

АРХІТЕКТУРА

УДК 697.133

DOI: 10.15587/2313-8416.2018.153368

ЕНЕРГОМОДЕРНІЗАЦІЯ ЖИТЛОВИХ БУДИНКІВ ЯК ВИКЛИК СУЧАСНОСТІ

© Т. М. Апатенко, О. С. Безлюбченко, О. В. Завальний

Робота полягає в дослідженні необхідності термомодернізації та підвищенні енергоефективності житлового фонду України. Проаналізовано статистику енергоспоживання будинками різних типів. Описано термомодернізаційні заходи, необхідні для зниження витрат на теплоспоживання. Визначена економічна доцільність реконструювання певних типів житлових будинків із врахуванням їхньої енергоефективності. Впроваджено основні архітектурно-планувальні та конструктивні прийоми підвищення енергоефективності на прикладі забудови в центральній частині м. Харкова

Ключові слова: енергозбереження, енергоефективний будинок, тепломісткість, енергоефективність, пасивний будинок, критерій енергоспоживання, енергомодернізація

1. Вступ

Одним із основних завдань програми енерго-незалежності, яке зафіксоване в Стратегії сталого розвитку України Україна – 2020 [1] з переліку першочергових для реалізації в найближчі роки, є забезпечення енергетичної безпеки і перехід до енергоефективного та енергоощадного використання та споживання енергоресурсів із впровадженням інноваційних технологій [2].

В умовах постійного підвищення цін на енергоносії, невизначеності ситуації з постачанням окремих енергоносіїв (природного газу), яка повторюється декілька років поспіль, державі необхідно прийняти важливі заходи з стимулювання енергозбереження в житловому (й в цілому будівельному) фонді і впровадження механізмів фінансового забезпечення заходів з енергозбереження [3]. Виникає необхідність розробки концепцій, спрямованих на раціональне енергоспоживання, а також перехід на поновлювані джерела енергії, а так як відомо – будівництво є однією із галузей економіки, що має великий потенціал в плані можливої реалізації програм енергозбереження.

Виходячи із цього, не виникає ніяких сумнівів у актуальності організації будівництва будівель, які використовують екологічно чисті, поновлювані джерела енергії. У сучасній архітектурі і будівництві це може бути досягнуто шляхом вдосконалення архітектурно-планувальних рішень, застосування зовнішніх огорожувальних конструкцій оболонки будівлі з необхідним рівнем теплозахисту, впровадження ефективних систем забезпечення мікроклімату та енергозбереження у будівлях, застосування відновлюваних джерел енергії, підвищення якості проектування будівель. Перехід до такого типу будівель може істотно скоротити спожи-

вання паливно-енергетичних ресурсів, знизити витрати на енергозабезпечення та зменшити викиди парникових газів [4, 5].

Будівництво таких будівель знаходиться на стадії активного розвитку у багатьох європейських країнах, які проводять політику енергозбереження. Фактично будівництво подібного типу будівель в Європі регулюється та заохочується на державному рівні: прийнята в 2002 р Директива European Energy Performance of Buildings Directive 2002/91/EC (EPBD) передбачає ряд заходів, спрямованих на зниження енерговитрат при будівництві [4].

2. Літературний огляд

Політика енергозбереження в Європі практично реалізується у прийнятій Європарламентом і Радою ЄС в 200 (EPBD). Відповідно до Директиви, істотно посилюються вимоги до економії енергії в будівлях. Директива передбачає:

– прийняття країнами методик розрахунку ефективності будівлі з точки зору енергоспоживання; мінімальні норми споживання енергії для усіх нових і реконструйованих старих великих будівель;

– систему сертифікації будівель, що регламентує кількість споживаної енергії і, відповідно, енергоефективність будівлі.

Використання енергозберігаючих технологій та матеріалів, а також підвищення енергоефективності об'єктів будівельної індустрії можна вважати одним з пріоритетних напрямків сучасного розвитку світової економіки [6]. Імовірність можливого дефіциту енергетичних ресурсів призводить до значного збільшення їх вартості при існуючих обсягах і темпах зростання споживання [7].

Впровадження енергоекономічних матеріалів і рішень (наприклад, нетрадиційні системи; нові

будівельні матеріали з високими теплозахисними властивостями; обладнання, що забезпечує необхідні параметри мікроклімату) є фактором, що впливає на зменшення тепловтрат [8].

3. Мета та задачі дослідження

Мета дослідження – визначення основних методів реновації житлової забудови з використанням енергоефективних засобів.

Для досягнення мети були поставлені наступні задачі:

1. Класифікація будинків за енергоспоживанням.
2. Оцінка енергоефективності будівель відповідно до вимог ДБН.

3. Визначення економічної доцільності реконструювання певних типів житлових будинків із врахуванням їхньої енергоефективності.

4. Методи дослідження. Класифікація будинків за енергоспоживанням

Статистика енергоспоживання країн в світі доводить, що за кількістю споживання енергії в Україні займає 3 місце в світі (рис. 1), а споживання енергії на душу населення для України становить 84 МДж/рік це найбільший показник в світі, про що свідчить знаходження України на 1 місці в рейтингу (рис. 2). Для України такий показник свідчить про те, що країна надмірно використовує енергію (табл. 1) [9].

