

М.А. Саницький, У.Д. Марущак, М.П. Москвитин, Р. Секрет, М. Вуйцікевич  
Національний університет “Львівська політехніка”,  
кафедра будівельного виробництва  
Технічний університет “Політехніка Ченстоховська”,

## ЕНЕРГЕТИЧНІ ПОКАЗНИКИ БУДИНКІВ ІНДИВІДУАЛЬНОЇ ЗАБУДОВИ

© Саницький М.А., Марущак У.Д., Москвитин М.П., Секрет Р., Вуйцікевич М., 2012

**Проаналізовано споживання енергії в індивідуальному будинку. Проведено оптимізацію теплотехнічних параметрів огорожувальних конструкцій будинку для забезпечення енергетичних показників енергоефективного будинку. На основі енергетично-екологічного аналізу будинку методом математичного моделювання запропоновано систему оцінювання впливу будинків на довкілля.**

**Ключові слова:** питома витрата теплоти, енергоефективність, термомодернізація, первинна енергія, кінцева енергія.

**In this paper the energy consumption of reference detached house is analyzed. The optimization of heat transmittance of building envelope is carried out in order to provide energy performance for energy effective houses. The building environmental assessment system is proposed on the base of energetic and ecological analysis of house by means of mathematical modelling methods.**

**Key words:** specific energy consumption, energy efficiency, thermomodernization, energy effectiveness, primary energy, final energy.

**Вступ.** У структурі енергоспоживання України понад 40 % енергоносіїв використовується в житлово-комунальному секторі на потреби систем забезпечення оптимального мікроклімату. Емісія всіх парникових газів становить близько 35 %. Більша частина енергії призначається для обігрівання приміщень і приготування гарячої води для побутових потреб. Питоме енергоспоживання на опалення, що є основною енергетичною характеристикою, будинків житлового фонду країни досягає 200–300 кВт·год/(м<sup>2</sup>·рік). Особливо гостро стоїть проблема енергоощадження для будинків індивідуальної забудови, у яких питоме енергоспоживання може становити понад 400 кВт·год/(м<sup>2</sup>·рік). Водночас у напрямку енергоощадного будівництва використовуються так звані інтелегентні технології, зокрема технології пасивного будинку та будинків з нульовим споживанням енергії, що забезпечують високий рівень теплового комфорту та низькі експлуатаційні витрати.

**Постановка проблеми.** Близько 50 % житлового фонду України становлять будинки індивідуальної забудови [1]. Значна частка індивідуального житла припадає на сільську місцевість, проте і такі історичні міста як Львів мають цілі мікрорайони, забудовані індивідуальним житлом. Спорудження індивідуальних будинків в останні роки набули активного розвитку, що зумовлено можливістю забезпечення пластичності і різноманітності архітектурних форм, композиційних рішень, індивідуальної виразності будинків, врахування особливих бажань і потреб їхніх власників. У 2009 р. частка введеного в експлуатацію житла індивідуальними забудовниками становила 35,7 %. На Львівщині у 2010 р. введено в експлуатацію індивідуальних будинків 46 % від загальної площі. Водночас майже 79,2 % індивідуальних будинків побудовано у період 40–80-х років минулого століття, які застаріли як фізично, так і морально, і не відповідають сучасним вимогам комфортності та енергоефективності, а будівництво нових будинків, які не відповідають нормативним вимогам, ще більше загострює проблему неефективного використання невідновлювальних джерел енергії. У зв'язку з цим, величезні резерви енергозбереження в житлово-комунальному секторі можуть бути реалізовані за допомогою утеплення огорожувальних

конструкцій, модернізації систем тепlopостачання, використання рекуператорів тепла та відновлювальних джерел енергії.

