

## ПОКАЗНИКИ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ МУЛЬТИКОМФОРТНИХ БУДИНКІВ

© Гоголь М. М., 2019

Проаналізовано проблему високого енергоспоживання та викидів вуглекислого газу в будівельній галузі. Потенціал економії енергії та зменшення емісії CO<sub>2</sub> залишається значною мірою невикористаним через застосування застарілих технологій під час нового будівництва, відсутність ефективної політики в сфері екології та незначні інвестиції у енергоефективні будівлі, що відповідають концепції сталого розвитку. Згідно з даними міжнародної енергетичної агенції, викиди вуглекислого газу щорічно зростають, що зумовлює потребу в розробленні житла нового типу – мультикомфортних будинків. Будинки такого типу зменшують тепловитрати на опалення, скорочують потребу в первинній енергії та зменшують викиди вуглекислого газу. Розраховано енергетичну та екологічну ефективність мультикомфортного будинку. Як екологічний показник обрано кількість вуглекислого газу, виділеного при спалюванні природного газу. Зменшення потреби теплоти на опалення при здійсненні комплексної термомодернізації будинку з механічною системою вентиляції забезпечує зменшення виділення парникових газів в атмосферу в 1,13–2,84 разу порівняно з базовим варіантом і становить 2,8–3,0 кг CO<sub>2</sub>/(м<sup>2</sup>·рік), що відповідає екологічним вимогам мультикомфортного будинку.

**Ключові слова:** енергоефективність, екологія, пасивний будинок, мультикомфортний будинок, вуглекислий газ.

М. М. Hohol

Lviv Polytechnic National University  
Department of construction production

## INDICATORS OF ENERGY EFFICIENCY OF MULTICOMFORT HOUSES

© Hohol M. M., 2019

The article analyzes the problem of carbon dioxide emissions in the construction industry and calculates the energy efficiency of an multicomfort house. The potential for energy savings and CO<sub>2</sub> emission reductions remains largely untapped due to the removal of technologies from new construction, the lack of effective environmental policies and insignificant investments in energy efficient buildings. According to the 20–20–20 strategy, by 2020, the EU aims to reduce its greenhouse gas emissions by at least 20 %, increase the share of renewable energy sources to at least 20 % of consumption, and achieve energy savings of 20 % or more. According to data from the International Energy Agency, carbon dioxide emissions are increasing annually, which necessitates the development of new types of buildings – multicomfort houses. The concept of Multicomfort House is a building with a positive energy balance that independently produces energy for its own needs in more than sufficient quantities. It combines the features of a passive house that does not need to be heated or needs little energy, as well as a “smart home” equipped with high-tech devices that has a minimal impact on the environment. Multicomfort house – the next step in the development of a passive house. This house can produce all the necessary electricity and provide hot water.

**This concept is based on three basic principles: comfort, energy and care of the environment. In the process of construction and decoration of multi-comfort houses, high-tech building materials that improve comfort and durability are used. As a research object, a two-storey residential building with a mansard floor and a heating area of 141.2 m<sup>2</sup> has been selected. This type of building reduces heating costs, reduces the need for primary energy and reduces carbon dioxide emissions. The calculation of the environmental efficiency of a multicomfort building has been carried out. As an environmental indicator, the amount of carbon dioxide emitted during the combustion of natural gas is selected. Reducing the need for heating in the implementation of a comprehensive thermo-modernization of the house with a mechanical ventilation system provides a reduction of greenhouse gas emissions in the atmosphere in the 1.13–2.84 times compared to the base version and is 2.8–3.0 kg CO<sub>2</sub>/(m<sup>2</sup>·year), which meets the ecological requirements of a multi-comfort home.**

