

Experimental studies of the thermal regime of the room when using heating ceramic panels

B.I. Basok^{1,2} (0000-0002-8935-4248), S.M. Goncharuk¹ (0000-0002-5609-7337),
 V.P. Priemchenko¹ (0000-0003-4785-4815),
 M.P. Novitska¹ (0000-0003-2867-101X), O.M. Nedbailo^{1,2} (0000-0003-1416-9651),
 M.V. Tkachenko² (0000-0001-8345-1613)

¹ - *Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine, str. Bulakhovskogo, 2, Bldg. 2, Kyiv, 03164, Ukraine*
 Tel.: +380444249880

² - *National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", av. Peremogy, Bldg. 37, Kyiv, 03056, Ukraine*
 Tel.: +380633252220

E-mail: mmarina@ukr.net

Article info: received 02.09.2021, revised 03.09.2021, accepted 21.09.2021

Basok, B.I., Goncharuk, S.M., Priemchenko, V.P., Novitska, M.P., Nedbailo, O.M., Tkachenko, M.V. (2021) *Experimental studies of the thermal regime of the room when using heating ceramic panels*, 3(52), DOI: 10.26909/csl.3.2021.2

The article presents the results of experimental studies of the parameters of ceramic panels. Experimental measurements of air temperature in a room for which an electric ceramic panel is used as heating devices are given. The automatic system of monitoring of temperature in the room is described.

During the experiments it was determined that the surface temperature of the ceramic plate of the heater is higher in the center and decreases when approaching the edges. It is proved that the use of constant surface temperature is acceptable in CFD modeling of a room with ceramic electric heaters. The profile of temperature distribution on height of the room at its heating by means of an electric ceramic heater is resulted in work. The air temperature is relatively evenly distributed over the height of the room. In this study, when entering the quasi-stationary mode, the air temperature in the height of the room varied in the range from 24 to 27 °C, which is slightly higher than the norm for the temperature in domestic premises. In order to save energy in this case it is necessary to reduce the service life of ceramic electric heaters. In the future it is necessary to develop a thermophysical numerical model and verify it with the help of the obtained experimental data. In addition, with the help of the model you can conduct research and determine the optimal location of ceramic electric heaters in the space of the room.

Key words: ceramic heater, experimental researches, temperature monitoring.

Експериментальні дослідження теплового режиму приміщення при використанні опалювальних керамічних панелей

Б.І. Басок^{1,2}, С.М. Гончарук¹, В.П. Приємченко¹, М.П. Новіцька¹, О.М. Недбайло^{1,2},
 М.В. Ткаченко¹

¹ - *Інститут технічної теплофізики НАН України, м. Київ, Україна*

² - *Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського", Київ, Україна*

В статті представлені результати експериментальних досліджень параметрів керамічних панелей. Наведені експериментальні вимірювання температури повітря в приміщенні, для якого в якості опалювальних приладів використовується електрична керамічна панель. Описано автоматичну систему моніторингу температури в приміщенні.

В ході експериментів визначено, що температура поверхні керамічної плити опалювального приладу вища в центрі та зменшується при наближенні до країв. Доведено, що при CFD моделюванні приміщення із керамічними електричними нагрівачами використання постійної по поверхні температури є прийнятним. В роботі при-ведений профіль розподілу температури по висоті приміщення при його опаленні за допомогою електричного керамічного обігрівача. При цьому температура повітря відносно рівномірно розподілена по висоті приміщення. В данному дослідженні, при виході на квазістаціонарний режим, температура повітря по висоті приміщення ва-ріювалась в діапазоні від 24 до 27 °C, що дещо перевищує норми щодо температури в побутових приміщеннях. З метою енергозбереження в такому випадку необхідно зменшувати час експлуатації керамічних електричних

нагрівачів. В подальшому необхідно розробити теплофізичну числову модель, та провести її верифікацію за допомогою отриманих експериментальних даних. Крім того, за допомогою моделі можна провести дослідження та визначити оптимальне місце розташування керамічних електричних нагрівачів в просторі кімнати.