**Аналіз останніх джерел і публікацій.** Одним із найважливіших видів діяльності ЄС є енергетична політика, реалізація якої базується на принципах збалансованого розвитку [2, 3]. Критерії сталого розвитку будівництва передбачають створення технічних основ, що дають можливість розробки потенційних інструментів для впровадження дієвих заходів для покращення енергетичної ефективності згідно з вимогами до охорони довкілля та з урахуванням особливостей повного циклу життя виробів та об'єктів.

Для повнішого використання потенціалу енергозбереження у 2002 р. прийнято директиву 2002/91/WE EPBD (*Energy Performance of Buildings Directive*). У 2010 р. Парламент ЄС ухвалив зміни в Директиві 2010/31/EU, що стосуються енергетичної характеристики будинків, згідно з якими вже у 2021 році на територіях Європейського Союзу мають зводитись тільки будинки з дуже низькою потребою в енергії (nearly zero energy building – nZEB), в яких частково буде використано відновлювальні джерела енергії [2–5].

Для впровадження будівельних нормативів з підвищення енергоефективності будівель необхідне розроблення національної програми енергозбереження за допомогою термомодернізації, створення системи енергетичного аудиту та енергетичного паспорта будинків [6, 7]. З метою забезпечення раціонального використання енергетичних ресурсів на обігрівання, забезпечення нормативних санітарно-гігієнічних параметрів мікроклімату приміщень, довговічності огорожувальних конструкцій під час експлуатації будинків та споруд в Україні введено ДБН В.2.6-31:2006 „Теплова ізоляція будівель”, які встановлюють вимоги до теплотехнічних показників огорожувальних конструкцій будинків і споруд, порядку їх розрахунку та необхідність складання енергетичного паспорта з присвоєнням будинкам класу енергетичної ефективності.

Порядок розроблення енергетичного паспорта під час проектування нового будівництва, реконструкції, капітального ремонту та проведення енергетичного обстеження будинків встановлений ДСТУ-Н Б А.2.2-5:2007 [8]. Згідно з цим документом основним енергетичним показником, за яким визначається клас енергетичної ефективності, є питомі тепловитрати на опалення будинку за опалювальний період  $q_{\text{буд}}$  [кВт·год/(м<sup>2</sup>рік)]. Крім того, енергетичну ефективність будівель визначає середня кратність повітрообміну, а також коефіцієнт скління фасадів та показник компактності будинку.

Реалізація конструктивних принципів економії енергії згідно з положеннями ДБН В.1.2-11:2008 та підвищення енергоефективності житлового фонду досягається за рахунок впровадження енергоощаджувальних заходів за допомогою утеплення огорожувальних конструкцій будівель, зокрема застосування конструкцій зовнішніх стін з фасадною теплоізоляцією, та модернізації систем тепlopостачання [6, 7, 9]. У такому разі термомодернізація огорожувальних конструкцій є першочерговою, оскільки після здійснення термосанаційних заходів зменшується потреба тепла на опалювання приміщень, що потребує модернізації систем опалювання.

**Мета роботи** – оцінити енергоспоживання індивідуального будинку та визначити ефективність заходів для підвищення енергетичних показників, що відповідають вимогам для енергоощадних та низькоенергетичних (пасивних) будинків.

**Об'єкт та методика досліджень. Функціональне призначення, тип і конструктивні рішення будинку:** індивідуальний житловий двоповерховий будинок з мансардою. Загальна висота будинку 9,590 м. Розріз будинку та план першого поверху наведено на рис. 1.

Конструктивна схема будинку – поздовжні цегляні несучі стіни із монолітним перекриттям та стрічковими фундаментами. Зовнішні стіни будинку завтовшки 380 мм виконані з пустотілої цегли. Мансардний поверх утеплений мінераловатним утеплювачем завтовшки 150 мм. Дах шатровий двосхилий, конструкції дерев'яні, покрівля з металочерепиці. Світлопрозорі конструкції (вікна) з однокамерних склопакетів з варіантом скління 4-16-4 і заповнені повітрям. У будинку передбачене газове опалення.