**Key words: energy efficiency, ecology, passive house, multicomfort house, carbon dioxide.**

**Постановка проблеми.** Будівельний сектор є одним із найбільш енергоємних у структурі економіки, що пов'язано з низькою енергоефективністю житлового фонду. Щорічно до 40 % всіх енергоресурсів витрачають на експлуатацію будівель, зокрема опалення, гаряче водопостачання, освітлення, кондиціонування, у результаті чого в атмосферу викидається значна кількість вуглекислого газу, що призводить до розвитку “парникового ефекту”. У більшості країн світу підвищення енергоефективності будівель стало одним з найважливіших аспектів державного регулювання. Окрім заощадження енергії, ці вимоги спрямовані на захист довкілля від шкідливих викидів та раціональне використання природних ресурсів. Вирішення проблеми зниження енергоспоживання в житлово-комунальному секторі значною мірою реалізується впровадженням енергоефективних технологій, утепленням огорожувальних конструкцій, модернізацією систем теплопостачання та використанням відновлювальних джерел енергії.

**Аналіз публікацій.** Згідно з даними міжнародної організації International Energy Agency (IEA) [1], викиди CO<sub>2</sub> в будівельній галузі постійно зростають, що зумовлено збільшенням обсягів будівництва в країнах, що розвиваються, і зростанням попиту на енергетичні послуги, зокрема такі, як кондиціонування повітря. Потенціал економії енергії та зменшення емісії CO<sub>2</sub> залишається значною мірою невикористаним, що пов'язано із застосуванням застарілих технологій під час нового будівництва, відсутністю ефективної політики в сфері екології та незначними інвестиціями для підвищення енергоефективності будівель. Кінцеве енергоспоживання будівлями зросло від 2 845 млн т н. е. у 2010 році до близько 3 050 млн т н. е. у 2018 році. При цьому прями викиди парникових газів в перерахунку на CO<sub>2</sub> в будівельному секторі залишаються відносно незмінними і становлять близько 3 Гт на рік [2]. Із врахуванням непрямих викидів, які передбачають використання енергоресурсів на одержання електроенергії, глобальні щорічні викиди оксиду вуглецю, пов'язані з будівництвом, становили 28 % у 2018 році, що відповідає 9,539 Гт CO<sub>2</sub>. Згідно зі сценарієм сталого розвитку (Sustainable Development Scenario – SDS), до 2030 року необхідно скоротити цей показник до 6,17 Гт CO<sub>2</sub>.

Згідно з енергетичною стратегією “20-20-20” до 2020 року в країнах ЄС передбачено зниження викидів парникових газів щонайменше на 20 %, збільшення частки відновлюваних джерел енергії – до принаймні 20 %, а також досягнення економії енергії на 20 % і більше [3]. Положення Міжнародної кліматичної угоди (Паризький договір, XXI конференція сторін рамкової конвенції ООН зі зміни клімату, 2015 р.), спрямованої на скорочення і в перспективі усунення викидів парникових газів, стають пріоритетними під час нового будівництва, реконструкції та модернізації існуючого житлового фонду [4]. З прийняттям директиви 2002/91/WE EPBD (Energy Performance of Buildings Directive) та змін у Директиві 2010/31/EU, що стосуються енергетичної характеристики будинків, зведення з 2021 року на території Європейського Союзу будинків тільки з дуже низькою потребою в енергії є обов'язковою умовою. Це передбачає розроблення і реалізацію

проектів інноваційного типу сучасного житла – енергоефективного житлового будинку. Ці будівлі повинні поєднувати: комфортний внутрішній клімат, максимальне використання природної енергії, оптимізовані конструктивні елементи будівель загалом. Будинки в країнах ЄС за енергоефективністю класифікують на звичайний будинок (енергоспоживання 400 кВт·год/(м<sup>2</sup>·рік), “пасивний будинок” (споживання не більше 15 кВт·год/(м<sup>2</sup>·рік) і “активний будинок” (ActiveHouse) [5, 6]. Вимоги до активних будинків передбачають також зменшення емісії вуглекислого газу нижче 3 кг CO<sub>2</sub>/(м<sup>2</sup>·рік).