Вступ

Системи опалення є одним із найбільших споживачів теплоти в житлових і промислових будівлях. В теперішній час існує багато способів опалення приміщень. Використання радіаційних керамічних панелей є одним із можливих заходів досягнення теплового комфорту людей, що перебувають у відповідних приміщеннях.

В сучасній науковій літературі можна знайти роботи, що присвячені дослідженням параметрів різних систем опалення. Представлені як експериментальні роботи, так і роботи в яких використане CFD моделювання, а також такі, що поєднують обидва методи досліджень.

Так, наприклад, робота [1] присвячена дослідженню ефективності панельних обігрівачів. В роботах [2, 3] окремо наведені результати експериментальних досліджень щодо визначення температури по висоті модельного приміщення при його підлоговому радіаційному опаленні. В вищезазначених роботах пропонується модель, що описує розподіл температури в модельному приміщенні. Авторами для розрахунків аеродинамічних складових використана $k-\epsilon$ модель турбулентності. Параметри радіаційного теплообміну розраховувались за допомогою DO (дискретних ординат) моделі випромінювання. Дослідники довели, що розроблені ними CFD моделі описують процеси із достатньою точністю та можуть бути використані для прогнозування розподілу температури повітря в приміщенні при зміні вихідних умов змін температури опалювальної поверхні. За допомогою таких моделей є можливим здійснення аналізу впливу місця розташування панелі та її геометричних розмірів на розподіл температури в приміщенні.

Мирен и Холмберг [4] досліджували різні системи опалення, використовуючи CFD моделювання (S2S модель випромінювання та модель турбулентності $low\ Re\ k-\epsilon$). В результаті автори дійшли до висновку, що низькотемпературні системи опалення надають більш комфортну різницю температур по висоті приміщення та забезпечують невелику швидкість руху повітря при цьому. На відміну від них, радіаційні прилади опалення із більш високими значеннями температури своєї поверхні протидіють холодним токам повітря в просторі в разі їх розташування під вікнами.

В [5] наведено порівняння показників трьох видів систем опалення, а саме стельової радіаційної, радіаторної та повітряної. Результати роботи пока-

зали, що різниця температур між поверхнею стінової конструкції та повітрям кімнати знаходиться у допустимому діапазоні значень для забезпечення теплового комфорту при експлуатації всіх видів розглянутих систем.

Метою роботи є аналіз експериментальних даних, що доцільно використовувати для верифікації теплофізичної моделі теплового режиму окремого приміщення при його опаленні керамічними електричними обігрівачами.

Матеріали та методи дослідження

Експериментальні дослідження проводились на матеріально-технічній базі Інституту технічної теплофізики НАН України в науковій теплофізичній лабораторії, що розташована за адресою м. Київ, вул. Булаховського, 2. Найважливіша лабораторія представляє собою повномасштабний будинок, що використовується для експериментальних вимірювань теплових величин при його взаємодії з довкіллям та термостатуванні приміщень, а також для подальшої оптимізації складових компонентів конструкції будинку та його інженерних систем теплозабезпечення [6 - 12]. Обігрівачі електричні керамічні для проведення наукових досліджень надані ООО «Сигвольт». Конструктивно обігрівачі керамічні (рис. 1) складаються із двох шарів. Першим є керамічна плитка. Другим шаром є електротермічний плоский елемент, що нанесений на поверхню тильної сторони керамічної плитки. Геометричні розміри нагрівачів складають 1,2x0,6 м. Товщина керамічної плитки кожного 0,008 м.

Два керамічні обігрівачі розташовувались в прямокутному лабораторному приміщенні висотою 2,75 м із розмірами 9,28x3,3 м під вікнами на від-



Рис. 1. Обігрівач електричний керамічний «Теплокамінь» із групою датчиків температури на поверхні та термоанемометром в штативі

стані 0,1 м від поверхні зовнішньої стіни (рис. 2). Приміщення має два герметичних віконних отвори 1,0×1,5 м західної орієнтації та двері навпроти вікон, які щільно зачинялись на час проведення дослідів.

