УДК 621.311
DOI: 10.30838/J.BPSACEA.2312.140723.28.951

ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ БАГАТОКВАРТИРНОГО ЖИТЛОВОГО БУДИНКУ

ВІЛІНСЬКА Л. М.[1*], *канд. фіз.-мат. наук, доц.,*
БУРЛАК Г. М.[2], *канд. фіз.-мат. наук, доц.,*
ГУРСЬКА А. В.[3], *студ.*

[1*] Кафедра фізики, Одеська державна академія будівництва та архітектури, вул. Дідріхсона, 4, 65029, Одеса, Україна, тел. +38 (098) 267-84-25, e-mail: vilsem56@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-4597-2527
[2] Кафедра фізики, Одеська державна академія будівництва та архітектури, вул. Дідріхсона, 4, 65029, Одеса, Україна, тел. +38 (063) 988-12-13, e-mail: demiga89@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-3259-1568
[3] Одеська державна академія будівництва та архітектури, вул. Дідріхсона, 4, 65029, Одеса, Україна, тел. +38 (093) 245-19-91, e-mail: anastasiagurskayaaaaaa@gmail.com

Анотація. ***Постановка проблеми.*** Підвищення енергоефективності багатоквартирних житлових будинків – один із пріоритетних напрямків енергетичної політики України. Зниження енергозатрат у процесі експлуатації багатоквартирних багатоповерхових житлових будинків досягається комплексом організаційних і технічних заходів. Перевага проектування енергоефективних будинків полягає у високому рівні комфорту, створенні сприятливого мікроклімату у житловому будинку, зниженні негативного впливу на довкілля, зменшенні шкідливих викидів в атмосферу, економії енергоресурсів. Однією з основних характеристик енергетичної ефективності будівель прийнято вважати питоме енергоспоживання під час опалення та охолодження приміщень на рік. ***Мета статті*** – проаналізувати розрахунок вартості витрат на енергоресурси по рядовій секції індустріального будинку з урахуванням застосованих енергоефективних рішень. ***Висновки.*** Проведено аналіз залежності витрат на енергоресурси багатоквартирного житлового будинку від рівня впровадження енергоефективних систем. Суттєве зниження трансмісійних витрат та витрат на функціонування системи вентиляції можливе тільки за рахунок використання автоматизованої системи управління всіма технічними пристроями в будівлі. Впровадження системи енергоефективних рішень і системи регулювання «Розумний будинок» у м. Одеса у будівництво житлових комплексів дозволяє значно скоротити витрати на енергоресурси.

Ключові слова: *енергоефективність; трансмісійні витрати; вентиляційні витрати; системи регулювання «Розумний будинок»*

ENERGY EFFICIENCY OF AN APARTMENT BUILDING

VILINSKA L.M.[1*], *Cand. Sc. (Phys.-Math.), Assoc. Prof.,*
BURLAK H.M.[2], *Cand. Sc. (Phys.-Math.), Assoc. Prof.,*
GURSKA A.V.[3], *Stud.*

[1*] Department of Physics, Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture, 4, Didrihsona St., Odesa, 65029, Ukraine, tel. +38 (098) 267-84-25, e-mail: vilsem56@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-4597-2527
[2] Department of Physics, Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture, 4, Didrihsona St., Odesa, 65029, Ukraine., tel. +38 (063) 988-12-13, e-mail: demiga89@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-3259-1568
[3] Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture, 4, Didrihsona St., Odesa, 65029, Ukraine, tel. +38 (093) 245-19-91, e-mail: anastasiagurskayaaaaaa@gmail.com

Abstract. ***Problem statement.*** The current direction of the development of the energy policy of Ukraine is the transformation of the residential communal complex into a system that makes it possible to implement organizational and technical methods for creating energy-efficient multi-apartment residential buildings. The advantage of designing energy-efficient buildings is a high level of comfort, creating a favorable microclimate in a residential building, reducing the negative impact on the environment, reducing harmful emissions into the atmosphere, and saving energy resources. One of the main characteristics of the energy efficiency of buildings is the specific energy consumption for heating and cooling the premises per year. In order to achieve a reduction in the specific rate of thermal energy consumption for heating and ventilation of the building, it is necessary to responsibly approach the issues of the efficiency of energy-saving systems. It is possible to achieve an increase in energy efficiency with the help of a combination of various constructive, engineering and architectural planning measures, as well as the simultaneous use