Для створення бази порівняння енергоспоживання будівель, встановлення вимог під час реконструкції та нового будівництва, а також довгострокового планування енергоспоживання в країнах ЄС застосовують сертифікацію енергоспоживання будівель. Оцінювання енергетичної ефективності будівель та енергетична сертифікація набувають розповсюдження в Україні з прийняттям Закону про енергетичну ефективність будівель 22.06.2017 р., який передбачає зміни в енергоспоживанні при проведенні заходів із підвищення енергоефективності з метою розвитку будівництва із нульовим споживанням енергоресурсів, що відповідає міжнародним стандартам. Сертифікація енергетичної ефективності містить енергетичний аудит, під час якого аналізують інформацію щодо фактичних або проектних характеристик огорожувальних конструкцій та інженерних систем, оцінюють відповідність розрахункового рівня енергетичної ефективності встановленим мінімальним вимогам до енергетичної ефективності будівель та надають рекомендації щодо підвищення рівня енергетичної ефективності будівель, що враховують місцеві кліматичні умови, є технічно та економічно обґрунтованими. Впровадження комплексного показника енергоефективності у вигляді первинної енергії або викидів CO<sub>2</sub>, який характеризує кількість поставленої та експортованої енергії кожним видом енергоносія, забезпечує оцінку раціонального використання енергетичних ресурсів [7].

Мультикомфортний будинок – наступний крок у розвитку “пасивного будинку”. Концепція “Multicomfort House” – це будівля з позитивним енергобалансом, що самостійно виробляє енергію для власних потреб. Вона поєднує показники пасивного будинку з низькою енергопотребою на опалення, а також “розумного будинку”, обладнаного високотехнологічними пристроями, що забезпечує мінімальний вплив на навколишнє середовище. Ця концепція основана на трьох принципах: комфорт, енергія та навколишнє середовище. Принцип енергоефективності полягає у використанні лише енергоефективних матеріалів та заощадженні електроенергії завдяки оснащенню інтелектуальним сучасним електротехнічним обладнанням та системами управління. Принцип екологічності таких будинків полягає у використанні відновлюваних джерел енергії, застосуванні екологічно чистих матеріалів та дотриманні концепції сталого розвитку (sustainable development), при цьому рівень вуглекислого газу в будинку не перевищує 600 ppm, що позитивно впливає на самопочуття мешканців. Також до інженерних рішень концепції “Multicomfort House” належить застосування теплового насоса, який поглинає низькопотенціальне тепло ґрунтів, системи примусової вентиляції з рекуперацією тепла, використання сонячних колекторів для нагрівання води та акумулювання енергії сонячними батареями та акумуляторами тощо.

Принцип комфорту передбачає забезпечення мікроклімату в приміщенні, а саме рівня природного освітлення, температури в приміщенні протягом року та якості повітря. В таких будинках природня освітленість приміщення на рівні 4–5 % КПО (коефіцієнт природнього освітлення), чого досягають завдяки продуманому розташуванню мансардних та фасадних вікон, що також позитивно впливає на вентиляцію та може створювати ефект тяги і дасть змогу відмовитись від кондиціонерів. Підвищення комфорту в мультикомфортному будинку забезпечується за цілісного підходу до архітектурних рішень будинку та вибору екологічно чистих і безпечних для здоров'я людини будівельних матеріалів. Для спорудження та оздоблення мультикомфортних будинків використовують високотехнологічні будівельні матеріали із застосуванням нанотехнологій, що визначають комфорт та довговічність [8]. Одним з таких наномодифікованих матеріалів для внутрішнього і зовнішнього оздоблення є тіоцемент – це високотехнологічний цемент з фотокаталітичними властивостями. Основним модифікатором у цьому в'язучому є нано-

частинки діоксиду титану, які надають йому здатності до фотокаталізу. Будівельні матеріали на основі тіоцементу забезпечують адсорбцію шкідливих компонентів навколишнього середовища (дими, органічні речовини, масла, оксиди вуглецю, азоту тощо) і за дії ультрафіолетового та видимого світла знешкоджують їх. Такі оздоблювальні матеріали не накопичують шкідливих речовин, а розкладають їх на нешкідливі компоненти. При цьому наночастинки  $TiO_2$  надають матеріалу гідрофобних властивостей та здатності до самоочищення, що визначає довговічність та естетичну привабливість зовнішнього покриття [9, 10].