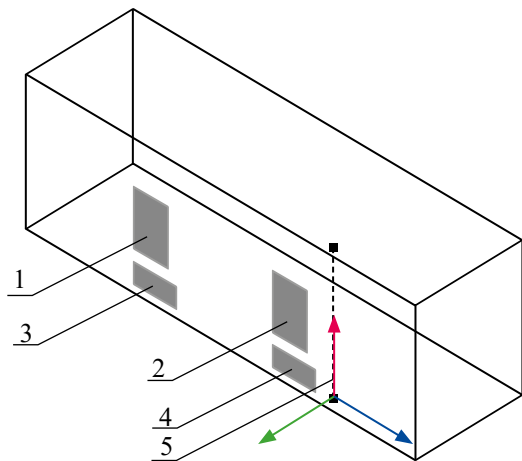


Рис. 2. Схема розміщення керамічних електричних обігрівачів в просторі приміщення:
1, 2 – вікна; 3, 4 – керамічні електричні обігрівачі;
5 – струна із датчиками температури для вимірювання її розподілу по висоті приміщення

Вимірювання значень температури на поверхні кожного керамічного обігрівача проводилось за допомогою мікроконтролерних вторинних приладів (рис. 3), що розроблені та виготовлені у відділі теплофізичних основ енергоощадних технологій (ТОЕТ) Інституту технічної теплофізики НАН України.



Рис. 3. Вторинні прилади для безперервного моніторингу значень температури на експериментальному стенді

Наявне обладнання дозволяє одночасно проводити безперервний моніторинг та збереження даних в цифровому вигляді на компактному носії (microSD) з 12 датчиків температури DS18B20. Технічні характеристики датчиків наведені в таблиці 1.

Таблиця 1.
Характеристики датчиків температури DS18B20

Параметр	Значення
Напруга живлення	3,0...5,5 В
Діапазон вимірювання температури	-55 °С + 125 °С
Точність показань температури	0,5 °С
Інтерфейс	1-Wire
Електричний струм	1 мА

Схема розміщення датчиків на кожному керамічному обігрівачі наведена на рис. 4. Датчики T1 - T3 закріплені на поверхні стіни поза керамічним обігрівачем. Датчики T10 - T12 розміщені на 0,02 м нижче нижньої кромки керамічного обігрівача у повітряному просторі між обігрівачем та підлогою. Для вимірювання швидкості руху та температури повітря використовувався термоанемометр TESTO 405i (діапазон вимірювання швидкості до 2 м/с та температури -20...50 °С) в штативі із дискретним передаванням даних у цифровому вигляді на комп'ютер по бездротовому інтерфейсу Bluetooth. При цьому похибка вимірювання швидкості руху повітря складала $\pm (0,1 \text{ м/с} + 5 \% \text{ від виміряного значення в діапазоні від } 0...2 \text{ м/с})$ і температури $\pm 0,5 \text{ }^\circ\text{C}$.