of modern engineering energy-saving methods and technologies in combination with a compact form and layout of the building. ***The purpose of the article.*** Analyze the calculation of the cost of energy resources of an apartment building, taking into acount energy-efficient solutions. ***Conclusions.*** An analysis of the dependence of energy costs of a multi-apartment residential building on the level of implementation of energy-efficient systems was carried out. During the construction of residential complexes in Odesa, the use of the system of energy-efficient solutions and the "Smart House" control system allows you to significantly reduce energy costs. Due to the use of an automated control system for technical devices in the building, a reduction in transmission costs and costs for the functioning of the ventilation system is achieved.

Keywords: *energy efficiency; transmission costs; ventilation costs; "Smart House" control systems*

Постановка проблеми. Забезпечення енергоефективності зумовлено розвитком економіки України на тлі енергетичних та екологічних проблем. Підвищення енергоефективності багатоквартирних житлових будинків – один із пріоритетних напрямків енергетичної політики України. Питання енергозбереження та раціонального використання енергоносія визначальні у формуванні ціни на будівельні вироби. Зниження енергозатрат у процесі експлуатації багатоквартирних багатоповерхових житлових будинків досягається комплексом організаційних і технічних заходів.

Перевагою проектування енергоефективних будинків вважається високий рівень комфорту, створення сприятливого мікроклімату у житловому будинку, зниження негативного впливу на довкілля, зменшення шкідливих викидів в атмосферу, економія енергоресурсів. Однією з основних характеристик енергетичної ефективності будівель прийнято вважати питоме енергоспоживання під час опалення та охолодження приміщень на рік. Становило інтерес проаналізувати залежності витрат на енергоресурси будівель від рівня впровадження енергоефективних систем.

Аналіз публікацій. Енергозбереження – це організаційна, наукова, практична та інформаційна діяльності, направлені на раціональне використання та економне витрачання первинної і перетвореної енергії, природних енергетичних ресурсів у національному господарстві, що реалізується із застосуванням технічних, економічних і правових методів [2; 4].

Витрати на створення енергоефективної комерційної нерухомості у середньому збільшуються на 8−10 % при зведенні 1м^2 порівняно із звичайним будівництвом, що суттєво гальмує розвиток енергоефективності у цьому секторі будівництва. [9]. Світовий досвід доводить, що можливо зменшення споживання енергії на 30−40 % лише за рахунок встановлення системи лічильників, утеплення тощо. Найбільша частина загальних тепловитрат у сучасному багатоквартирному житловому будинку полягає в нагріванні інфільтруючого повітря в приміщеннях. Так, трансмісійні тепловитрати через огороджувальні конструкції складають близько 40 %, на нагрівання припливного повітря – 60 % для 7-поверхового житлового будинку [3].

У [6] показано, що після проведених заходів із термореновації системи опалення висотного корпусу ПДАБА питоме енергоспоживання для опалення будівлі зменшилось на 43 %, тобто на 43,4 кВт·год/м^3. У роботі [7] запропонована методику оцінювання екологічності та енергоефективності будівельних об'єктів на основі використання узагальненої функції бажаності Харрінгтона. Аналіз енерговитрат будинку за допомогою хмарного програмного забезпечення дає новий підхід до вибору енергоефективних типологічних рішень [8].

Важливість врахування теплопровідних включень зовнішніх стін будівлі при розрахунках трансмісійних тепловтрат вказується у роботі [1]. Якщо не враховувати вплив теплових включень, то за рахунок збільшення тепловтрат може змінитися навіть клас енергоефективності будівлі. Існуюча практика спрощування розрахунків енергоаудиторів не відповідає задачам знаходження оптимальних значень

енергопотреби будівлі. Розробляючи кроки підвищення енергоефективності багатоквартирних житлових будинків, необхідно уважно підійти до питань ефективності роботи енергозберігаючих систем задля того, щоб досягти зниження питомого показника витрати теплової енергії на опалення та вентиляцію будівлі. Раціональним та економічно доцільним способом підвищення енергоефективності є лише поєднання різних конструктивних, інженерних та архітектурно-планувальних заходів, одночасне використання сучасних інженерних енергозберігаючих методів та технологій у поєднанні з компактною формою та плануванням будівлі.

