

Л. П. Горбаченко*, В. М. Желих**, О. О. Савченко**

*Львівський техніко-економічний коледж,

**Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра теплогазопостачання та вентиляції

ОЦІНКА ЕНЕРГЕТИЧНОГО ПОТЕНЦІАЛУ СЕЗОНОГО ТЕПЛОВОГО АКАМУЛЯТОРА ДЛЯ ПАСИВНИХ БУДИНКІВ

© Горбаченко Л. П., Желих В. М., Савченко О. О., 2016

З кожним роком в Україні збільшується попит на пасивні будинки, які характеризуються питомою витратою теплової енергії на опалення не більше 15 кВт·год/(м²·рік). До найперспективніших альтернативних джерел енергії для забезпечення потреб систем теплозабезпечення пасивних будинків належить сонячна енергія. Оскільки графік потреби у тепловій енергії системами теплозабезпечення не збігається з графіком надходження сонячного випромінювання, то для забезпечення стабільності та безперебійності функціонування систем теплозабезпечення у пасивних будинках слід використовувати сезонні теплоакумулятори. Для сезонних теплових акумуляторів використовують рідкі та тверді речовини, які накопичують енергію завдяки теплоємності.

Розглянуто можливості використання сезонного теплового акумулятора з твердим наповнювачем у системі теплозабезпечення однородинного пасивного будинку у холодний період року. Як систему теплозабезпечення будинку прийнято сумісну систему використання термосифонного сонячного колектора та сезонного теплового акумулятора з твердим наповнювачем. Встановлено, що теплонадходжень від термосифонних сонячних колекторів, які встановлені на південно-орієнтованій покрівлі, не достатньо для забезпечення потреби у тепловій енергії будинку. Визначено розміри сезонного теплового акумулятора для системи теплозабезпечення пасивного однородинного будинку.

Ключові слова: пасивний будинок, термосифонний сонячний колектор, сезонний тепловий акумулятор.

Every year in Ukraine the demand for passive houses is increased. The passive houses are characterized by specific consumption of thermal energy for heating system up to 15 kW·h/(m²·year). The solar power is the most promising alternative energy source to meet the needs of heating systems of passive houses. The schedule needs thermal energy for heating system does not match the schedule of receipt solar radiation. This is why to ensure the stability and continuity of operation of heating systems in passive houses we should use seasonal thermal accumulators. The liquid and solid substances are using in seasonal thermal accumulators.

The article examines the possibility of using seasonal heat accumulator with solid filler in heating system passive cottage in the cold season. As cottage heating system was accepted compatible heating supply system with thermosyphon solar collector and seasonal heat accumulator with a solid filler. Found that thermal receipt from thermosyphon solar collectors which are on the south oriented roof, is not enough to ensure the needs thermal energy of cottage. The sizes of the seasonal heat accumulator for heating system of passive cottage were determined.

Key words: passive house, thermosyphon solar collector, seasonal thermal accumulator.

Постановка проблеми. Постійне зростання цін на традиційні паливно-енергетичні ресурси в Україні сприяє розвитку проектування енергоощадних будівель. З кожним роком збільшується попит на “пасивні” будинки, будинки “0-енергія” та “активні” будинки, які відрізняються між

собою загальним споживанням первинної енергії. Основними вимогами до пасивних будинків вважають питому витрату теплової енергії на опалення (не більше 15 кВт·год/(м²·рік)) та загальне споживання первинної енергії для всіх побутових потреб (не більше 120 кВт год/(м²·рік)) [1]. Відповідають цим вимогам можна за допомогою вибору будівельних матеріалів та конструкцій зовнішніх огорожень, а також архітектурно-планувальних рішень та альтернативних джерел енергії в системах теплозабезпечення.

