

**КОНЦЕПТУАЛЬНІ ОСНОВИ СТВОРЕННЯ
ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО БУДИНКУ ПАСИВНОГО
ТИПУ (ЗАГАЛЬНОЮ ПЛОЩЕЮ 300 кв. м.)**

Басок Б.І.

Інститут технічної теплофізики НАН України

Фаренюк Г.Г.

ДП «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій»
м. Київ, Україна

АНОТАЦІЯ: В роботі наведено основні підходи до створення та результати побудови експериментального будинку пасивного типу загальною площею 300 кв. м. на території Інституту технічної теплофізики НАН України за адресою м. Київ, вул. Булаховського, 2. Приведена оцінка питомого річного теплоспоживання для потреб опалення.

АННОТАЦИЯ: В работе изложены основные подходы к созданию и результаты строительства экспериментального здания пассивного типа общей площадью 300 кв. м. на территории Института технической теплофизики НАН Украины по адресу г. Киев, ул. Булаховского, 2. Приведена оценка удельного годового теплопотребления для нужд отопления.

ABSTRACT: The paper presents the main approaches to the creation and results of construction of the experimental passive type building with total area of 300 square meters at the Institute of Engineering Thermophysics of NASU at Str. Bulakhovskogo 2. An assessment of specific annual heat consumption for heating are given.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: Будинок пасивного типу, теплоспоживання, відновлювані джерела енергії.

За даними відомої датської компанії Velux [1] 90% нашого часу ми проводимо в будівлях, на життєзабезпечення яких витрачається 40%

енергії, що виробляється в світі. На даний час навіть в Європі до 30% всіх будівель не забезпечують здоровий мікроклімат в приміщеннях. В Україні на потреби опалення існуючого комунального житлового фонду щорічно використовується оцінково до 170...200 кВт·годин на 1 кв. м опалювальної площі, що зумовлено великими дисипативними втратами теплоти через огорожувальні будівельні конструкції будинків (вікна, стіни, дахи, підвали тощо). Згідно з нормативно-технічними вимогами України будинки високої енергетичної ефективності повинні щорічно споживати до 65...75 кВт·годин на 1 кв. м площі, для Німеччини аналогічний показник становить 40 кВт·годин на 1 кв. м, а для будівель так званого «пасивного типу» - не більше 15 кВт·годин на 1 кв. м. Для кліматичних умов України рівень теплоспоживання будинку пасивного типу законодавчо не визначений. Тому проблема суттєвого підвищення енергоефективності будівель шляхом теплозбереження за рахунок використання інноваційних будівельних конструкцій та застосування сучасних інженерних систем теплозабезпечення (включаючи використання поновлюваних та альтернативних джерел енергії) є вкрай актуальною. Одним із напрямків вирішення нагальних завдань енергозбереження в існуючому будівельному фонді та в новобудовах є впровадження пілотних проєктів по термомодернізації будівель; по пасивним, «зеленим», екологічно чистим, «активним» будинкам; з обов'язковим довгорічним моніторингом їх показників реального енергоспоживання.

Метою даної роботи є розробка концептуальних підходів, інноваційних технічних рішень і на їх основі створення проєкту та побудова експериментального будинку пасивного типу загальною площею до 300 кв. м. на території ІТТФ НАН України (Київ, вул. Булаховського, 2), тобто для клімату м. Києва. Завдання проєкту - визначення енергетично і економічно доцільного комплексу заходів для оптимізації теплоспоживання будівлі до рівня західноєвропейського будинку пасивного типу.