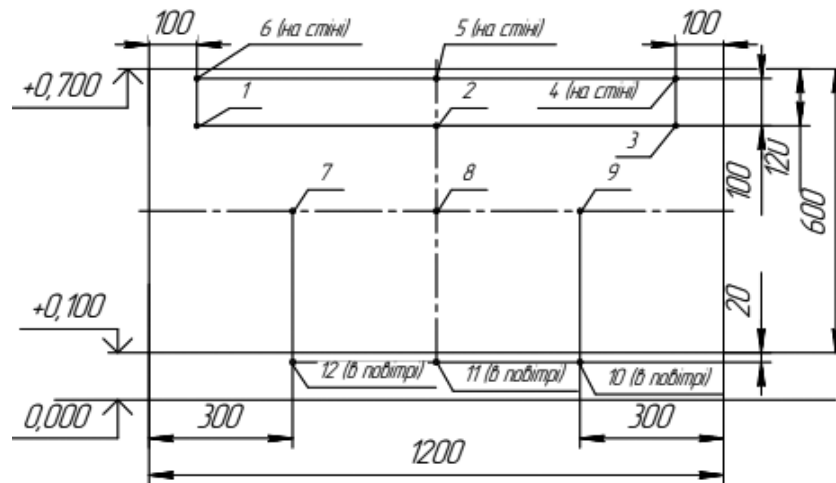


Рис. 4. Схема розміщення датчиків температури на керамічному електричному обігрівачі та довкола нього

Результати та їх обговорення

Протягом часу проведення експериментальних досліджень приміщення обігрівалось одночасно двома електричними керамічними обігрівачами. Вимірювання значень температури виконувались безперервно з 03.02.2021 р. по 18.03.2021 р. Для отримання квазістаціонарного теплового режиму приміщення обігрівалось керамічними електричними нагрівачами з 15.02.2021 р. по 18.03.2021 р. Досяг-

нення такого режиму відбулось 26.02.2021 р. та підтримувалось в такому стані до 09.03.2021 р. (рис. 5). Окремо наведена зміна відносної вологості повітря в приміщенні. Її стрибкоподібний характер пов'язаний із короткотривалою присутністю дослідницького персоналу в цей час в приміщенні лабораторії та відкритими джерелами випаровування з одяжі, а також аспіраційною вологістю дихання людей.

Зовнішня стіна приміщення виконана із матеріалів, характеристики яких наведені в таблиці 2.