До найперспективніших альтернативних джерел енергії для забезпечення потреб систем теплозабезпечення при пасивному будівництві належить сонячна енергія. Середньорічна кількість сумарної енергії сонячного випромінювання на поверхню території України знаходиться в межах 1070–1400 кВт·год/м², що є достатнім для його перетворення на теплову енергію в системах теплозабезпечення пасивних будинків [2]. Графік потреби у тепловій енергії системами теплозабезпечення не збігається з графіком надходження сонячного випромінювання, тому для стабільного та безперебійного функціонування систем теплозабезпечення у пасивних будинках слід використовувати накопичувачі теплової енергії. Накопичувачі теплової енергії залежно від споживання теплової енергії можуть бути сезонні та добові, а залежно від акумулюючої речовини розрізняють теплові накопичувачі, які використовують енергію, отриману внаслідок теплоємності, енергії фазових переходів, а також теплові накопичувачі тепла від хімічних реакцій. Для акумуляції енергії сонячного випромінювання доцільно використовувати сезонні накопичувачі тепла (теплоакумулятори), які в теплий період року накопичують теплову енергію, а в холодний період року її віддають. Для сезонних теплових акумуляторів використовують матеріали, які накопичують енергію за рахунок теплоємності, найчастіше рідкі та тверді речовини. Водяні теплоакумулятори використовуються у системах сонячного теплопостачання для гарячого водопостачання та опалення. Вони потребують спеціального обслуговування, а при їх експлуатації існує небезпека витікання великої маси води [3]. Для акумуляції теплової енергії у повітряних системах непрямого сонячного опалення доцільно використовувати сезонні теплові акумулятори з твердотілим наповнювачем.

Мета роботи – розглянути можливості використання сезонного теплового акумулятора з твердим наповнювачем у системі теплозабезпечення однородинного пасивного будинку у холодний період року для Львова.

Аналіз останніх досліджень. Існують два види сонячних систем опалення пасивних будинків: пряме та непряме. [4] Пряме сонячне опалення здійснюється завдяки надходженню сонячного випромінювання через вікна, які знаходяться на південному фасаді будинку. Для непрямого сонячного обігрівання приміщень використовують стіни Тромба та повітряні сонячні нагрівники [5]. Повітряні сонячні нагрівники, які використовують для непрямого сонячного опалення, зазвичай працюють за принципом термосифону, використовуючи явище вільної конвекції. Термосифонні сонячні колектори мають просту конструкцію, яка дозволяє їх поєднувати з конструкцією покрівлі, починають працювати вже за температур зовнішнього повітря 25–30 °С. Термосифонний колектор доцільно встановлювати безпосередньо на південно-орієнтовану частину покрівлі опалювального (найчастіше мансардного) приміщення, коли вхід та вихід внутрішнього повітря приміщення здійснюється через отвори у дні колектора (рис. 1).

Для непрямого сонячного обігрівання приміщень доцільно використати термосифонний колектор, який запропоновано у [6] та працює так. Холодне внутрішнє повітря приміщення надходить через вхідний отвір у

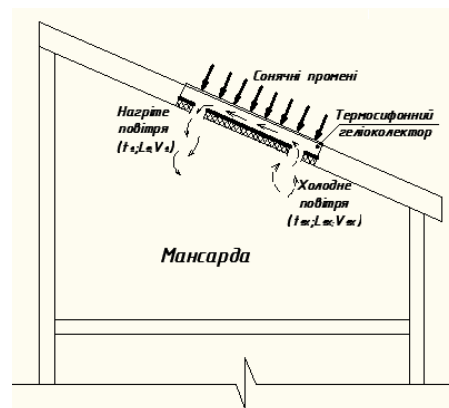


Рис. 1. Встановлення термосифонного колектора [6] на даху будинку

коллектор, омиває нагріту теплопоглинальну пластину та нагрівається. Внаслідок різниці температур нагріте внутрішнє повітря піднімається до вихідного отвору колектора та надходить у приміщення. Турбулізатори, які передбачено в конструкції термосифонного колектора, інтенсифікують процес тепловіддачі від теплопоглинальної пластини до повітря в середині колектора. Витрату повітря, а відповідно, і швидкість повітря, що проходить через колектор, регулюють за допомогою шиберувальних пристроїв.

Термосифонний сонячний колектор ефективно використовують у перехідний період року (весна, осінь), коли вдень температура зовнішнього повітря сягає 25 °С, а нічна температура повітря становить 8–12 °С. В холодний період року, коли середня енергетична освітленість горизонтальної поверхні за добу знаходиться в межах 40–60 Вт/м² [7], термосифонний сонячний колектор не дає змоги забезпечити необхідні параметри мікроклімату у приміщенні, а слугує лише для попереднього підігріву повітря у приміщенні. Влітку ж, навпаки, при середній енергетичній освітленості горизонтальної поверхні за добу 231–243 Вт/м² [7] виробляється надлишкова тепла енергія.