ВВП \$

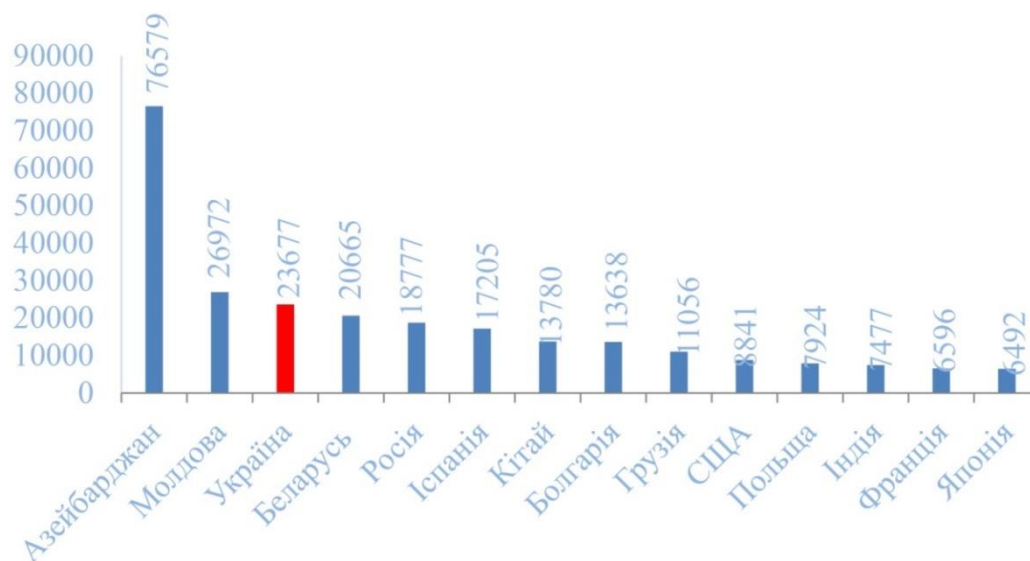


Рис. 1. Загальний обсяг споживання первинної енергії в розрахунку на долар ВВП

Мдж/рік

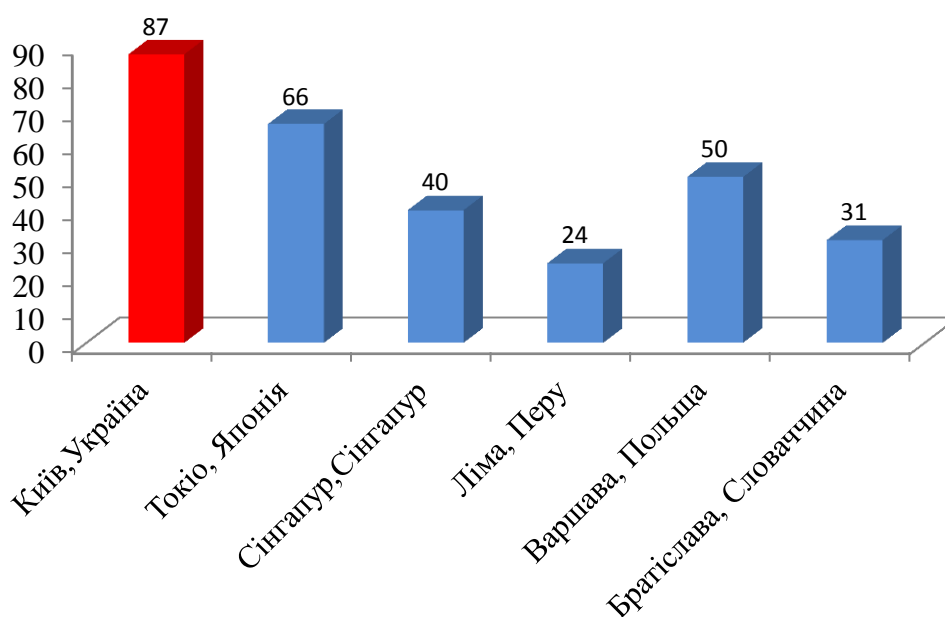


Рис. 2. Споживання первинної енергії на душу населення [4]

Таблиця 1

Енергоспоживання будинків існуючого житлового фонду, визначене за результатами моделювання, тони нафтового еквіваленту (тне)

Необхідна енергія, тне	Зона I	Зона II	Зона III	Зона IV
Житлові будинки висотою від 6-ти поверхів включно	1660022,15	561610,674	239408,044	40722,887
Житлові будинки 5-ти поверхові	2154469,53	766560,448	397413,564	136108,75
Житлові будинки висотою від 2-х до 4-х поверхів	1431041,86	404752,647	237487,374	29730,566
Гуртожитки	221403,587	81204,639	41761,998	7177,068
Котеджні будинки	11016088,6	3766048,10	2197323,421	209072,40
Річне енергоспоживання житлового сектору	16483025,9	5580176,51	3113394,403	422811,59
РАЗОМ	25 599 408,43			

Отримана величина енергоспоживання житлового сектора в 25 млн. тне лише на 3 % перевищує базовий рівень споживання енергії, встановлений згідно статистичних даних.

За результатами розрахунків підсумкове питоме енергоспоживання (показник енергопродуктивності) в середньому по Україні складає 276 кВт·год/м² спожитої енергії та варіюється від 145 до 327 кВт·год/м² в залежності від типу будівлі та кліматичної зони, в якій будівля розташована.

На сьогодні в світі існує статистика енергоспоживання будинками, яка в свою чергу створила наступну класифікацію [10]:

- будинки низького споживання енергії – 60 кВт/м²рік;
- пасивні будинки – 5 кВт/м²рік;
- будинки побудовані до 1970-х років – 300 кВт/м²рік.

Згідно статистичним даним Україні будинки розподіляються на дві групи:

- громадські будівлі – 180–350 кВт/м² рік;

– житлові будівлі – 150–250 кВт/м² рік.

Надмірні енергетичні витрати будинку пояснюються такими головними чинниками:

- зовнішні стіни – витрати 22 %;
- покриття верхнього поверху та дах – витрати 26 %;
- підлога – витрати 10 %;
- вікна та входні двері – витрати 35 %.

Для того щоб уникнути таких витрат необхідно виконувати комплекс заходів із енергомодернізації, який надає можливість уникнути подібних витрат.

Класифікація будинків за критерієм енергоспоживання має проводитися різними засобами, спираючись на методологію

Методи енергомодернізації (рис. 3.)

- Основними заходами у сфері містобудівництва є:
- відсутність або недостатня інсоляція;
 - надлишкова інсоляція південного фасаду будинку;
 - вітрозахист з боку переважних вітрів.



Рис. 3. Основні методи енергомодернізації

Об'ємно-планувальні методи:

• Компактність будинку (критерієм енергоефективності форми будинку є його компактність, яка представлена відношенням площі зовнішньої оболонки будинку до його об'єму (S/V)). Найкращою

формою для енергоефективного будинку кубічна або сферична форма.

• Функціональне зонування будинку (розташування теплих приміщень ближче до південної частини будівлі, а господарські приміщення – на північну) (рис. 4).