**Мета статті.** Оцінити енергоспоживання індивідуального будинку та визначити ефективність заходів для підвищення енергетичних показників, що відповідають вимогам до мультикомфортних будинків.

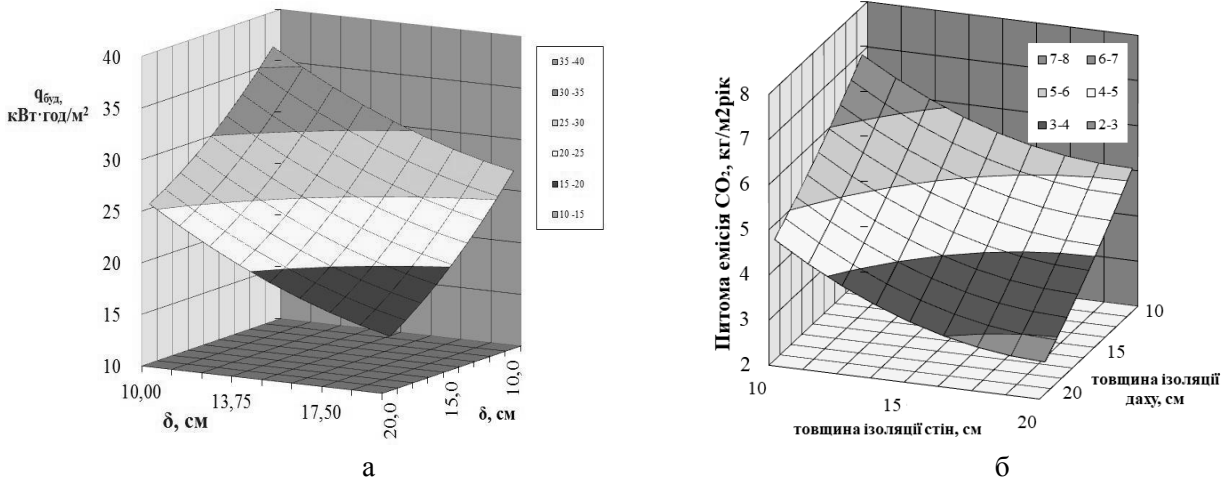
**Матеріали та методи досліджень.** Для визначення енергетичних показників будинку використано методологію складання енергетичного паспорту згідно з ДСТУ-Н Б А.2.2-5:2007 “Настанова з розроблення та складання енергетичного паспорту будинків при новому будівництві та реконструкції”. Розрахунки основних теплотехнічних показників огорожувальних конструкцій для підтвердження їх відповідності для енергоощадних будинків здійснювали за ДБН В.2.6-31:2016 “Теплова ізоляція будівель”. Проектування теплоізоляційної оболонки зовнішніх стін проводили згідно з ДСТУ Б В.2.6-33:2018. Для оптимізації теплотехнічних характеристик огорожувальних конструкцій індивідуального будинку з метою покращення енергетичних та екологічних показників проведено математичне планування [11]. Для дослідження енергетичних та екологічних показників як будинок-репрезентант обрано окремо розташований житловий будинок, збудований за індивідуальним проектом. Будинок двоповерховий із житловим мансардним поверхом, з опалювальною площею 141,4 м<sup>2</sup>. Розрахункові кліматичні параметри приймали для умов Львівської області.