Мета статті – проаналізувати розрахунок вартості витрат на енергоресурси по рядовій секції індустріального будинку з урахуванням застосованих енергоефективних рішень.

Результати досліджень. Матеріали досліджень базуються на виконаних енергетичних аудитах громадських будівель в місті Одеса. Об’єктом дослідження є енергоспоживання 25-поверхового житлового будинку по вулиці Варненська міста Одеса. Проведено аналіз залежності витрат на енергоресурси багатоквартирного житлового будинку від рівня впровадження енергоефективних систем. Проаналізовано розрахунок енергоспоживання, виконаний за методикою [5].

Досягнути енергоефективності даного житлового будинку можливо за допомогою використання сонячних колекторів, застосування інноваційних вікон, здійснення автоматичного контролю всіх інженерних систем будинку за рахунок створення системи «Розумний будинок», а також високоефективної вентиляції з системою рекуперації.

Здатність утримувати тепло досягається за рахунок інноваційного напилення, нанесеного на внутрішню поверхню скла. Його дія подібна до дзеркала. Крім того, вікна мають «теплу рамку» − це дистанційна пластикова рамка, яка на відміну від традиційної алюмінієвої, має меншу теплопровідність. Але потрібно враховувати, що тепловідбивне покриття з часом може поступово втрачати свої властивості.

Сонячне випромінювання проходить через захисне скло з високим (до 95 %) коефіцієнтом пропускання і потрапляє на теплопоглинальну поверхню, з коефіцієнтом поглинання до 90 %, нагріваючи її. Нагріта абсорбуюча поверхня передає теплову енергію теплоносію, який знаходиться в трубках колектора. При досягненні певної температури теплоносія, включається циркуляційний насос, який проганяє нагрітий теплоносій через теплообмінник, віддаючи при цьому свою теплову енергію теплоз'ємної рідини (води) системі опалення.

За рахунок централізованого рекуператора зберігається близько 90 % тепла, яке зазвичай втрачається через вентиляційну систему. У системах вентиляції та кондиціювання даного житлового будинку процес рекуперації відбувається сумісно з витяжною вентиляцією. Проведено розрахунок коефіцієнта ефективності рекуператора за температурою. Заміри температури проводилися з жовтня по квітень. Величина коефіцієнта становила близько 0,85 %.

На основі аналізу існуючих методик, теоретичних розробок і практичного досвіду роботи в області підвищення енергоефективності житлових будівель проведено порівняння економічних показників і підсумовано економічне оцінювання енергоефективності в 2020 році.

Аналітичний підсумок № 1. На основі проведених розрахунків вартості витрат на енергоресурси (газ, електроенергія) проведено аналітику по рядовій секції житлового комплексу без застосування енергоефективних рішень і системи «Розумний будинок». Дані розрахунку були зведені в таблицю. Всього витрати на енергоресурси в рік, склали 82 0526,0 грн/рік. Результати розрахунків економічної ефективності в усіх напрямках показали, що житловий будинок є неефективним з точки зору енергоспоживання. Можна зробити

висновок, що в даному випадку доцільне застосування енергозберігаючих заходів. Сумарна вартість газу на місяць, приведена до 1 м², складає, грн/міс./м² –5,98. Сумарні витрати на вентиляцію в місяць на 1 м², грн – 8,01. Всього витрати на опалення і вентиляцію (газ і електроенергія) становлять, грн/міс./1 м² – 13,99.

Аналітичний підсумок № 2. Розрахунок вартості витрат на енергоресурси (газ, електроенергія) по рядовій секції індустріального будинку без енергоефективних технічних рішень, але з системою управління «Розумний будинок». Всього витрати на енергоресурси склали 698 918,3 грн/рік. Якщо зробити підсумок, то можлива економія може скласти 15 % для даної секції. Видно, що економія коштів приносить досить відчутний ефект – 121 608 грн/рік. Сумарна вартість газу на місяць, приведена до 1 м², складає, грн/міс./м² – 4,78. Сумарні витрати на вентиляцію в місяць на 1 м², грн – 6,41. Всього витрати на опалення та вентиляцію (газ і електроенергія) становлять, грн/міс./м² – 11,19.