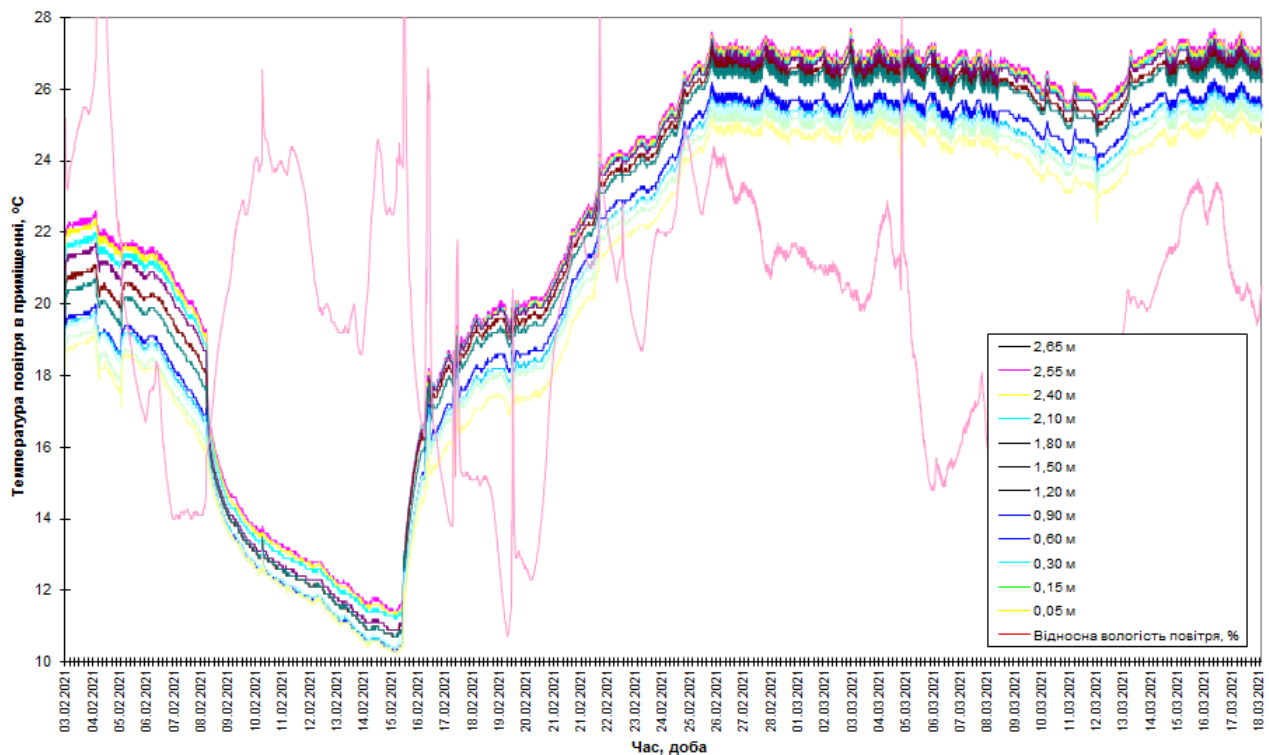


Рис. 5. Залежність температури та відносної вологості від часу при різних значеннях висоти в приміщенні

Протягом часу вимірювань температура зовнішнього повітря змінювалась від $-14\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Керамічні електричні нагрівачі працювали за умови напруги 205 В та сили електричного струму 10,38 А.

Температура на поверхні керамічного електричного обігрівача змінювалась в діапазоні від $51,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $56,2\text{ }^{\circ}\text{C}$. Визначено, що вона дещо вища в центральній ділянці та зменшується при наближенні до країв панелі. Так як детальні CFD моделі об'єктів нестационарного теплообміну зазвичай є складними в розробленні та потребують багато комп'ютерного часу для отримання результатів розрахунків за ними, тому при проведенні досліджень зазвичай вносять в них деякі спрощення та допущення. У випадку керамічного обігрівача, що розглядається в роботі, при CFD моделюванні можна допустити, що температура поверхні керамічного обігрівача рівномірно розподілена по поверхні та дорівнює $55\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Профіль розподілу температури по висоті приміщення 03.02.2021 р. наведений на рис. 6. Тут та далі, для спрощення аналізу, навмисно порушений причинно-наслідковий зв'язок у вигляді профілів поміж фізичними величинами, що зазначені на осях графіків. Як видно із рисунку температура повітря дещо нижча біля підлоги, але в середньому відповідає нормативним значенням $20 \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$.

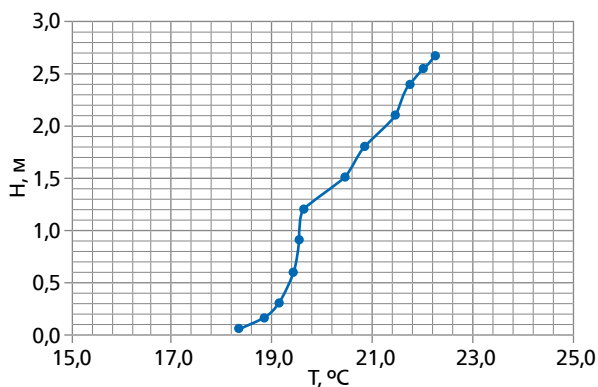


Рис. 6. Розподіл температури по висоті приміщення

Таблиця 2.

Теплофізичні властивості матеріалів зовнішньої стіни приміщення [13]

п/п	Назва матеріалу	Товщина, м	Питома теплоємність C_p , кДж/(кг·К)	Щільність ρ , кг/м ³	Ефективна теплопровідність λ , Вт/(м·К)
1	Цегляна кладка з порожнистої цегли	0,12	0,88	1200	0,470
2	Пінополітирольний наповнювач	0,07	1,34	15	0,045
3	Пінобетон	0,20	0,84	1000	0,380
4	Мінеральна вата	0,25	0,84	150	0,048

Як видно із рис. 7 електричні керамічні обігрівачі прогривають повітря рівномірно по висоті приміщення. При цьому різниця між температурою знизу та зверху приміщення при прогріванні повітря складає $2 - 4\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Результати вимірювання температури повітря на горизонтальному зрізі щілиного зазору товщиною δW поміж електричним керамічним обігрівачем та зовнішньою стіною наведені на рис. 8.