**Результати досліджень.** Основним енергетичним показником будинку, що визначає його енергоефективність, є показник питомих тепловитрат на опалення будинку –  $q_{\text{буд}}$ . Залежно від  $q_{\text{буд}}$  і нормативних максимальних тепловитрат малоповерхових будинків  $E_{\text{max}}$  визначають клас енергетичної ефективності. Питомі тепловитрати будинку до термомодернізаційних заходів визначали на основі енергетичного балансу будинку в опалювальний період із врахуванням складових втрат (трансмійсна теплопередача, зумовлена різницею температур кондиціонованої зони та температурою зовнішнього повітря; та вентиляційна теплопередача, спричинена різницею температур кондиціонованої зони та температурою припливного повітря) і складових надходження теплоти (внутрішні надходження від людей та працюючих електроприладів, надходження сонячної радіації) [12].

Оптимальне співвідношення між товщиною теплоізоляції зовнішніх огорожувальних конструкцій (стін, даху) та типом системи вентиляції при комплексній термомодернізації з метою забезпечення вимог мультикомфортного будинку за енергетичними показниками (питомі тепловитрати на опалення –  $q_{\text{буд}}$ ), показниками комфортності та критеріями екологічності (кількістю невідновлюваної енергії –  $E_p$  та питомого показника викидів парникових газів –  $m_{CO_2}$ ) визначено за допомогою математичного планування. Моделювання показників енергетичної ефективності проводили для будинків із гравітаційною та механічною системами вентиляції з рекуперацією теплоти ( $\eta=80\%$ ) при змінних параметрах товщини теплоізоляційного шару зовнішніх огорожувальних конструкцій – стінових ( $x_1 = 10; 15; 20$  см) та покриття ( $x_2 = 10; 15; 20$  см) [13]. Приведений опір теплопередачі зовнішніх світлопрозорих огорожувальних конструкцій, виконаних із двокамерних склопакетів, становив 1,06 м<sup>2</sup>·К/Вт. Отримано математичні моделі показників енергоефективності (енергетичних та екологічних) мультикомфортного будинку із гравітаційною та механічною системами вентиляції у вигляді рівнянь регресії:

$$\begin{aligned}
 q_{\text{буд грав}} &= 74,92 - 4,76X_1 - 5,48X_2 + 1,34X_1^2 + 1,19X_2^2, \text{ [кВт}\cdot\text{год}/(\text{м}^2\cdot\text{рік})]; \\
 m_{CO_2 \text{ грав}} &= 7,88 - 0,55X_1 - 0,65X_2 - 0,08X_1 X_2 + 0,08X_1^2 + 0,08X_2^2, \text{ [кг}/(\text{м}^2\cdot\text{рік})]; \\
 q_{\text{буд мех}} &= 23,61 - 4,95X_1 - 5,83X_2 - 0,28X_1 X_2 + 1,16X_1^2 + 1,02X_2^2, \text{ [кВт}\cdot\text{год}/(\text{м}^2\cdot\text{рік})]; \\
 m_{CO_2 \text{ мех}} &= 4,2 - 0,93X_1 - 1,18X_2 - 0,95X_1 X_2 + 0,47X_1^2 + 0,12X_2^2, \text{ [кг}/(\text{м}^2\cdot\text{рік})].
 \end{aligned}$$

Для будинку із гравітаційною системою вентиляції мінімального рівня питомих тепловитрат на опалення досягають при значенні  $q_{\text{буд min}} = 67,04$  кВт·год/(м<sup>2</sup>·рік). На основі аналізу поверхонь відгуку показників енергоефективності (рисунок) показано, що за комплексного використання термореконструкційних заходів із застосуванням механічної системи вентиляції досягають зниження енергопотреб на опалення до показників енергоефективності для класу А ( $q_{\text{буд min}} = 14,8$  кВт·год/(м<sup>2</sup>·рік)), що відповідає вимогам пасивного будинку.