Теплову енергію, яку виробляє термосифонний сонячний колектор у теплий період року, доцільно зберегти, використовуючи сезонний тепловий акумулятор з твердим наповнювачем, а в холодний період її використати для обігріву приміщення. Як наповнювач у сезонних теплоакумуляторах використовують гравій, щебінь, цеглу, скло, кам'яну сіль, алюмінієвий лом тощо. Теплоакумулявальні властивості матеріалів наповнювачів для сезонних теплоакумуляторів наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Теплоакумуляючі властивості матеріалів наповнювачів для сезонних теплових акумуляторів [8]

Теплоакумуляючий матеріал	Питома масова теплоємність, кДж/(кг·К)	Густина, кг/м ³	Питома об'ємна теплоємність, кДж/(м ³ ·К)	
			Без порожот	30 % порожот
Вода	4,18	993	4154	2881
Залізний лом	0,502	7849	3953	2747
Магнетит (Fe ₃ O ₄)	0,753	5126	3819	2680
Алюмінієвий лом	0,962	2723	2613	1809
Бетон	1,13	2242	2546	1742
Камінь	0,879	2723	2412	1675
Цегла	0,837	2242	1876	1340
Натрій (до 100 °С)	0,962	945	938	-

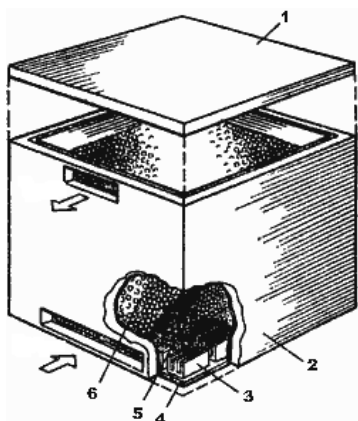


Рис. 2. Загальний вигляд теплового акумулятора із твердим наповнювачем [9]:
1 – кришка; 2 – корпус; 3 – бетонний блок;
4 – теплова ізоляція; 5 – сітка;
6 – наповнювач

Як видно з табл.1, питома теплоємність твердих наповнювачів менша за питому теплоємність води, відповідно має невисоку теплоакумуляючу здатність. Тому потрібно мати для акумуляування теплової енергії значні обсяги твердого наповнювача, проте його можна розташувати безпосередньо під підлогою приміщення, раціонально використовуючи підпільний простір. Сезонний тепловий акумулятор з твердим наповнювачем складається з корпусу з теплопровідних матеріалів (сталі, міді, бетону, цегли), наповнювача (гравій, галька, щебінь, цегла, скло, кам'яна сіль, алюмінієвий лом тощо), теплової ізоляції (пінополіуретан, піноскло, тощо) (рис. 2). Зверху шар теплоакумуляючої речовини покривають бетонною стяжкою.

Основний матеріал. Розглянуто двоповерховий однородинний будинок, розташований у Львові, опори теплопередачі огорожувальних конструкцій якого відповідають вимогам до пасивного будинку [10]. Як систему теплозабезпечення будинку прийнято сумісну систему використання термосифонного сонячного колектора та сезонного теплового акумулятора з твердим наповнювачем. Схему сумісного використання термосифонного сонячного колектора та сезонного теплового акумулятора з твердим наповнювачем під підлогою першого поверху однородинного будинку наведено на рис. 3.

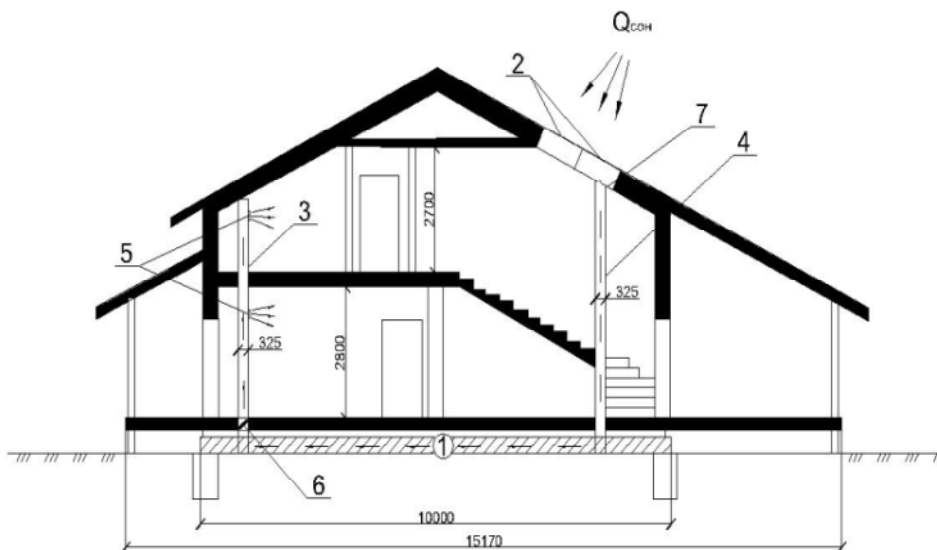


Рис. 3. Схема сумісного використання термосифонного сонячного колектора та сезонного теплового акумулятора в однородинному будинку:

