents increase the comfort conditions in the apartment, but if the apartment doesn't have a heat meter and the possibility of regulating its consumption - it will not affect the payment for heating. It should be noted that the effect of insulation on the heating needs to be further studied. At the same time, a combination of experimental determination of comfort conditions with mathematical modeling of thermal processes in the construction of a building and heating system can be rational. Proceeding from this, in the work the analysis of the influence of complex and "shred" insulation on the temperature conditions of separate premises and modes of heating system during operation of typical multi-apartment buildings has been carried out.

**Keywords:** heat load, heat transfer volume, multi-apartment residential buildings, point modernization, comfort conditions, heating system.

References

1. Lavinska Z., Sanytska O. Cotsialno-ekolohichni aspekty enerhozberezhennia v zhytlovo-komunalnomu sektori. "GEODESY, ARCHITECTURE & CONSTRUCTION 2009" (GAC-2009), 14-16 MAY 2009, LVIV, UKRAINE. P.75-77.
2. Shovkaliuk M.M., Liekontseva O.E. Rozvytok prohram stymuliuvannia pidvyshchennia enerhoefektyvnosti budivel v Ukraini / Zbirnyk nauk. pratsV Mizhnar. nauk.-tekhn. ta navch.-metod. konf. u m. Kyievi 17-12.04.2018r., s.116-117.
3. Ofitsiyni sait NKREKP (Natsionalna komisiia, shcho zdiisniue derzhavne rehuliuвання u sferakh enerhetyky ta komunalnykh posluh), [Elektroni resurs]. - Rezhym dostupu: <http://www.nerc.gov.ua>
4. ZU «Pro osoblyvosti zdiisnennia prava vlasnosti u bahatokvartyrnykh budynkakh» №417-8, vid 10.06.2018 r., Tsyvilnyi kodeks Ukrainy ch. 2 st. 382 v redaktsii Zakonu № 417-8, vid 14.05.2015.
5. DBN V.2.6-31:2016. Teplova izoliatsiia budivel. K.: Minbud Ukrainy, 2017. 37 s.
6. EN 12831:2003. Heating system in buildings – Method for calculation of the design heatload. – CEN. – European Committee for Standardization. – 2003.
7. DSTU B A.2.2-12:2015. Enerhetychna efektyvnist budivel. Metod rozrakhunku enerhospozhyvannia pry opalenni, okholodzhenni, ventyliatsii, osvitlenni ta hariachomu vodopostachanni [Uvedenyi vpershe; chynnyi vid 2015.01.01]. K. Minrehionbud Ukrainy, 2016. 205 s.
8. DBN V.2.6-31:2006. Konstruktsii budynkiv ta sporud. Teplova izoliatsiia budivel [Na zaminu SNyP II-3-79; chynnyi vid 2007.04.01]. K.: Minbud Ukrainy, 2006. 64 s.

Надійшла 20.01.2019

Received 20.01.2019