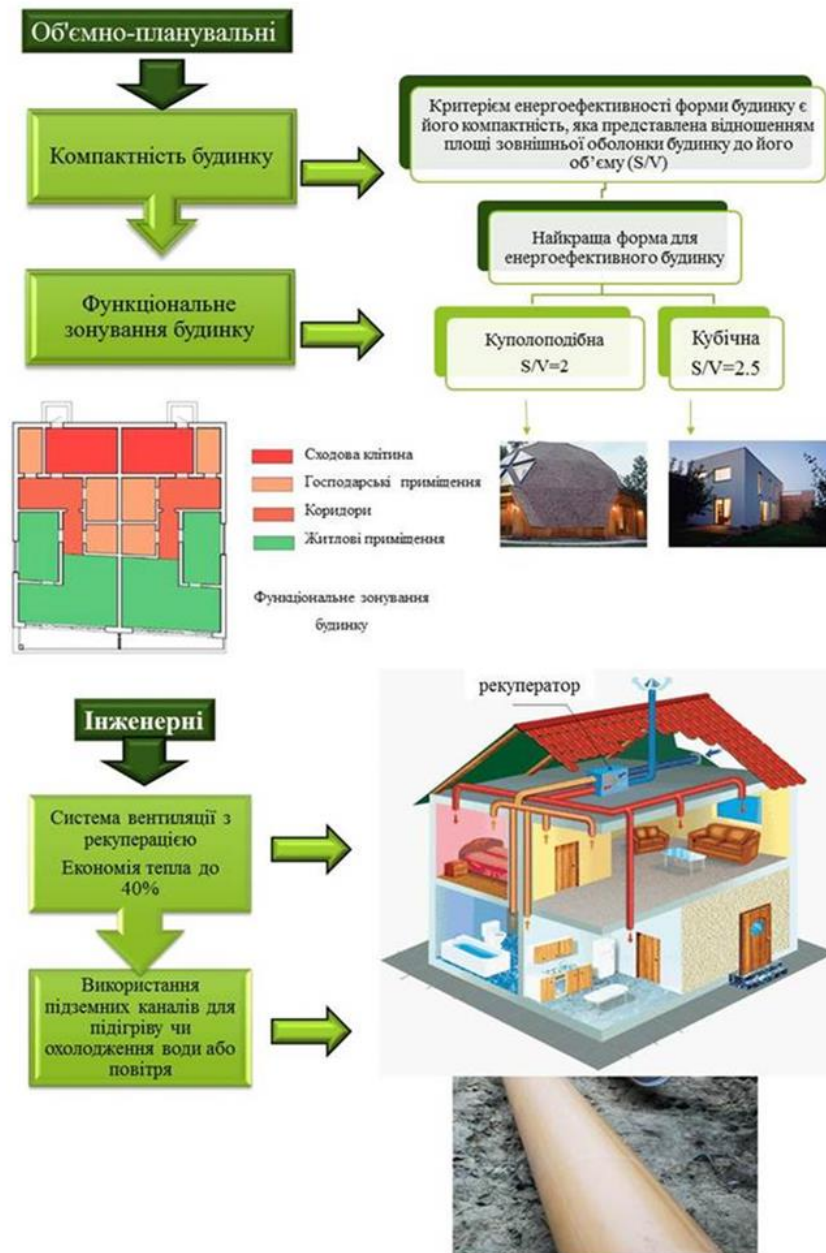


Рис. 4. Об'ємно-планувальні та інженерні методи енергомодернізації

Інженерні методи

Ці методи включають в себе застосування системи вентиляції з рекуперацією повітря (Рекуперація повітря – процес нагрівання холодного припливного повітря, що видаляється теплим витяжним. Тепле повітря в рекупераційному теплообміннику віддає більшу частину свого тепла припливному повітрю, таким чином тепле повітря не виходить

назовні без користі через відкрите вікно). А також прокладка підземних каналів для підігріву чи охолодження води або повітря (рис. 4).

Ізоляційні методи

До ізоляційних методів відноситься повне утеплення будинку, уникнення містків холоду: фундамент, стіни, дах, перекриття, віконні та дверні отвори (рис. 5).



Рис. 5. Конструктивні та ізоляційні методи енергомодернізації

Конструктивні методи

Вміщують наступні заходи (рис. 6):

- Відсутність світлопрозорих частин на північному фасаді будинку;
- Присутність світлопрозорих частин на південному фасаді будинку;
- Розташування сонячних систем на даху і не тільки.

Використовуючи всі ці методи можна уникнути значних втрат енергії:

- Утеплення огорожувальних конструкцій (стіни, даху, перекриття, перекриття над підвалом), не включаючи вікон – 15–25 %;
- Утеплення огорожувальних конструкцій (стіни, даху, перекриття, перекриття над підвалом), не включаючи вікон 10–15 %;
- Модернізація теплового пункту, включаючи регулювання через погодні умови та насосну циркуляцію 10–30 %;
- Комплексна модернізація внутрішньої системи центрального опалення, включаючи установку терморегуляторів на всіх опалюваль-

них приладах, теплоізоляцію трубопроводів 10–25 %.

Забезпечення найбільш максимально-ефективної економії теплової енергії до 80 % можна досягти за допомогою пасивного будинка.

Пасивний будинок – це найсучасніша та найефективніша форма енергоефективного будівництва у світі. Потреба в тепловій енергії такого будинку 15 кВт·год/м² за рік покривається за рахунок джерел сонячної та внутрішньої теплової енергії.

Зниження енерговитрат на експлуатацію будівель розглядається як за показниками енергетичного стану держави, так і за екологічними параметрами навколишнього середовища щодо викидів продуктів споживання палива. В умовах ринкової економіки держава має вплив на суб'єкти господарювання шляхом встановлення необхідних нормативних вимог безпеки до продукції, що пропонується. Пріоритетом розвинутої держави є енергетична безпека, тому вимоги до енергетичних характеристик будівель є обов'язковою складовою системи загальної безпеки будівельних об'єктів країни.