- 1 – сезонний тепловий акумулятор з твердим наповнювачем;
- 2 – термосифонний сонячний колектор; 3 – припливний повітропровід;
- 4 – повітрозабірний канал до теплоакумулятора; 5 – повітровипускні вентиляційні решітки;
- 6 – повітряний клапан

Система теплозабезпечення будинку складалася з сезонного теплового акумулятора з твердим наповнювачем, термосифонного сонячного колектора, системи повітропроводів для забору нагрітого повітря від сонячного колектора та подачі повітря у приміщення, повітровипускних решіток. Принцип сумісної роботи термосифонного сонячного колектора та сезонного теплового акумулятора з твердим наповнювачем в теплий період року є таким. У термосифонному колекторі, суміщеному з південною покрівлею будинку, повітря, що надходить з приміщення, нагрівається завдяки сонячному випромінюванню та повітрозабірним каналом надходить у сезонний тепловий акумулятор. Проходячи крізь пустоти у наповнювачі, повітря охолоджується, віддаючи своє тепло твердій речовині акумулятора, та припливним повітропроводом подається крізь повітровипускні решітки в опалюване приміщення. Для зменшення гідравлічного опору повітряного потоку та рівномірного його розподілення у твердому наповнювачі тепловий акумулятор доцільно виконувати з одним повітряним контуром. Для можливості регулювання або перекидання надходження припливного повітря до опалювального приміщення на виході з теплового акумулятора встановлюють повітряний клапан.

У холодний період року холодне повітря з приміщення повітрозабірним каналом надходить до теплового акумулятора, нагрівається, проходячи крізь наповнювач, та припливним повітропроводом подається у приміщення.

Розрахункову теплову потужність системи опалення для цього будинку визначають за сумою тепловтрат будинку через зовнішні огороження будинку та дорівнює $Q_{\text{б,уд}} = 3040 \text{ Вт}$ [Синовят]. Розрахункову теплову потужність системи опалення визначають для температури зовнішнього повітря найхолоднішої п'ятиденки, яка для Львова становить $t_3 = -19 \text{ }^\circ\text{C}$. Тривалість

стояння такої температури зовнішнього повітря є незначною, а потрібна потужність системи опалення протягом холодного періоду року залежить від середньої температури зовнішнього повітря за розрахунковий період.

Якщо за розрахунковий період прийняти відповідний місяць опалювального періоду, то за розрахункову температуру зовнішнього повітря приймають середньомісячну температуру зовнішнього повітря [7]. Тоді теплову потужність системи опалення для іншого значення температури зовнішнього повітря, Вт, визначають за формулою:

$$Q_i = Q_{\text{бюд}} \frac{t_e - t_i}{t_e - t_{x5}}, \quad (1)$$

де $Q_{\text{бюд}}$ – тепловтрати будинку, визначені за розрахункових параметрів внутрішнього та зовнішнього повітря, Вт; t_e – розрахункова температура внутрішнього повітря, °С; t_{x5} – розрахункова температура зовнішнього повітря, °С; t_i – температура зовнішнього повітря, для якої необхідно перерахувати тепловтрати будинку, °С.

За значеннями середньомісячних температур зовнішнього повітря для місяців холодного періоду року визначено тепловтрати будинку та кількість теплоти, яка втрачається будинком за вказаний місяць холодного періоду року, значення яких наведено у табл. 2.