З архітектурної точки зору і згідно канонів будівельної справи запропонований будинок не є довершеною чи оптимальною конструкцією. Юридичний статус створеної будівлі – це повномасштабний (4 повноцінних поверхи, п'ятий поверх – горище, опалювальна площа – 266,6 кв. м.) лабораторно-промисловий стенд для перевірки в реальних кліматичних умовах як окремих будівельних конструкцій, та к і всієї будівлі в цілому, а також сучасних систем енерго- та ресурсозабезпечення. По суті це є науково-технічна та технологічна лабораторія теплофізичного та енергетичного профілю для дослідження динаміки експлуатації, окремих будівельних матеріалів, окремих будівельних конструкцій та всієї будівлі, а також довготривалого моніторингу експлуатації інженерних систем енергозабезпечення, головним чином на основі поновлюваних та альтернативних енергоресурсів. Перспективна ідея, яка покладена в основу

такого будівельного стенду, полягає в реалізації, безумовно при наявності фінансування та при активному подальшому пошуку інвестицій, послідовного ланцюжка перетворень вказаної будівлі в напрямку: будинок високої енергетичної ефективності (70 кВт·годин на 1 кв. м. площі) – будинок пасивного типу – будинок типу «нуль енергії» – «розумний» будинок – будинок як Micro Smart Grid 0-Energy система.

В даному будинку, як в теплофізичній лабораторії, передбачені автоматизовані цілорічні неперервні (з інтервалом (скважністю) від 1 хвилини і до 1 доби) вимірювання полів температур, теплових потоків, вологості, тиску, витрат повітря, витрат теплоносія, витрат теплової і електричної енергії, освітленості, зовнішніх кліматичних параметрів з електронним архівуванням отриманих експериментальних даних. Наявна можливість також проводити тепловізійні та пірометричні вимірювання. Передбачено також вимірювання теплофізичних властивостей будівельних матеріалів та конструкцій в реальних умовах експлуатації та їх зміни в довготривалому часі. На даний час в конструкції будинку безповоротно запаковано більш як 400 одиниць датчиків температури, теплового потоку, вологості тощо. Майже аналогічна кількість датчиків передбачена також при відкритому доступі для стаціонарної та переносної установки з використанням комплексу типу «Ресурс» власної розробки. Довготривалі вимірювання проводяться в будівельних конструкціях, в навколишньому ґрунті, в ґрунтових теплообмінниках, в приміщеннях та в повітрі атмосфери, а також кліматичні вимірювання, включаючи вимірювання сонячної інсоляції.

Будинок орієнтований з півдня на північ. В плані основний корпус будинку (без зовнішнього утеплення) займає площу 760 см (ширина) на 1005 см (довжина), кожен основний поверх облаштовано трьома приміщеннями (кімнатами) площею 22-24 кв. м. кожна. Будинок створено як будівлю полегшеного типу без втрат конструкціями належної міцності (полегшені суцільні та сендвіч-стіни; полегшені ребристі плити перекриття).

Цокольний поверх заглиблений в ґрунт по рівню підлоги на 175 см. Підземна зовнішня частина цокольного поверху виконана із 4 рядів бетонних блоків ФБС-24.4.6, покладених на однорядний стрічковий фундамент із бетонних блоків ФЛ-8.24-2, укладених на піщано-гравійну засипку. Фундамент під внутрішньо будинкові цегляні простінки виконаний із бетонних ФБС-24.6.6. Підземна зовнішня бетонна частина цокольного поверху виступає над рівнем горизонтального ґрунту на 10 см, далі стіни цоколя виконані із суцільної (зовні) та дірчатої (всередину, облицювальної) керамічна цегли. Зовнішню частину цоколя, яка знаходиться в ґрунті, утеплено і гідроізольовано від ґрунту трьома шарами гідроізоляційної бітумної мастики і одним шаром пластикової плівки.

Товщина шару утеплення ґрунтової частини цоколя становить: починаючи з глибини ґрунту в 170 см значення 10 см, з глибини 110 см – 20...21 см, а з глибини 50 см – від 25 до 29 см. В якості теплоізоляційних матеріалів при цьому використовувались: плити простого і гідроізольованого піноскла товщиною 10 см; плити із екструзійного та звичайного пінополістиролу товщиною 10 см; металеві сандвіч-панелі товщиною 5, 7, і 10 см, що наповнені пінополістиролом та пінополіуретаном.