В Україні затверджена Галузева програма з енергоефективності у будівництві на 2010–2014 рр., де дається оцінка сучасного стану нормативного забезпечення будівельної галузі і, що найважливіше, її

відповідність сучасним вимогам ЄС. Проект закону України № 2118-VIII (далі – Закон № 2118) «Про енергетичну ефективність будівель» який набрав чинності від 23.07.2017 (рис. 6).



Рис. 6. Система чинних норм та стандартів у сфері енергоефективності будівель

Енергетична ефективність будівлі – властивість будівлі, що характеризується кількістю енергії, необхідної для створення належних умов проживання та/або життєдіяльності мешканців цієї будівлі.

Основною відмінністю вітчизняної нормативної бази від європейської для інженерних си-

стем будівель полягає у наступному: вітчизняні норми охоплюють проектування та будівництво, в той час як європейські мають ще вимоги з енергоефективності того чи іншого обладнання інженерної системи та інженерної системи в цілому (рис. 7).



Рис. 7. Порівняльний аналіз європейських та вітчизняних норм та стандартів у сфері енергоефективності будівель

На основі цих нормативних документів був зроблений енергетичний паспорт будинку. Енергетична паспортизація житлових та громадських будинків діє в Україні з 01.04.2007 р. після введення нормативних вимог ДБН В.2.6-31:2006 «Теплова ізоляція будівель». Складання енергетичного паспорта будинків до 2009 р. було факультативним. З 01.01.2009 р. енергетичний паспорт є обов'язковою

складовою проектною документацією для житлових та громадських будівель при новому будівництві та реконструкції.

Енергетичний паспорт будівлі (нім. Energieausweis) — виданий енергетичним аудитором (фірмою з енергетичного аудиту) документ, який містить енергетичні характеристики будівлі та заходи щодо їх удосконалення (рис. 8).

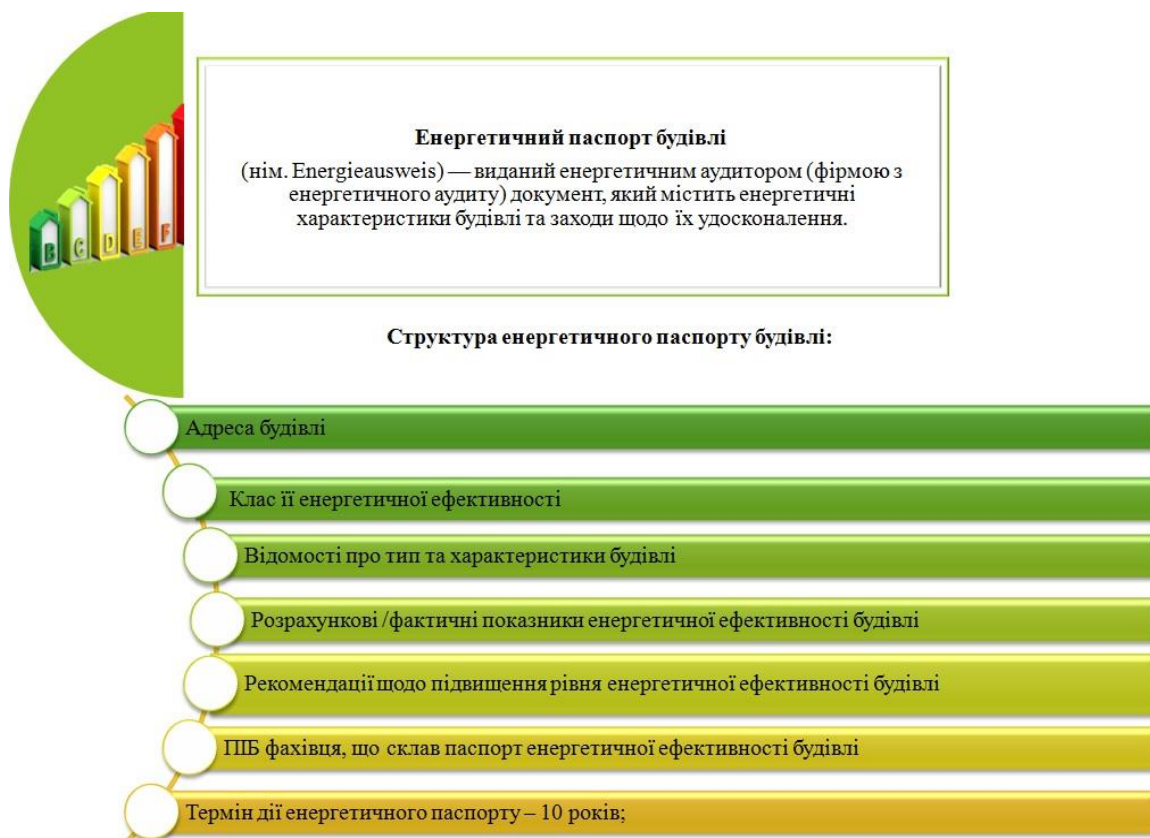


Рис. 8. Модель формування енергетичного паспорта будівлі.

5. Результати дослідження

Розробка енергетичної концепції проектування будівель та аналіз проблематики застосування енергомодернізації у будівництві знайшли своє відображення у дослідженні [11].

Впровадження даного дослідження здійснюється у м. Харкові – центральна частина міста (Московський район) (рис. 9).

Містобудівні умови. Загальна площа території: S=2,8 га.