Таблиця 2

Потреби у тепловій енергії будинком у місяці холодного періоду року за середньомісячної температури зовнішнього повітря

Показники	січень	лютий	березень	квітень	жовтень	листопад	грудень
Середня місячна температура зовнішнього повітря, °С	-4,0	-2,7	1,4	7,9	8,0	2,5	-2,2
Тепловтрати будинку Q_i , Вт	1871	1769	1450	943	935	1364	1730
Кількість теплоти, яка втрачається будинком за місяць Q_i , МДж	5011	4281	3883	2445	2505	3536	4635

Кількість теплової енергії, яку необхідно накопичити у тепловому акумуляторі за теплий період року, дорівнює сумі кількості теплоти, яку втрачає будинок за місяці холодного періоду року, а саме:

$$Q_{\text{ак}} = 5011 + 4281 + 3883 + 2445 + 2505 + 3536 + 4635 = 26296 \text{ МДж} \quad (2)$$

У системі теплозабезпечення вказаного будинку тепла енергія має накопичитися у теплий період року при надходженні сонячного випромінювання на термосифонний колектор. Кількість теплової енергії, яка надходить на поверхню термосифонного сонячного колектора, залежить від значення сумарної сонячної радіації, що надходить на поверхню, у цій місцевості. Так, середньомісячну сумарну сонячну радіацію, що надходить на горизонтальну поверхню за ясного неба у Львові наведено у табл. 3 [7].

Таблиця 3

Середньомісячна сумарна сонячна радіація, МДж/м², та тепла потужність сонячного випромінювання, яка за місяць надходить на горизонтальну поверхню, Вт/м²

Показник	січень	лютий	березень	квітень	травень	червень	липень	серпень	вересень	жовтень	листопад	грудень
$I_{\text{випр}}$, МДж/м ²	107	203	370	490	630	650	658	563	385	265	150	88
$I_{\text{випр}}$, Вт/м ²	40	84	138	189	235	251	246	210	149	99	58	33

Оскільки площа південно-орієнтованої покрівлі дає змогу встановити лише 8 термосифонних сонячних колекторів загальною площею $9,6 \text{ м}^2$, то подальший розрахунок проводимо для цієї кількості сонячних колекторів. Теплову потужність 1 термосифонного сонячного колектора приймають залежно від кількості теплової енергії, що надходить на поверхню колектора. Значення теплової потужності сонячних колекторів за різниці температур $\Delta t = 20 \text{ }^\circ\text{C}$, площі вхідного та вихідного отворів $F = 0,065 \text{ м}^2$ та куту нахилу сонячного колектора $\alpha = 65^\circ$ наведено у табл. 4.

Таблиця 4

Теплова потужність термосифонних сонячних колекторів

Теплова потужність	січень	лютий	березень	квітень	травень	червень	липень	серпень	вересень	жовтень	листопад	грудень
1 сонячного колектора $Q_{с.к}$ площею $F=1,2\text{м}^2$, Вт	170	220	275	300	315	320	318	310	290	230	190	155
8 сонячних колекторів, Вт	1360	1760	2200	2400	2520	2560	2544	2480	2320	1840	1520	1240

За значеннями теплової потужності термосифонних сонячних колекторів та тепловтрат будинку за місяцями холодного періоду року побудовано графік сумісної роботи системи теплозабезпечення (рис. 4).

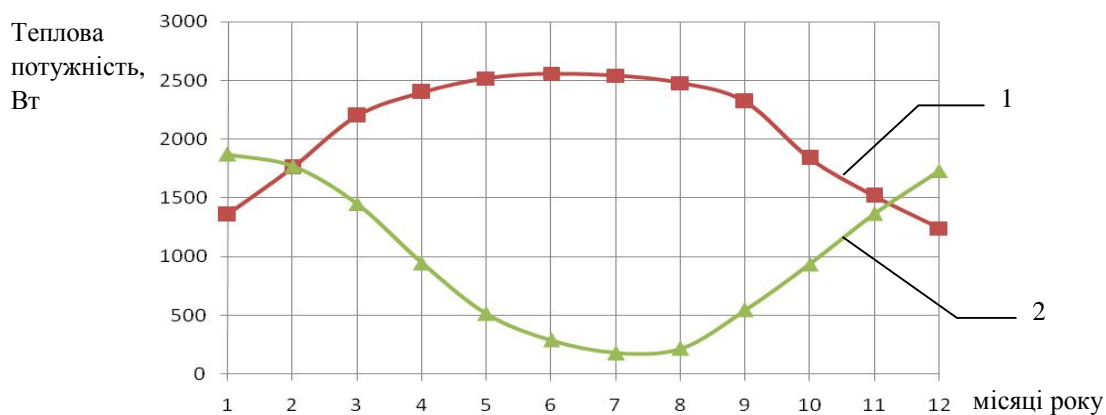


Рис. 4. Графіки сумісної роботи 8 термосифонних сонячних колекторів та сезонного теплового акумулятора

1 – теплова потужність 8 термосифонних сонячних колекторів;
2 – тепловтрати будинку

Як видно з рис. 4, в холодний період року потужності сонячних термосифонних колекторів не достатньо для покриття тепловтрат будинку.