Кожен наступний поверх виконаний із вітчизняних і соціально доступних будівельних матеріалів, як то: керамічна дірчата цегла (одинарна та подвійна); керамічний блок; пінобетонний блок; газобетонний блок різної товщини; блок із ракушняка; блок із піщаника; керамзитобетонний литий блок; керамзитобетонний пресований блок; бетонно-деревностружечний блок (Арболіт); деревний брус (15 см); металева стінова сандвіч-панель (товщиною 20 см мінвати). Здебільшого зовнішні основні стіни мали конструкцію типу сандвіч-панелі із внутрішнім пустим прошарком товщиною від 4 до 12 см, котрий заповнювався або матами базальтової вати різної густини, або полістирольними плитами, або сипучим теплоізоляційним матеріалом, в якості якого використовувалися керамзитний обкотиш дисперсністю 10-15 мм, подрібнені відходи (крошка) пінополістиролу, пінополістирольні гранули та перлітовий пісок. Практично кожна зовнішня частина стіни основної конструкції будинку та подекуди внутрішня частина стіни кожної кімнати виконані з різного будматеріалу.

Північна стіна рівна, без вікон та дверей. На відміну від класичних підходів пасивного будівництва південна також суцільна і без вікон та дверей. Це пов'язано з тим, що по нашим власним експериментальним цілорічним вимірюванням сонячної радіації та із матеріалів ДБН по кліматології, для м. Києва взимку характерна велика хмарність неба і практично відсутність прямого сонячного випромінювання, а влітку навпаки присутнє пряме випромінювання. Це призводить до того, що взимку теплопритоки через вікна, що пов'язані із розсіяним сонячним випромінювання незначні, а тепловтрати через вікна назовні суттєві, особливо в порівнянні питомими тепловтратами крізь огорожувальні стіни саме для будівлі пасивного типу, адже питомі опори теплопередачі відрізняються в 15 раз на відміну від високоефективних будівель, де така різниця сягає 5 раз. Влітку навпаки присутність прямого сонця призводить до збільшення енерговитрат на кондиціонування приміщень. Саме тому всупереч нормативно-технічним вимогам для пасивного будинку було зменшено віконні отвори і, відповідно, площу вікон. Необхідну ступінь освітленості приміщень в пасивному будинку необхідно вирішувати

іншими шляхами, наприклад, використанням світловодів сонячного випромінювання.

В будинку використовуються подвійні енергоефективні вікна, що виготовлені на основі двокамерних склопакетів з формулою 4i-8-4i-8-4 та п'ятикамерного віконного профілю.

Дах будинку односкатний, направлений на південь під кутом 35° до горизонту, який є оптимальним стосовно річного сприйняття сонячної енергії тепловими та електричними панелями. Конструкція даху металева, посиленого типу, здатна нести снігову загрузку та всю масу сонячних панелей при повному заповненні ними всієї площі, що становить майже 125 кв. м. Утеплення даху виконано декількома шарами базальтової вати загальною товщиною 50...55 см, гідроізолюваною зверху панелями OSB з товщиною 10 мм.

Утеплення зовнішніх стін основного корпусу будинку виконане наступним чином. По чотирьом кутам будинку по горизонталі на відстань до 50...60 см від кута та по вертикалі стіни будинку, де розташовані вікна, утеплення суцільне, трьохшарове (товщина кожного шару утеплювача – 10 см) типу «мокрого» фасаду. По всій іншій площині всіх стін спочатку утеплення двошарове типу «мокрого» фасаду товщиною 21...22 см, потім п'ятисантиметровий вертикальний вентиляційний повітряний канал, а потім знову утеплювач товщиною 5 см, далі 3 шари клеєвої стяжки, армованої фасадною полімерною сіткою і шар фасадної краски по гладкій (для зменшення тепловіддачі) стіні. Повітря, що поступає в вентканали, або зовнішнє атмосферне, або попередньо пройдене через ґрунтові теплообмінники, що розташовані в насипному ґрунті перед південною та перед північною стіною будинку. Фактично реалізована комбінована система поєднання «мокрого» та вентильованого фасаду. Вентиляція фасаду реалізується як вільна гравітаційно-конвективна, або як примусово-конвективна за рахунок використання дуттєвого вентилятора. В якості утеплювачів зовнішніх стін використовувались: для першого шару – піноскло; базальтова вата високої густини; металеві сандвіч-панелі (наповнені мінватою або пінополістиролом); для другого шару – базальтова вата, простий пінополістирол, екструзійний пінополістирол; для зовнішнього шару - екструзійний пінополістирол.