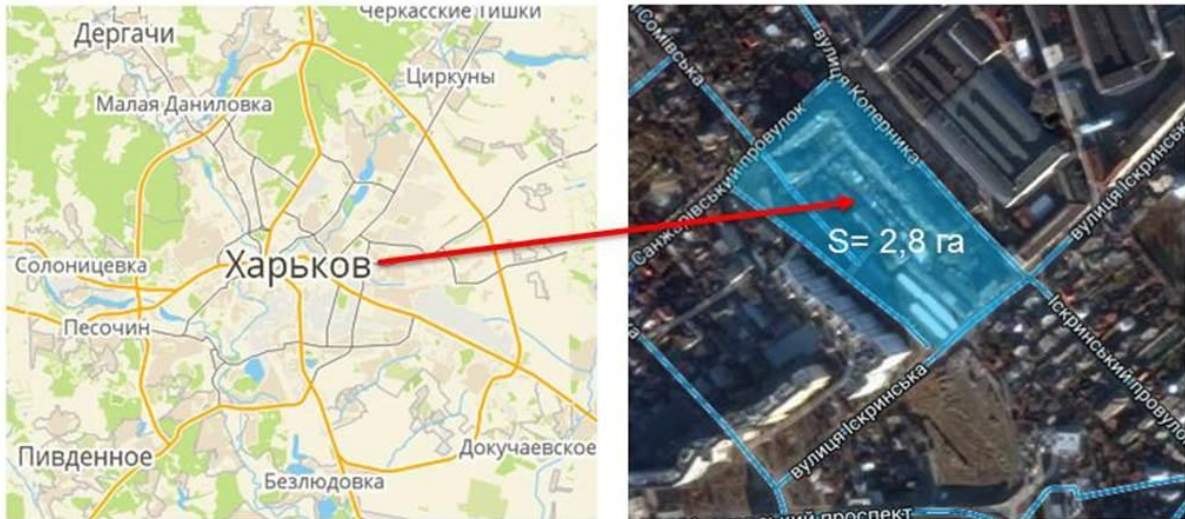
Планувальна структура кварталу – групова забудова.

На території кварталу знаходяться будівлі і споруди житлового та нежитлового фонду, поверховість: 1–10 поверхів.

Запропоновано звільнити територію від забудови з великим терміном зношеності.

Житлову будівлю зорієнтовано за напрямом північ – південь (рис. 10).

Ситуаційний план



**Опорний план
М 1:1000**

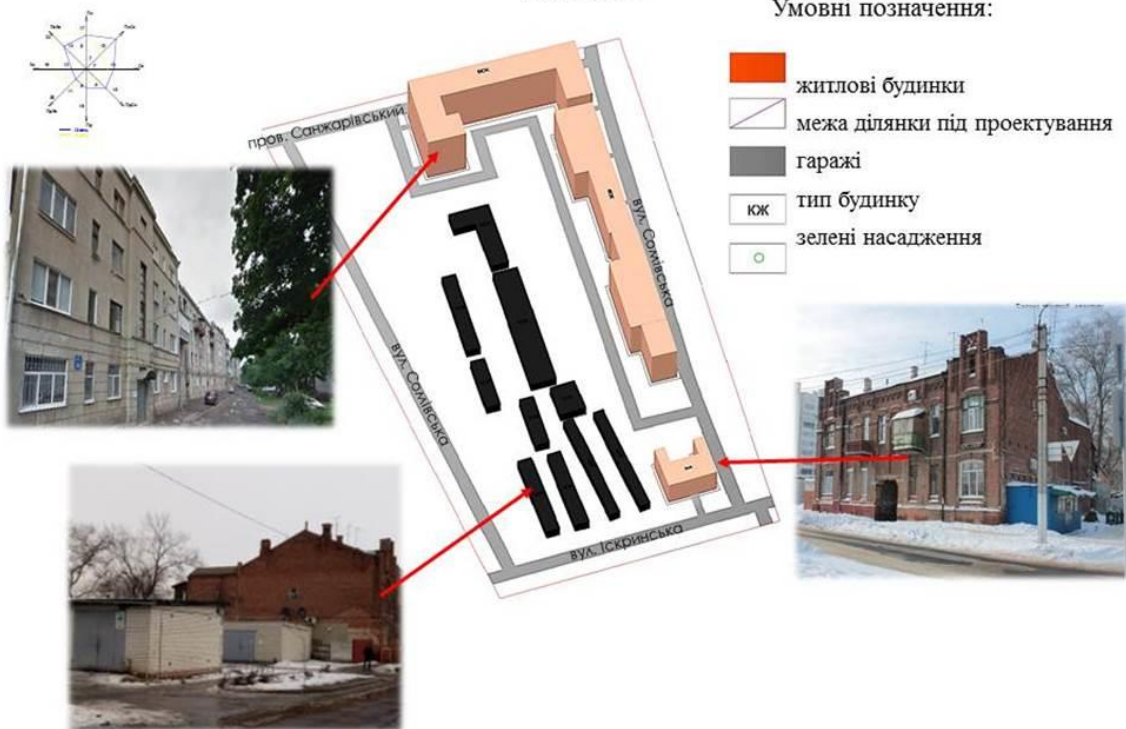


Рис. 9. Оцінка території під проектування «пасивного будинку»



Рис. 10. Містобудівні рішення

Архітектурне рішення розроблено відповідно вимогам ДБН В. 2.2-9–2009, пропорції будівлі приближені до квадрату із урахуванням компактності будівлі.

Ефективний (пасивний) засіб збереження тепла, отриманого від сонячної радіації та внутрішніх джерел тепла – встановлення масивних акумулюючих елементів будинку (внутрішній простір). 10-ти

поверховий енергоефективний будинок представляє собою каркасну односекційну 45-ти квартирну будівлю (рис. 11).

Південний фасад – стіна «Тромба-Мішеля», яка представляє собою стіну виготовлену із матеріалу, якому властива висока теплоємність, та має темний колір. За усіх параметрах відповідає стандарту Passive House.