Дані експериментальних вимірювань, що наведені на рис. 5 - 8, можна використовувати для верифікації теплофізичної моделі, яку планується розробити. Крім того, за допомогою такої моделі можливе проведення числових досліджень та, на їх основі, визначення оптимального місця для розташування керамічних електричних нагрівачів в просторі кімнати по відношенню до зовнішньої стіни.

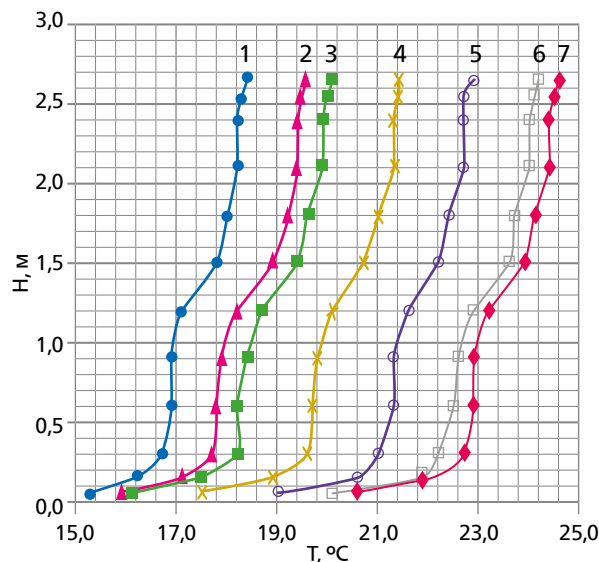


Рис. 7. Зміна профілю температури при нагріванні приміщення електричними керамічними нагрівачами:

- 1 – 17.02.2021 р.; 2 – 19.02.2021 р.;
3 – 20.02.2021 р.; 4 – 21.02.2021 р.;
5 – 22.02.2021 р.; 6 – 23.02.2021 р.;
7 – 24.02.2021 р.

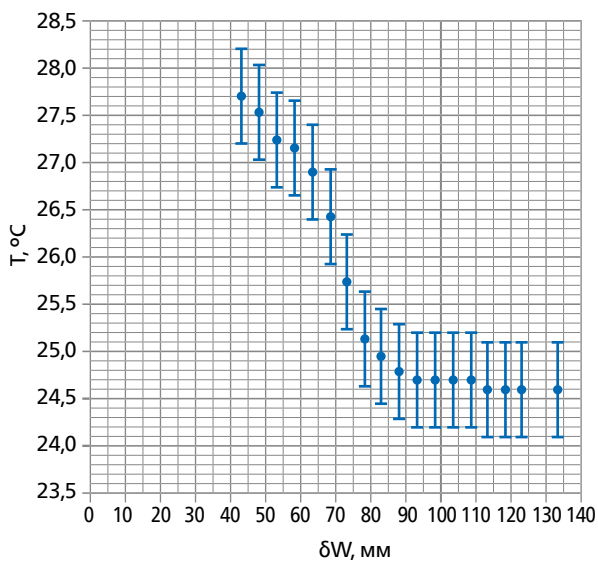


Рис. 8. Розподіл температури в щілинному зазорі поміж зовнішньою стіною будівлі та керамічним обігрівачем

Висновки

1. Температура поверхні керамічної плитки обігрівача вища в центрі та зменшується при наближенні до країв. При числовому моделюванні керамічного електричного обігрівача можна приймати, що температура поверхні керамічного обігрівача рівномірна по поверхні

2. Проведені експериментальні дослідження показали, що в штучно створеному квазістаціонарному тепловому режимі приміщення температура повітря по висоті змінювалась в невеликому інтервалі. Це надає можливість стверджувати, що при використанні керамічних електричних обігрівачів, як опалювальних приладів, температура повітря відносно рівномірно розподіляється по висоті приміщення.