Вхід в будинок - через відокремлену від будівлі естакадну прибудову. Вхід виконаний як трьохтамбурного типу, що послідовно реалізує: вертикальні теплоізоляційні ролети, основні зовнішні теплоізоляційні двері, проміжні вертикальні теплоізоляційні ролети, допоміжні внутрішні двері.

Виходячи із вищесказаного до особливостей будинку можна віднести:

- компактність будівлі;

- посилену теплоізоляцію зовнішнього утеплення стін товщиною до 33 см.;
- використання комбінованого клеєво-вентильованого фасадного утеплення стін;
- орієнтацію на південь та відсутність затінку;
- виключення або зменшення наявності “містків холоду”;
- герметичність будівельної конструкції;
- енергоефективні подвійні вікна та профілі відмінної якості
- контрольовану вентиляція з рекуперацією теплоти;
- заглиблення в ґрунт на дві третини висоти цокольного поверху;
- тепловий захист (нагрівання – взимку, охолодження – влітку) зовнішніх стін при пропусканні зовнішнього повітря через ґрунтові теплообмінники і вентканали зовнішнього утеплення – т. з. «теплова завіса»;
- використання для внутрішньої частини зовнішніх стін основного корпусу будівельних матеріалів значної теплоємності, а для зовнішньої частини – малої теплопровідності.

Схема будівлі наведена на рис.1, а її зовнішній вигляд на різних етапах будівництва – на рис. 2.