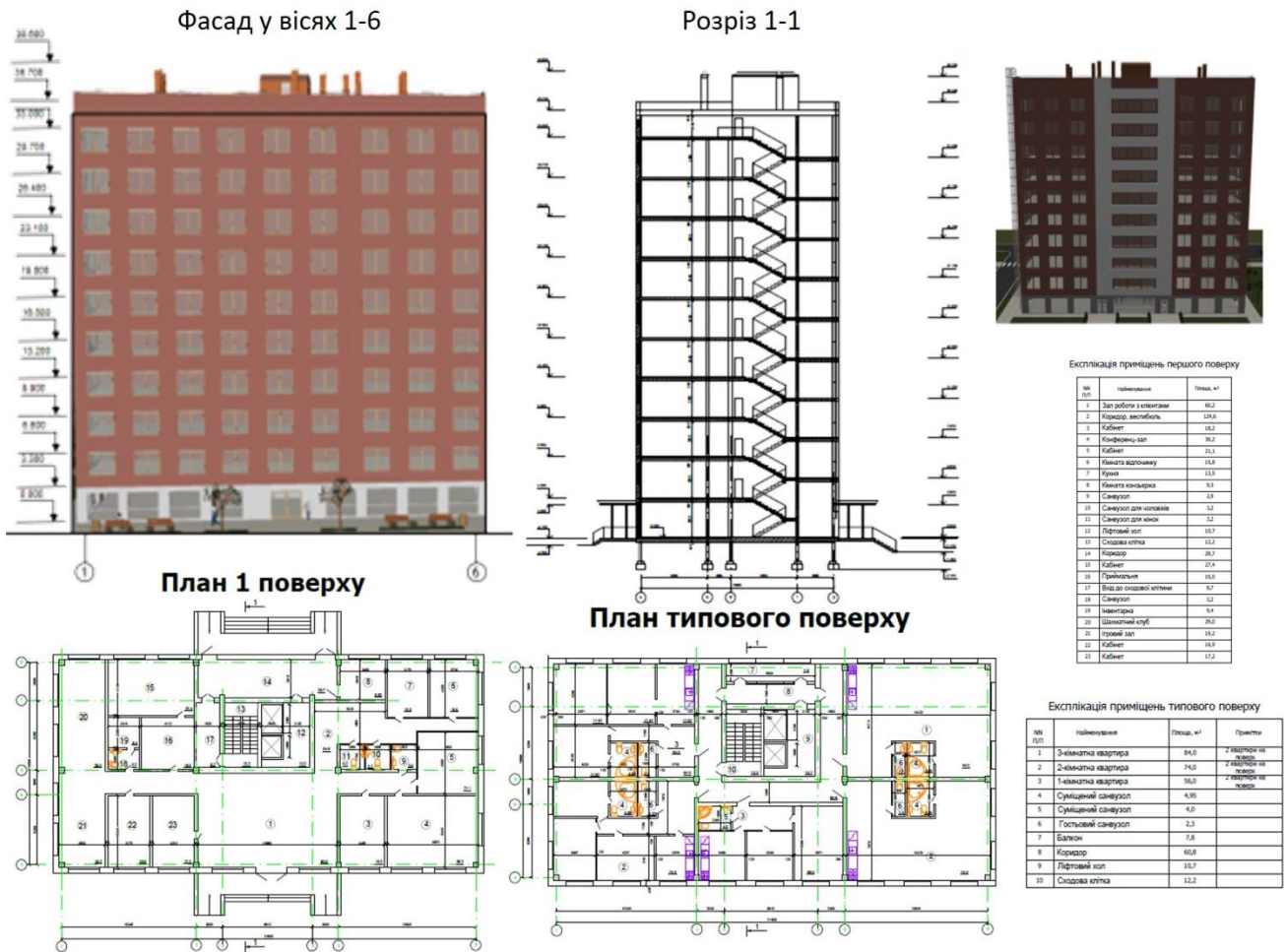


Рис. 11. Архітектурне рішення будинку Passive House

Теплотехнічний розрахунок огорожувальних конструкцій

Мета теплотехнічного розрахунку – визначення опору теплопередачі R_o , а також товщини утеплювача шару огороження, при якому в помешканнях будинку забезпечується заданий температурний режим з урахуванням потрібних економічних показників. Розрахунки виконуються з урахуванням вимог ДБН В.2.6-31: 2016 Теплова ізоляція будівель.

Для теплотехнічного розрахунку обрано схему багат шарової конструкції зовнішньої стіни (рис. 12), та основні теплофізичні показники будівельних матеріалів (табл. 2), які мають бути застосовані при проектуванні енергоефективної житлової будівлі.

Вихідні дані (м. Харків):

- t – розрахункова зимова температура найбільш холодної п'ятиденки забезпеченістю 0,92; $t = -23$ °C;
- t_2 – розрахункова температура найбільш холодних діб забезпеченістю 0,92; $t_2 = -28$ °C;
- t_3 – середня температура найбільш холодних 3-х діб; $t_3 = -11$ °C.

Середня швидкість вітру 6,1 м/с.
Зона вологості – суха.

Кількість градусів/дів опалювального періоду – 3799.

Температурна зона по карті температурного зонування України – I.

Вологісний режим у приміщеннях житлового будинку – нормальний

($\varphi = 50-60$ %), тому за ДБН В.2.6-31: 2006 приймаємо умови експлуатації об'єкта – А.

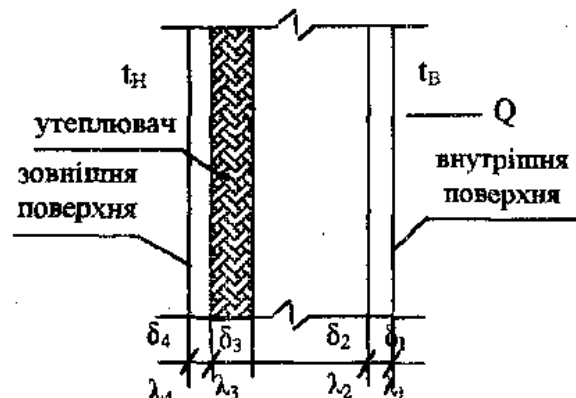


Рис. 12. Конструкція зовнішньої стіни

Таблиця 2

Теплофізичні показники будівельних матеріалів

δ_1 – зовнішня стіна з керамічної цегли	$\gamma=1800 \text{ кг/м}^3$	$\delta=0,42 \text{ м}$	$\lambda=0,7 \text{ Вт/м}^\circ\text{C}$	$S=9,2 \text{ Вт/м}^2\text{C}$
δ_2 – вапняно-піщана штукатурка	$\gamma=1600 \text{ кг/м}^3$		$\lambda=0,70 \text{ Вт/м}^\circ\text{C}$	$S=8,69 \text{ Вт/м}^2\text{C}$
δ_3 – утеплювач з пінополістирольних плит	$\gamma=1600 \text{ кг / м}^3$	$\delta=0,01 \text{ м}$	$\lambda=0,05 \text{ Вт/м}^\circ\text{C}$	$S=0,89 \text{ Вт/м}^2\text{C}$
δ_4 – зовнішня вапняно-піщана штукатурка	$\gamma=1800 \text{ кг/м}^3$	$\delta=0,01 \text{ м}$	$\lambda=0,76 \text{ Вт/м}^\circ\text{C}$	$S=9,60 \text{ Вт/м}^2\text{C}$