Аналітичний підсумок №3. Розрахунок вартості витрат на енергоресурси (газ, електроенергія) по рядовій секції індустріального будинку з урахуванням застосованих енергоефективних рішень (енергоефективні вікна, сонячні колектори, конденсаційні котли, високоефективна вентиляція) і система регулювання «Розумний будинок». Всього витрати на енергоресурси, склали 349 047,9 грн/рік. Сумарна вартість газу на місяць, приведена до 1 м², грн/міс./м² – 3,63. Сумарні витрати на вентиляцію в місяць на 1 м², грн – 1,77. Всього витрати на опалення та вентиляцію (газ і електроенергія) становлять, грн/міс./м² – 5,40.

Структура споживання енергоресурсів в грошовому відношенні у відсотках їх споживання у випадках трьох аналітичних підсумків показана на круговій діаграмі (рис. 1). Для визначення трансмісійних тепловитрат Q_{tr} використовувались показники витрати енергії на теплопередачу трансмісією, Вт-год, для кожного місяця опалювального періоду, які розраховані за формулою [5]: $Q_{tr} = H_{tr,adj}(\theta_{\text{int},set,H} - \theta_C)t$, де $H_{tr,adj}$ – загальний коефіцієнт теплопередачі трансмісією до зовнішнього середовища, Вт/К; $\theta_{\text{int},set,H}$ – задана температура зони будівлі для опалення, °С; θ_C – середньомісячна температура зовнішнього середовища, °С; t – тривалість місяця, для якого проводиться розрахунок, год.

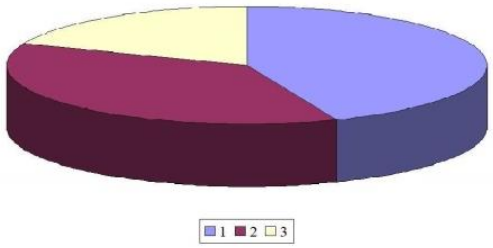

Рис. 1. Структура витрат на енергоресурси по рядовій секції індустріального будинку в грошовому відношенні у відсотках: 1 – витрати на енергоресурси в рік без застосування енергоефективних рішень і системи регулювання «Розумний будинок» – 44 %; 2 – витрати на енергоресурси в рік без енергоефективних технічних рішень, але із системою регулювання «Розумний будинок» – 37 %; 3 – витрати на енергоресурси в рік з урахуванням застосованих енергоефективних рішень і системи регулювання «Розумний будинок» – 19 %

Як видно з кругової діаграми, в результаті застосованих енергоефективних рішень і системи регулювання «Розумний будинок» відбувається значне скорочення витрат на енергоресурси. Економиться значна кількість енергії і ресурсів. Теплопередача трансмісією розрахована згідно з наведеною формулою. Розрахунки проводились у випадках використання енергоефективних рішень, таких як енергоефективні вікна, сонячні колектори на ГВС, конденсаційні котли, високоефективна вентиляція і система регулювання «Розумний будинок», а також і без застосування енергоефективних рішень і системи «Розумний будинок» (рис. 2).

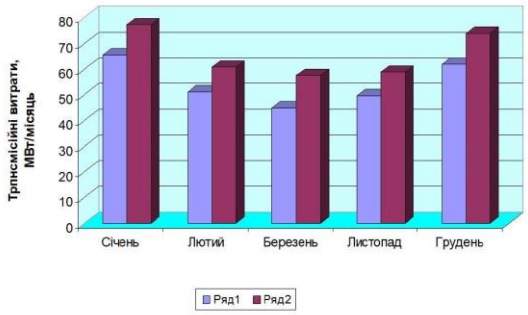

Рис. 2. Динаміка змін трансмісійних тепловитрат: 1 – з урахуванням застосованих енергоефективних рішень і системи регулювання «Розумний будинок»; 2 – без застосування

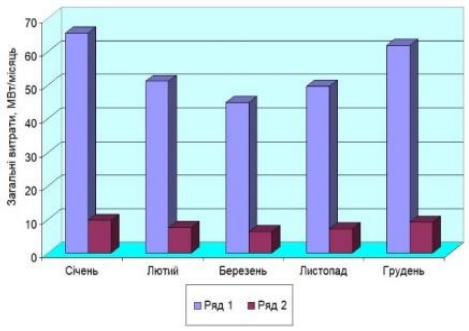

Рис. 3. Структура загальних тепловитрат у натуральних одиницях з урахуванням енергоефективних рішень: 1 – трансмісійні витрати; 2 – вентиляційні витрати

Як видно з рисунку 2, за рахунок використання автоматизованої системи управління всіма технічними пристроями в будівлі, відбувається зниження трансмісійних витрат та витрат на функціонування системи вентиляції. В результаті відбувається скорочення трансмісійних витрат на 15 %, що призводить до зменшення сумарної вартості газу на місяць на 40 %.