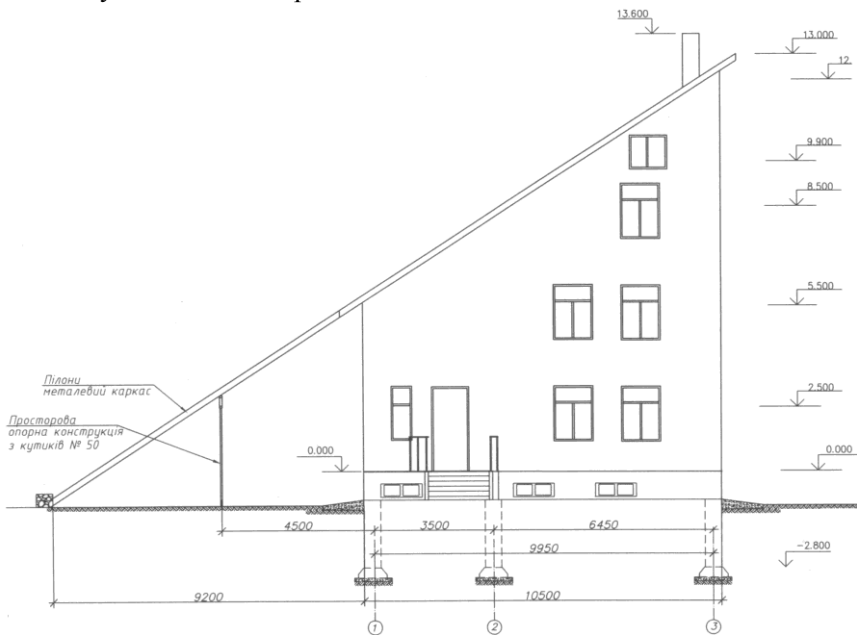


Рис. 1. Схема основного корпусу будинку (без утеплення), вид із сходу

Наведемо оціночний розрахунок питомого теплопостачання та порівняльний аналіз опору теплопередачі більшості різноваріантних багат шарових огорожувальних конструкцій (ОК), що використовувались для пасивної будівлі. Згідно з ДБН В.2.6-31 для розрахунку питомого теплоспоживання будівлі температурою внутрішнього повітря приймається $t_{\text{вн}}=20$ °С. Розрахунковою температурою зовнішнього повітря вибрана в варіанті 1: середня температура зовнішнього повітря за опалювальний період для умов м. Києва $t_{\text{оп.з.}}=t_{\text{зовн}}=-1,1$ °С [2] та в варіанті розрахунку 2: максимальна середня температура самого холодного періоду (січень-місяць) за п'ять останніх років $t_{\text{зовн}}=-1,0$ °С [3]. Тривалість опалювального періоду для м. Києва складає $z_{\text{оп}}=187$ діб.



Рис. 2. Зовнішній вигляд експериментального будинку пасивного типу на стадії його будівництва до (а) та після (б) термомодернізації

Розрахунок термічного опору стінових конструкцій проводиться на основі залежності для термічного опору:

$$R_{\text{пр}} = \frac{1}{\alpha_{\text{вн.}}} + \sum_{j=1}^j \frac{R_j F_j}{F_{\Sigma}} + \frac{1}{\alpha_{\text{зовн.}}}, \quad (1)$$

$$R_i = \frac{\delta_i}{\lambda_{\text{пр}}}, \quad (2)$$

де $\alpha_{\text{вн.}}$, $\alpha_{\text{зовн.}}$ - коефіцієнти тепловіддачі внутрішньої і зовнішньої поверхонь огорожувальної конструкції, Вт/(м²·К), які приймаються відповідно: $\alpha_{\text{вн.}}=8,7$ Вт/(м²·К) та $\alpha_{\text{зовн.}}=23$ Вт/(м²·К);

F_j - площа j -ї термічно однорідної зони, м²;

F_{Σ} - площа ОК, м²;

R_i - термічний опір термічно однорідної зони, визначається за формулою (2), (м²·К)/Вт; δ_i - товщина i -го шару конструкції, м;

λ_{ip} - теплопровідність матеріалу i -го шару конструкції в розрахункових умовах експлуатації, Вт/(м·К).

В табл. 1 представлено коефіцієнти теплопровідності більшості використаних будівельних матеріалів. Розрахунок термічного опору різних варіантів компоновок опорних конструкцій стін з утепленням теплоізоляційними матеріалами, які застосовувались для будівлі пасивного типу наведено в табл. 2. Тепловтрати через інші ОК наведені в табл. 3.

Таблиця 1

Коефіцієнти теплопровідності деяких будівельних матеріалів [2, 4-7]

Матеріал	λ , Вт/м·К	Матеріал	λ , Вт/м·К	Матеріал	λ , Вт/м·К
Керамблоки	0,35	Ракушняк	0,65	Газобетон	0,21
Пінополі-стирол	0,04	Цегляна кладка	0,81	Пінополіуретан	0,04
Шлакоблок	0,41	Керамзит	0,12	Мінвата	0,045
Утеплювач	0,04	Перліт	0,12	Дерево	0,18
Арболіт	0,23	Кератерм	0,14	Пінобетон	0,21

Загальна площа бічної поверхні стіни ОК, що приведені в табл. 2, становила 264,2 м², загальна площа вікон - 19,44 м² і 2,2 м² дверей.