Відповідно із вимогами ДБН В.2.6-31: 2016 «Теплова ізоляція будівель» [12] для перевірки виконання санітарно-гігієнічних вимог розраховуємо необхідний опір теплопередачі за формулою:

$$R_{cm}^{np} = \frac{(t_{вн} \cdot t_{зп})}{\Delta t^H \cdot \alpha_e} \cdot n \quad (1)$$

де $t_{вн}$ – характерна температура опалювального приміщення, приймаємо 18°C ;

$t_{зп}$ – температура зовнішнього повітря найбільш холодної п'ятиденки, 0°C , яка приймається за ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010 [13];

n – коефіцієнт, що приймається в залежності від положення зовнішньої поверхні огорожі по відношенню до зовнішнього повітря, $n=1$ (згідно за ДБН В.2.6-31: 2006);

Δt – нормативний температурний перепад між температурою внутрішнього повітря і температурою внутрішньої поверхні огорожі; для стін житлових будинків $\Delta t=6^\circ\text{C}$;

α – коефіцієнт тепловіддачі на внутрішній поверхні стін, $\alpha=8,7 \text{ Вт/м}^2 \cdot ^\circ\text{C}$.

$$R_0^{np} = \frac{18 \cdot (-23)}{6 \cdot 8,7} \cdot 1 = 0,61 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C} / \text{Вт} \quad (2)$$

Дійсний опір теплопередачі зовнішньої стіни визначається за формулою:

$$R_0 = R_e + R_1 + R_2 + R_n, \text{ (м}^2 \cdot ^\circ\text{C/Вт)} \text{ або}$$

$$R_0 = \frac{1}{\alpha_e} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{1}{\alpha_n}$$

(3)

де α – коефіцієнт тепловіддачі із зовнішньої поверхні стіни, $\alpha = 23 \text{ Вт / м}^2 \cdot ^\circ\text{C}$.

$$0,61 = \frac{1}{8,7} + \frac{x}{0,7} + \frac{0,01}{0,76} + \frac{1}{23} \cdot \delta_2 = 0,397 \text{ м} \quad (4)$$

Збільшуємо з конструктивних міркувань товщину стіни із глиняної цегли до стандартних розмірів $0,51 \text{ м}$ і перераховуємо значення R :

$$R_0 = 0,114 + 0,03 + 0,51/0,76 + 0,043 = 0,887 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C/Вт} \quad (5)$$

Нормативне значення теплопередачі для зовнішніх стін при реконструкції для I зони $R_{норм} = 2,2 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C/Вт}$.

Оскільки значення $R < R_{норм}$, необхідно виконати утеплення стіни. Приймаємо зовнішнє утеплення з пінополістиролу і визначаємо його товщину $\delta_{ут} = 0,110 \text{ м}$. Підібрано найбільш раціональні варіанти конструкції стіни щодо підвищення енергоефективності будівель відповідно європейським розробкам [14].

$$R_0 = \frac{0,884 + 0,110}{0,05} = 2,204 \text{ (м}^2 \cdot ^\circ\text{C/Вт)};$$

$$\text{тоді } K_{ст} = 1/R = 0,53 \text{ Вт/м}^2 \cdot ^\circ\text{C} \quad (6)$$

Додатково спираючись на моделювання теплового комфорту в будівлях, у тому числі на європейський досвід [15], було проведено тепловізорну зйомку будинку щодо контролю тепловтрат (рис. 13).

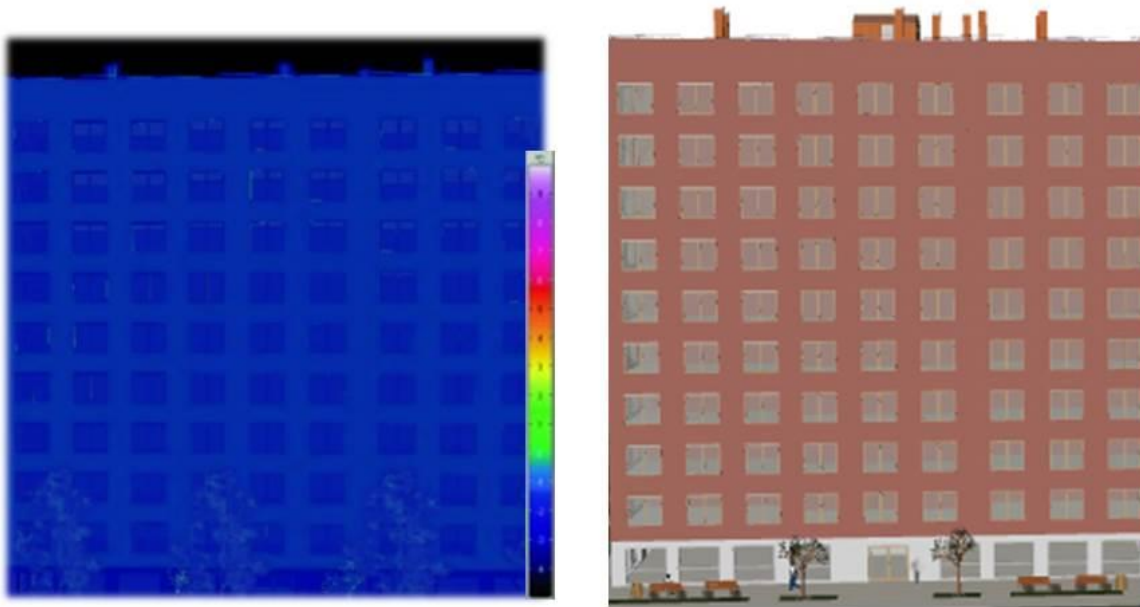
Тепловізорна зйомка дозволяє виконати оцінку теплоізоляційних властивостей огорожувальних конструкцій. Колір фасаду свідчить що утеплення будинку виконано без містків холоду. Місток холоду – це елемент або частина основної конструкції, який пропускає через себе холод.