Сумарну теплопередачу вентиляцією розраховано згідно [5]. На рисунку 3 наведено графік порівняння трансмісійних та вентиляційних витрат. Видно, що вентиляційні витрати значно менше трансмісійних витрат.

Висновки

Розрахунок вартості витрат на енергоресурси (газ, електроенергія) по рядовій секції індустріального будинку по вул. Варненська, м. Одеса з урахуванням застосованих енергоефективних рішень (енергоефективні вікна, сонячні колектори, конденсаційні котли, високоефективна вентиляція) і системи регулювання «Розумний будинок» показує, що впровадження цих заходів дозволяє значно скоротити експлуатаційні витрати. Використання автоматизованої системи управління технічними пристроями в багатоквартирному житловому будинку дозволяє зменшити трансмісійні витрати та витрати на функціонування системи вентиляції.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бахтін Д. Впровадження енергоефективних технологій при будівництві нової комерційної нерухомості в Україні. *Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Серія : Архітектура*. 2020. № 2 (4). С. 8–18. URL : https://doi.org/10.23939/sa2020.02.008

2. Гагарин В. Г., Коркина Е. В., Шмаров И. А. Теплопоступления и теплопотери через стеклопакеты с повышенными теплозащитными свойствами. *Строительные науки.* 2017. № 2. С. 106–110.

3. Гетун Г., Кошева В., Гамоцький Р., Гончаренко А. Вплив повітрообміну в приміщеннях на енергоефективність багатоквартирних житлових будинків. *Енергоефективність в будівництві та архітектурі*. 2019. Вип. 13. С. 58–68. DOI: 10.32347/2310-0516.2019.13.58-68.

4. ДБН В.1.2-11:2021. Основні вимоги до будівель і споруд. Енергозбереження та енергоефективність. [Чинний від 01.09.2022]. URL : https://www.minregion.gov.ua/wp-content/uploads/2022/06/dbn-v.1.2-11_2021.pdf

5. ДСТУ Б А.2.2-12:2015. Енергетична ефективність будівель. Метод розрахунку енергоспоживання при опаленні, охолодженні, вентиляції, освітленні та гарячому водопостачанні. [Чинний від 01.01.2016]. URL : https://www.znu.edu.ua/pidrozdily/atest_energoef/zakonodavcha/dstuba_2_2-122015.pdf

6. Косенко Л. В., Коваль О. О., Юрченко Є. Л., Тимошенко О. А. Енергоефективність системи опалення висотного корпусу ПДАБА. *Український журнал будівництва та архітектури.* 2022. № 6. С. 66–72. DOI: 10.30838/J.BPSACEA.2312.271222.66.912

7. 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

8. Сопільняк А. М., Колохов В. В., Ярова Т. П., Середа С. Ю., Сіренюк К. О., Дунда В. В. BIM- енергоаналіз будинку з подвійними вікнами. *Український журнал будівництва та архітектури.* 2021. № 3. С. 107–115. DOI: 10.30838/J.BPSACEA.2312.010721.107.773

9. Шовкалюк М. М., Зіменко С. В. Аналіз тепловтрат через огородження з урахуванням різних методів оцінки тепловтрат через огородження з урахуванням різних методів оцінки теплозахисних властивостей. *Енергетика: економіка, технології, екологія*. 2017. № 4. С. 73–83. URL : https://doi.org/10.20535/1813-5420.4.2017.127548

REFERENCES

1. Bakhtin D. *Vprovadzhennia enerhoefektyvnykh tekhnolohii pry budivnytstvi novoi komertsiinoi nerukhomosti v Ukraini* [Implementation of energy-efficient technologies during the construction of new commercial real estate in Ukraine]. *Visnyk Natsionalnoho universytetu "Lvivska politekhnika". Seriia : Arkhitektura* [Bulletin of the Lviv Polytechnic National University. Series : Architecture]. 2020, vol. 2 (4), pp. 8–18. (in Ukrainian).