Таблиця 2

Розрахунок термічного опору та тепловтрат через стіни будівлі для 24 варіантів її облаштування

Короткий опис конструкції, що застосовувались для стіни (товщина), + для всіх варіантів теплоізоляція (0,25 м)	Опір теплопередачі стіни, (м ² ·К)/Вт	Варіант 1 Тепловтрати Вт	Варіант 2 Тепловтрати Вт
1	2	3	4
Керамічні блоки "Керамкомфорт" (0,12 м) + Засипка з відходів пінополістиролу (0,07 м) + Шлакоблоки (0,2 м)	8,99	58,14	82,63
Арболіт (0,2 м) + Засипка з гранул пінополістиролу (0,07) + Ракушняк (0,2 м)	9,34	54,78	77,81
Керамічні блоки "Кератерм" (0,38 м)	9,12	61,47	87,55
Керамічні блоки "Керамкомфорт" (0,12 м) + Засипка з гравію керамзитового (0,12 м) + Цегляна кладка з повнотієї цегли (0,12 м)	7,9	32,36	46,06

1	2	3	4
Керамічні блоки "Керамкомфорт" (0,12 м) + Засипка з перлітового щебеню (0,12 м) + Цегляна кладка з повнолітої цегли (0,12 м)			
Керамічні блоки "Керамкомфорт" (0,12 м) + Засипка з гранул пінополістеролу (0,12 м) + Цегляна кладка з повнолітої цегли (0,12 м)	9,9	25,82	36,72
Керамічні блоки "Керамкомфорт" (0,12 м) + Засипка з відходів пінополістеролу (0,12 м) + Цегляна кладка з повнолітої цегли (0,12 м)			
Керамічні блоки "Керамкомфорт" (0,12 м) + Засипка з гранул пінополістеролу (0,07 м) + Пінобетонні блоки (0,2 м)	9,45	63,73	90,6
Дерев'яні бруси - сосна (0,15) + Утеплення базальтовою ватою (0,1) + Газобетонні блоки (0,1)	9,94	51,39	73,2
Керамічні блоки "Керамкомфорт" (0,12 м) + Засипка з гранул пінополістеролу (0,07 м) + Газобетонні блоки (0,2)	9,45	63,51	90,28
Керамічні блоки "Кератерм" (0,24 м) + Засипка з гравію керамзитового (0,12 м) + Газобетонні блоки (0,1 м)	9,6	26,66	37,94
Керамічні блоки "Кератерм" (0,24 м) + Засипка з перлітового щебеню (0,12 м) + Газобетонні блоки (0,1 м)			
Керамічні блоки "Кератерм" (0,24 м) + Засипка з гранул пінополістеролу (0,12 м) + Газобетонні блоки (0,1 м)	11,6	22,06	31,39
Керамічні блоки "Кератерм" (0,24 м) + Засипка з відходів пінополістеролу (0,12 м) + Газобетонні блоки (0,1 м)			
Пінобетонні блоки (0,2 м) + Засипка з гранул пінополістеролу (0,07 м) + Газобетонні блоки (0,2 м)	10,06	22,16	31,44
Дерев'яні бруси - сосна (0,15 м) + Утеплення базальтовою ватою (0,1) + Дерев'яні бруси - сосна (0,15 м)	10,3	5,74	8,15
Газобетонні блоки (0,2 м) + Засипка з гранул пінополістеролу (0,07) + Ракушняк (0,2 м)	9,42	8,52	12,12
Ракушняк (0,2 м) + Засипка з гранул пінополістеролу (0,07) + Газобетонні блоки (0,2 м)	9,42	24,28	34,58
Сендвіч-панель з пінополіуретану (0,2 м)	11,16	5,29	7,53
Керамічні блоки "Керамкомфорт" (0,12 м) + Засипка з гранул пінополістеролу (0,07 м) + Газобетонні блоки (0,2)	9,45	8,47	12,05
Керамічні блоки "Керамкомфорт" (0,12 м) + Засипка з гранул пінополістеролу (0,07 м) + Ракушняк (0,2)	8,81	14,48	20,6
Арболіт (0,2 м) + Засипка з гранул пінополістеролу (0,07 м) + Ракушняк (0,2)	9,34	13,7	19,45
Шлакоблок (0,2 м) + Засипка з гранул пінополістеролу (0,07 м) + Камінь "Моноліт" (0,2)	9,52	13,45	19,09
Арболіт (0,2 м) + Засипка з гранул пінополістеролу (0,07 м) + Камінь "Моноліт" (0,2)	9,9	12,91	18,36
Разом		588,9	837,6