Математичні моделі показників енергоефективності мультикомфортного будинку: питомих тепловитрат на опалення (а) та емісії парникових газів (б)

Питома потреба невідновлюваної первинної енергії, що виражає енергію, яку необхідно добути з родовища і враховує втрати енергії на етапі її виробництва і транспортування, з врахуванням коефіцієнта для природного газу, становить 58,6 МДж/(м<sup>2</sup>·рік). Зменшення потреби теплоти на опалення у разі комплексної термомодернізації будинку із механічною системою вентиляції забезпечує зменшення виділення парникових газів в атмосферу в 1,13–2,84 рази порівняно з базовим варіантом і становить 2,8–3,0 кг CO<sub>2</sub>/(м<sup>2</sup>·рік), що відповідає екологічним вимогам мультикомфортного будинку.

**Висновки.** Суттєвого скорочення матеріальних і енергетичних ресурсів у житлово-комунальному секторі досягають завдяки реалізації концепції енергоефективного будівництва під час спорудження нових будинків та реконструкції існуючого житлового фонду. Аналіз математичних моделей енергетичних показників індивідуального будинку залежно від теплотехнічних характеристик зовнішніх огорожувальних конструкцій є основою оцінювання житлових споруд за критерієм енергоефективності на відповідність вимогам сталого розвитку. Низька потреба в енергії на опалення в мультикомфортному будинку забезпечується комплексною термомодернізацією, що передбачає безперервну теплоізоляційну оболонку по всьому зовнішньому контуру будівлі; використання ефективних віконних профілів і скління; встановлення механічної системи вентиляції із рекуперацією тепла понад 80%. При цьому досягають показників здорового мікроклімату, екологічної безпечності для навколишнього середовища і довговічності будівель.

1. Buildings. Tracking clean energy progress [Електронний ресурс]. – 2018. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.iea.org/tcep/buildings/>. 2. A guide to developing strategies for building energy renovation [Електронний ресурс] // Buildings Performance Institute Europe. – 2013. – Режим доступу до ресурсу: [http://www.bpie.eu/documents/BPIE/Developing\\_Building\\_Renovation\\_Strategies.pdf](http://www.bpie.eu/documents/BPIE/Developing_Building_Renovation_Strategies.pdf). 3. Judkoff R. Increasing Building Energy: efficiency Through Advances in Materials / R. Judkoff // Harnessing Materials for Energy: MRS bulletin. – 2008. – Vol. 33. – No. 4. – P. 449–454. 4. Stoikov V. Energy efficiency of housing as a tool for sustainable development / V. Stoikov, V. Gassiy // MATEC Web of Conferences. – 2018. – No. 251. 5. Feist Wolfgang W. Passive Houses in Central Europe / W. Feist

Wolfgang // Thesis, University of Kassel. – 1993. – P. 10–21. 6. Tamosaitis R. Is Passive or Active House Needed In Face of Global Warming? / R. Tamosaitis. // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2017. – No. 245. 7. Мультикомфортний будинок Saint-Gobain [Електронний ресурс]. – 2019. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.isover.ua/energoeffektivnost/multikomfortnyy-dom-saint-gobain>. 8. Zeiler W. Active house concept versus passive House. / Zeiler W., Boxem G. // International conference on Smart and Sustainable Built Environments (SASBE2009) – 2009. – P. 1–8. 9. Decorative plasters for finishing works / T. P. Kropyvnytska, M. A. Sanytsky, R. M. Kotiv, M. M. Gogol // Вісник Нац. ун-ту “Львівська політехніка”. Серія: теорія і практика будівництва. – 2014. – № 781. – С.101–104. 10. Модифіковані оздоблювальні розчини з добавкою каоліну / Т. П. Кропивницька, М. М. Гоголь, О. В. Прогонюк, О. Т. Мазурак // Вісник Нац. ун-ту “Львівська політехніка”. Серія: теорія і практика будівництва. – 2015. – № 823. – С. 186–191. 11. Керш В. Я. Енергозберігаючі технології у міському будівництві і господарстві: навч. посіб. / В. Я. Керш. – Одеса: Астропринт, 2007. – 124 с. 12. Саницький М. А. Енергозберігаючі технології в будівництві: навч. посіб. / М. А. Саницький, О. Р. Позняк, У. Д. Маруцак. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2012. – 236 с. 13. Sanytsky M. Energetic and ecological analysis of energy-saving and passive houses / M. Sanytsky, R. Sekret, M. Wojcikiewicz // SSP-Journal of Civil Engineering. – Vol. 7. – Issue 1. – 2012. – P. 71–78.