References

1. Shaimaa, Seyam, Ahmed, Huzayyin, Hesham, El-Batsh, Sameh, Nada. Experimental and numerical investigation of the radiant panel heating system using scale room model. *Energy and Buildings*. – Volume 82. – 2014. – P.130 - 141. DOI: 10.1016/j.enbuild.2014.07.003.
2. Басок, Б.И., Недбайло, А.Н., Новицкая, М.П., Ткаченко, М.В., Гончарук, С.М. Численное моделирование теплообмена между теплоносителем и воздухом в помещении при напольном отоплении. *Инженерно-физический журнал*. – 2013. – Т. 86. – №2. – С. 394 - 399. DOI: 10.1007/s10891-013-0850-y.
3. Басок, Б.И., Недбайло, О.М., Новицкая, М.П., Тка-

ченко, М.В. Моделирование теплового stanu приміщення з системою водяного підлогового опалення. *Промышленная теплотехника. (Теплофизика та теплоэнергетика)*. – 2012. – Т. 34. – №7. – С. 65 - 73.

4. Jonn Are Myhren, Sture Holmberg. Flow patterns and thermal comfort in a room with panel, floor and wall heating. *Energy and Buildings*. – Volume 40, Issue 4. – 2008. – P. 524 - 536. DOI:10.1016/j.enbuild.2007.04.011.

5. Qingyan Chen. Comfort and energy consumption analysis in buildings with radiant panels. *Energy and Buildings*. – Volume 14, Issue 4. – 1990. – P. 287 - 297. DOI: 10.1016/0378-7788(90)90091-V.

6. Basok, B., Novitska, M., Goncharuk, S., Moroz, M., Timoshenko, A. Experimental passive house of the institute of engineering thermophysics. *Proceeding of IEEE 6th International Conference on Energy Smart Systems*. – April 17 - 19.2019. – Kyiv, Ukraine. – P. 108 - 111. DOI: 10.1109/ess.2019.8764182.

7. Божко, И.К., Калинина, М.Ф., Гончарук, С.М., Недбайло, А.Н. Теплофизическая лаборатория для исследования особенностей энергоэффективности зданий. *Керамика: наука і життя*. – №3(24). – 2014. – С. 74 - 83.

8. Басок, Б.И., Недбайло, А.Н., Божко, И.К., Ткаченко, М.В. Технические аспекты системы энергообеспечения пассивного дома. *Энергоэффективность в строительстве та архітектурі*. – 2016. – Выпуск 8. – С. 3 - 9.

9. Басок, Б.И., Недбайло, О.М., Ткаченко, М.В., Божко, И.К., Новицкая, М.П. Схемні рішення оснащення энергоэффективного будинку системою теплозабезпечення. *Промышленная теплотехника (Теплофизика та теплоэнергетика)*. – 2013. – Т. 35. – №1. – С. 50 - 56.

10. Басок, Б.И., Божко, И.К., Недбайло, А.Н., Лысенко, О.Н. Поливалентная система теплообеспечения пассивного дома на основе возобновляемых источников энергии. *Инженерно-строительный журнал*. – №6. – 2015. – С. 32 - 43. DOI: 10.5862/MCE.58.4.

11. Басок, Б.И., Божко, И.К., Беляева, Т.Г., Гончарук, С.М., Недбайло, О.М., Новицкая, М.П., Ткаченко, М.В., Хибина, М.А. Поливалентна система теплозабезпечення експериментального будинку пасивного типу (площею 300 м²) на основі використання відновлюваних та альтернативних джерел енергії. *Наука та інновації*. – 2014. – Т.10. – №6. – С. 34 - 52. DOI: 10.15407/scin10.06.034

12. Недбайло, О.М., Божко, И.К. Аналіз енергетичних параметрів роботи системи теплопостачання энергоэффективного будинку. *Энергоэффективность в строительстве та архітектурі*. – 2017. – Выпуск 9. – С. 179 - 182.

13. ДБН В.2.6-31:2006. Теплова ізоляція будівель.