Таблиця 3

Розрахунок термічного опору та тепловтрат через інші ОК будівлі

№ п/п	Елемент ОК	Термічний опір теплопередачі ОК, R, (м ² ·°C)/Вт	Варіант 1	Варіант 1
			Втрати теплоти через ОК при t _{зовн} = -1,1 °C, Q, Вт	Втрати теплоти через ОК при t _{зовн} = -10,0 °C, Q, Вт
1	Вікна	3,8	106,7	151,6
2	Двері	4,2	11,1	15,8
3	Дах	11,11	205,2	291,6
Разом			323,1	459,1

Тепловтрати на один метр опалювальної площі досліджуваної будівлі становлять: варіант 1: 3,4 Вт/м²; варіант 2: 4,86 Вт/м², а оцінка питомого теплоспоживання експериментального енергоефективного будинку пасивного типу рівна: варіант 1: E = 15 (кВт год)/(м² рік); варіант 2: E = 21,8 (кВт год)/(м² рік), що відповідає вимогам європейських стандартів.

З використаних варіантів конструкцій стін найбільше розрахункове значення опору теплопередачі, і, відповідно, найменші тепловтрати має стіна з керамічного блока "Кератерм" в 0,24 м з засипкою гранул або відходів пінополістиролу (0,12 м), шаром газобетонного блока (0,1 м) та додатковим утеплення в 0,25 м.

Підсумовуючи вищесказане, зазначимо, що створений експериментальний енергоефективний будинок є зручним полігоном для тестування, апробації та дослідження будівельних матеріалів і енергозберігаючих конструкцій, сучасних технологій енерго- та теплопостачання з використанням відновлювальних джерел енергії.

Використання будинків «пасивного» типу суттєво зменшує споживання в Україні первинної енергії. Більш високі капітальні витрати «пасивної» будівлі компенсуються зниженням експлуатаційних витрат за рахунок суттєвого зменшення енергоспоживання.

ЛІТЕРАТУРА

1. www.velux.ru.
2. Конструкції будинків та споруд. Теплова ізоляція будівель: ДБН В.2.6-31:2006. - [Чинний від 01.04.2007]. - К.: Мінбуд України, 2006. - 64 с. - (Державні будівельні норми України).
3. Особенности теплоснабжения административного здания в отопительный период / [Басок Б.И., Давыденко Б.В., Гончарук С.М. и др.] // Керамика: наука и жизнь, 2011. - №4(14). - С. 59 - 68.

4. <http://e-kirpich.in.ua/kerambloki/kirpich-dvoynoy>.
5. Франчук А.У. Таблицы теплотехнических показателей строительных материалов. Второе издание с изменениями и дополнениями / А.У. Франчук Москва, 1969, с. 136.
6. www.keraterm.com.ua/keraterm_38.html.
7. <http://www.electro-sila.ru/teplo.htm>.

REFERENCES

1. www.velux.ru.
2. Construction of buildings and structures. Thermal insulation of buildings: SBN B.2.6-31:2006. - [Valid from 01.04.2007]. - К.: Minbud of Ukraine, 2006. - 64 p. - (State Building Norms of Ukraine).
3. Heat supply peculiarities of the administrative buildings in the heating period / [B.I. Basok, Davydenko B.V., Goncharuk S.M. and oth.] // Ceramics: science and life, 2011. - №4(14). - P. 59 - 68.
4. <http://e-kirpich.in.ua/kerambloki/kirpich-dvoynoy>.
5. Franchuk A.U. Tables of thermal performance of building materials. The second edition with amendments and additions / A.U. Franchuk. - Moscow, 1969. - p. 136.
6. www.keraterm.com.ua/keraterm_38.html.
7. <http://www.electro-sila.ru/teplo.htm>.

Стаття надійшла до редакції 21.11.2013 р.