Тепловізор – це прилад, що зчитує температуру поверхні будь-якого об'єкта і перетворює температурну карту в інфрачервоний спектр, візуально доступний для людини. Під час проведення обстеження проводиться термографічна зйомка всіх огорожувальних конструкцій будівлі. На підставі отриманих знімків і будується картина стану теплоізоляції обстежуваного об'єкту.

Тепловізорні вимірювання зовнішніх огорожувальних конструкцій будівель проводяться при температурному перепаді в приміщенні і зовнішнього повітря не менше 10°C , тобто рекомендований перепад температур на вулиці і всередині об'єкта, який обстежується, – від 15°C . Найбільш точні дані отримують при проведенні процедури в холодні місяці осені, весни і взимку.

На фотографії, зробленій тепловізором, червоний колір означає витік тепла і неякісно утеплені конструкції. Синій же колір показує відсутність витоку тепла і, відповідно, надійно утеплені конструкції (рис. 9).

10-ти поверховий енергоефективний будинок по всім параметрам відповідає стандарту Passive House (рис. 14).



Зовнішня поверхня у пасивного будинку холодна (синій колір, близько 5 ° C)

Південний фасад будинку

Рис. 13. Тепловізорна зйомка південного фасаду будинку



Основні характеристики об'єкту

- Місцезнаходження – м. Харків, вул. Істринська, буд. 31;
- Кількість поверхів – 10;
- Кількість квартир – 45;
- (у тому числі: 1 кімн. – 9; 2-кімн. – 18; 3-кімнатних -18);
- Загальна площа – 3766,0 м²



Ефективна теплоізоляція зовнішніх огорожувальних конструкцій

- Використання в зовнішніх огорожувальних конструкціях ефективних теплоізоляційних матеріалів.
- Утеплення цокольного перекриття.
- Утеплення перекриття даху



Ефективна інженерна система

- Система припливно-втяжної вентиляції з рекуперацією тепла.
- Оснащення сонячними панелями

- Використання ефективних світлопрозорих огорожень

Проведений аналіз на відповідність стандарту «Passivhaus»:
 Отримане значення питомих річних витрат первинної енергії склало **117,4 кВт·ч/м2/год** виявилось нижче норми **120 кВт·ч/м2/год.**
 Вартість будинку - **18млн.грн.** Окупність будинку - **11років**

Рис. 14. Основні результати дослідження

6. Висновки

1. За допомогою методів енергомодернізації будинків та застосування сучасного обладнання, можливо значною мірою економити енергетичні витрати.
2. В архітектурних проектах житлових будівель, доцільно використовувати сучасні, інно-

ваційні, будівельні та оздоблювальні матеріали, яким властиві такі якості: акумулювання, поглинання та збереження тепла.

3. Пасивний будинок є одним з найяскравіших прикладів енергоефективних будинків, головною властивістю якого є достатньо низькі експлуатаційні витрати.

Література

1. Державна служба статистики України. URL: <http://ukrstat.gov.ua>
2. Бараннік В. О. Енергоефективність України – чи досяжні поставлені стратегічні цілі? // Сталый розвиток територій: проблеми та шляхи вирішення: матеріали II міжнар. наук.-практ. конф. Дніпро, 2016. С. 4–9.
3. Термомодернізація житлового фонду: організаційний, юридичний, соціальний, фінансовий і технічний аспекти: практ. пос. вид. 2-ге. Львів, 2014. 240 с.
4. Советников Д. О. Строительство здания, отвечающего стандартам пассивного дома // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2014. № 9. С. 11–25.
5. Корниенко С. В. Опыт проектирования и строительства энергоэффективных зданий в г. Волгограде // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2013. № 9. С. 21–33.
6. Шойхет Б. М. Концепция энергоэффективного здания. Европейский опыт // Энергосбережение. 2007. № 7. С. 62–65.
7. Табунщиков Ю. А., Наумов А. Л. Энергоэффективность в строительстве. Гармонизация отечественной нормативной базы // АВОК: Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика. 2012. Т. 6, № 6. С. 4–9.
8. Савин В. К., Савина Н. В. Архитектура и энергоэффективность зданий // Градостроительство. 2013. № 1. С. 82–84.
9. Воронін А. В. Досвід країн Євросоюзу в галузі технічного нормування теплового захисту будівель і споруд // Технології будівництва. 2007. № 4. С. 75.
10. Региональная экономика: учебник для вузов / Морозова Т. Г. и др.; под ред. Т. Г. Морозовой. 2-е изд., и доп. М.: ЮНИТИ, 2006. 472 с.
11. ДБН В.2.6-31: 2006. Теплова ізоляція будівель. Київ: Мінрегіонбуд України, 2006. 71 с.
12. Практика інноваційних розробок у сфері територіально-просторового розвитку міст і регіонів: монографія / під заг. ред. В. Т. Семенова, І. Е. Линник // Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків: ХНУМГ ім. О.М. Бекетова, 2016. 286 с.
13. ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010. Будівельна кліматологія. Київ: Мінрегіонбуд України, 2011. 123 с.
14. Passive design strategies and performance of Net Energy Plus Houses / Rodriguez-Ubinas, E. et. al. // Energy and Buildings. 2014. Vol. 83. P. 10–22. doi: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.03.074>
15. Cheng Y., Niu J., Gao N. Thermal comfort models: A review and numerical investigation // Building and Environment. 2012. Vol. 47. P. 13–22. doi: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2011.05.011>

*Рекомендовано до публікації д-р техн. наук, професор Линник І. Е.
Дата надходження рукопису 06.11.2018*

Апатенко Тетяна Миколаївна, старший викладач, кафедра міського будівництва, Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, вул. Маршала Бажанова, 17, м. Харків, Україна, 61002
E-mail: tapochka.ua@ukr.net

Безлюбченко Олена Степанівна, кандидат технічних наук, доцент, кафедра міського будівництва, Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, вул. Маршала Бажанова, 17, м. Харків, Україна, 61002
E-mail: elen4iksokol@gmail.com

Завальний Олександр В'ячеславович, кандидат технічних наук, доцент, кафедра міського будівництва, Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, вул. Маршала Бажанова, 17, м. Харків, Україна, 61002
E-mail: azavalniy@i.ua