### References

1. Buildings. Tracking clean energy progress (2019), available at: [www.iea.org/tcep/buildings/](http://www.iea.org/tcep/buildings/) (accessed 10 April 2019). 2. A guide to developing strategies for building energy renovation (2013), available at: [www.bpie.eu/documents/Developing\\_Building\\_Renovation\\_Strategies.pdf](http://www.bpie.eu/documents/Developing_Building_Renovation_Strategies.pdf) (accessed 10 April 2019). 3. Judkoff R. (2008), “Increasing Building Energy: efficiency Through Advances in Materials”, Harnessing Materials for Energy: MRS bulletin., Vol. 33. 4. Stoikov V., Gassiy V. (2018), “Energy efficiency of housing as a tool for sustainable development”, MATEC Web of Conferences 251, 03061. 5. Feist Wolfgang W. (1993), “Passive Houses in Central Europe”, Thesis, University of Kassel, 1993. 6. Tamosaitis R. (2017), “Is Passive or Active House Needed In Face of Global Warming?”, IOP Conference Series.: Materials Science and Engineering, Vol. 245. 7. Multykomfortnyi dim Saint-Gobain [Multicomfort house Saint-Gobain] (2018), available at: [www.isover.ua/energoeffektivnost/multikomfortnyy-dom-saint-gobain](http://www.isover.ua/energoeffektivnost/multikomfortnyy-dom-saint-gobain) [in Ukrainian] (accessed 10 April 2019). 8. Zeiler W., Boxem G. (2009), “Active house concept versus passive House”, Proceedings of the 3rd CIB International conference on Smart and Sustainable Built Environments, pp. 1–8. 9. Kropyvnytska T. P., Sanytsky M. A., Kotiv R. M., Gogol M. M. (2014), “Decorative plasters for finishing works”, Visnyk Natsionalnoho Universytetu “Lvivska politekhniky”, Serii: teoriia i praktyka budivnytstva, No. 781, pp. 101–104. 10. Kropyvnytska T. P., Hohol M. M., Prohoniuk O. V., Mazurak O. T. (2015), “Modyfikovani ozdobliuvalni rozchyny z dobavkoiu kaolinu” [Modified finishing plasters with kaolin additive], Visnyk Natsionalnoho Universytetu “Lvivska politekhniky”, Serii: teoriia i praktyka budivnytstva., No. 823, pp. 186–191. [in Ukrainian]. 11. Kersh V. (2007), Enerhozberihaiuchi tekhnolohii u miskomu budivnytstvi i hospodarstvi: navch. posib. [Energy-saving technologies in urban construction and economy], Odesa: Astroprynt, 124 p. [in Ukrainian]. 12. Sanytskyi M. A., Pozniak O. R., Marushchak U. D. (2012), Enerhozberihaiuchi tekhnolohii v budivnytstvi: navch. posib. [Energy-saving technologies in civil engineering], Lviv: Vydavnytstvo Lvivskoi politekhniky, 236 p. [in Ukrainian]. 13. Sanytsky M., Sekret W., Wojcikewicz M. (2012), “Energetic and ecological analysis of energy-saving and passive houses”, SSP-Journal of Civil Engineering, Vol. 7, pp. 71–78.