2. Gagarin V.G., Korkina E.V. and Shmarov I.A. *Teplopostupleniya i teplopoteri cherez steklopaketyi s povyishennyimi teplozaschitnyimi svoystvami* [Heat transfer and heat loss through double-glazed windows with enhanced heat-shielding properties]. *Stroitelnyie nauki* [Construction Sciences]. 2017, vol. 2, pp.106–110. (in Russian).

3. Hetun H., Kosheva V., Hamotskyi R. and Honcharenko A. *Vplyv povitroobminu v prymishchtnniah na enerhoefektyvnist bahatokvartyrnykh zhytlovykh budynkiv* [The influence of indoor air exchange on the energy efficiency of multi-apartment residential buildings]. *Enerhoefektyvnist v budivnytstvi ta arkcitekturi* [Energy efficiency in construction and architecture]. 2019, vol. 13, pp. 58–68. (in Ukrainian).

4. *DBN V.1.2-11:2021. Osnovni vymohy do budivel i sporud. Enerhozberezhennia ta enerhoefektyvnist. Chynnyi vid 01.09.2022.* [DBN B.1.2-11:2021. Basic requirements for buildings and structures. Energy saving and energy efficiency. Valid from 01.09.2022]. URL : https://www.minregion.gov.ua/wp-content/uploads/2022/06/dbn-v.1.2-11_2021.pdf

5. *DSTU B A.2.2-12:2015. Enerhetychna efektyvnist budivel. Metod rozrakhunku enerhospozhyvannia pry opalenni, okholodzhenni, ventyliatsii, osvitlenni ta hariachomu vodopostachanni* [DSTU B A.2.2-12:2015. Energy efficiency of buildings. The method of calculating energy consumption for heating, cooling, ventilation, lighting and hot water supply]. Valid from 01.01.2016. URL : https://www.znu.edu.ua/pidrozdily/atest_energoef/zakonodavcha/dstuba_2_2-122015.pdf (in Ukrainian).

6. Kosenko L.V., Koval O.O., Yurchenko Ye.L., Tymoshenko O.A. *Enerhoefektyvnist systemy opalennia vysotnoho korpusu PDABA* [Energy efficiency of the heating system of the PDABA high-rise building]. *Ukrainskyi zhurnal budivnytsva ta architektury* [Ukrainian Journal of Civil Engineering and Architecture]. 2022, vol. 6, pp. 66–72. (in Ukrainian).

7. Serheichuk O. and Kozhedub S. *Rozrobka kryterialnoi otsinky enerhoefektyvnisti ta ekolohichnosti budivelnykh obiektiv* [Development of criterion evaluation of energy efficiency and environmental friendliness of construction objects]. *Enerhoefektyvnist v budivnytstvi ta arkcitekturi* [Energy Efficiency in Construction and Architecture]. 2018, vol. 11, pp. 61–68. (in Ukrainian).

8. Sopilniak A.M., Kolokhov V.V., Yarova T. P., Sereda S. Yu., Sireniuk K.O. and Dunda V.V. *BIM – enerhoanaliz budynku z podviinymy viknamy* [BIM − energy analysis of a house with double windows]. *Ukrainskyi zhurnal budivnytsva ta architektury* [Ukrainian Journal of Civil Engineering and Architecture]. 2021, vol. 3, pp. 107–115. (in Ukrainian).

9. Shovkaliuk M.M. and Zimenko S.V. *Analiz teplovtrat cherez ohorodzhennia z urakhuvanniam riznykh metodiv otsenky teplovtrat cherez ohorodzhennia z urakhuvanniam riznykh metodiv otsinky teplozakhysnykh vlastyvastei* [Analysis of heat loss through enclosures taking into account various methods of heat loss assessment through enclosures, taking into account various methods of assessing heat-shielding properties]. *Enerhetyka : ekonomika, tekhnolohii, ekolohiia* [Energy : Economy, Technologies, Ecology]. 2017, vol. 4, pp. 73–83. (in Ukrainian).

Надійшла до редакції: 12.05.2023.