Теплову потужність теплового акумулятора визначають за формулою:

$$Q_{ак} = c_{ак.мат} \cdot V_{ак.мат} \cdot (t_3 - t_p), \quad (3)$$

де $c_{ак.мат}$, $V_{ак.мат}$ – відповідно питома об'ємна теплоємність, $\text{кДж}/(\text{м}^3 \cdot \text{К})$, об'єм, м^3 , акумулюючого матеріалу; t_3 , t_p – температури заряджання та розряджання сезонного теплоакумулятора, $^\circ\text{C}$.

Для вибраного типу акумулюючого матеріалу об'єм теплового акумулятора за формулою (3) визначимо як:

$$V_{ак.мат} = \frac{Q_{ак}}{c_{ак.мат} \cdot (t_3 - t_p)}. \quad (4)$$

Якщо взяти як теплоакумулюючий матеріал каміння з $c_{ак.мат} = 1675 \text{ кДж}/(\text{м}^3 \cdot \text{К})$, то об'єм сезонного теплового акумулятора з твердим наповнювачем однородинного будинку, що наведений на рис. 2, $V_{ак.мат} = 785 \text{ м}^3$. Якщо розмір сезонного теплового акумулятора в плані дорівнює $10 \times 10 \text{ м}$, то його висота повинна бути $7,85 \text{ м}$.

Висновки. Результати дослідження показують, що для повного забезпечення тепловою енергією системи тепlopостачання однородинного будинку сезонний тепловий акумулятор з твердим наповнювачем повинен мати значні габаритні розміри, а саме $7,85 \times 10 \times 10 \text{ м}$. Система повітряного опалення з термосифонними сонячними колекторами не забезпечує необхідною кількістю теплової енергії сезонний тепловий акумулятор через свою малу площу. Тому сезонний тепловий акумулятор у системах теплозабезпечення пасивних однородинних будинків доцільно використовувати для часткового покриття потреби у тепловій енергії, частку якої визначають техніко-економічним розрахунком.

1. Файст В. Основные положения по проектированию пассивных домов / В. Файст. – М. : Изд-во Ассоциация строит. вузов, 2008. – 144 с. 2. Возняк О. Т. Енергетичний потенціал сонячної енергетики та перспективи його використання в Україні / О. Т. Возняк, М. Є. Янів // Вісн. Нац. ун-ту “Львів. політехніка”. Теорія і практика будівництва. – 2010. – N 664. – С. 7–10. 3. Высочин В. В. Математическая модель гелиосистемы с сезонным аккумулятором тепла / Высочин В. В. // Праці Одеського політехнічного університету. – 2011. – Вип. 2 (36). – С. 125–129. 4. Arvind Chel, J.K. Nayak, Geetanjali Kaushik. Energy conservation in honey storage building using Trombe wall, *Energy and Buildings*, Vol. 40, 2008, pp.1643–1650. 5. Dennis R. Holloway. A Simple Design Methodology for Passive Solar Architecture. *Architecture Solar Virtual Reality Native American Archaeology*. 2005, pp. 1–15. 6. Желих В. М., Лесик Х. Патент на корисну модель № 68773. Термосифонний сонячний колектор. Опубл. 10.04.2012. Бюл. № 7 – 3 с. 7 ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010. Будівельна кліматологія. – К.: Мінрегіонбуд України, 2011. – 127 с. 8. Традиційні та нетрадиційні системи енергозабезпечення урбанізованих і промислових територій України: моногр. // Г. Г. Півняк, О. С. Бешта, М. М. Табаченко та ін.; за заг. ред. Г. Г. Півняка. – Д.: Національний гірничий університет, 2013. – 333 с. 9. Гравийный теплоаккумулятор [Електронний ресурс] / Построй свой дом (сайт). – Режим доступу: http://www.mensh.ru/graviinyi_teploakkumulyator – Назва з екрану. 10. Zhelykh V. Using of the electric heating in combined heating supplies system of passive house. / V. Zhelykh, O. Savchenko, S. Synoviyat // *Cassotherm – 2015, Non-Conference Proceedings of Scientific Papers KEGA 052 TUKE-4/2013*. – P. 37–43.