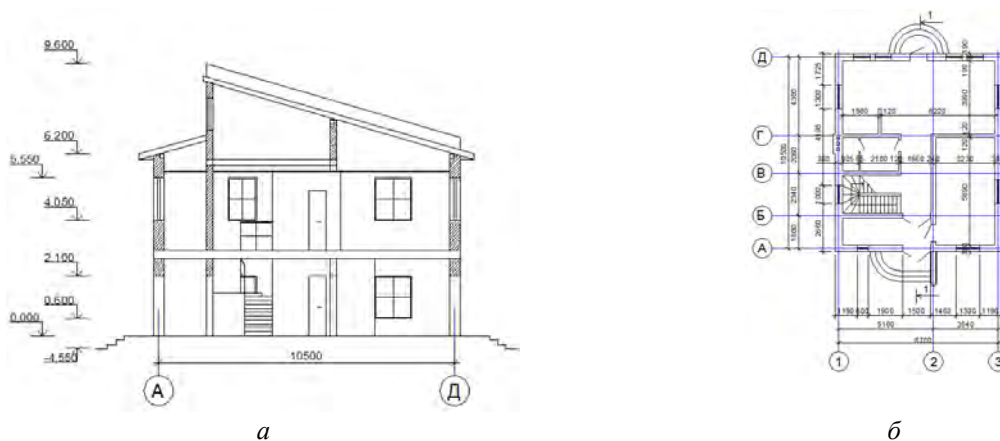


Рис. 1. Розріз А-Д (а) та план першого поверху (б) індивідуального будинку-репрезентанта

**Геометричні показники.** Площі зовнішніх огорожувальних конструкцій, опалювальна площа, площа житлових приміщень та кухонь, опалювальний об'єм, а також форма, тип та орієнтація будівлі, необхідні для розрахунку енергетичного паспорту, визначаються на основі проектних даних згідно з ДСТУ-Н Б А.2.2-5:2007.

Основні об'ємно-планувальні показники:

- опалювальна площа будівлі –  $F_h = 232 \text{ м}^2$ ;
- житлова площа –  $F_{ж} = 131 \text{ м}^2$ ;
- опалювальний об'єм будинку –  $V_h = 735 \text{ м}^3$ ;
- загальна площа зовнішніх огорожувальних конструкцій –  $F_{\Sigma} = 412 \text{ м}^2$ ;
- загальна площа зовнішніх непрозорих стінових огорожувальних конструкцій –  $F_{нп} = 188 \text{ м}^2$ ;
- загальна площа зовнішніх світлопрозорих огорожувальних конструкцій –  $F_{сп.в} = 33,5 \text{ м}^2$ ;
- загальна площа входних дверей –  $F_d = 5 \text{ м}^2$ ;
- загальна площа шатрового двосхилого даху –  $F_{дах} = 108 \text{ м}^2$ ;
- загальна площа підлоги по ґрунту –  $F_{ц} = 77 \text{ м}^2$ .

**Розрахункові параметри клімату місця будівництва.** Для житлових будинків розрахункова температура внутрішнього повітря  $t_b = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ , розрахункова температура зовнішнього повітря для умов м. Львова –  $t_s = -20 \text{ }^\circ\text{C}$ . Кількість градусо-днів опалювального періоду для II температурної зони за ДБН В.2.6-31:2006  $D_d = 3250 \text{ }^\circ\text{C}\cdot\text{дб}$ . Тривалість опалювального періоду згідно з СНиП 2.01.01-82 для м. Львова становить  $Z_{оп} = 179 \text{ дб}$ , середня температура зовнішнього повітря за опалювальний період  $t_{оп з} = 0 \text{ }^\circ\text{C}$ .

**Методика 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”. Порядок розрахунків основних теплотехнічних показників огорожувальних конструкцій для підтвердження їх відповідності для енергоощадних будинків здійснювався за ДБН В.2.6-31:2006 “Теплова ізоляція будівель”. Проектування теплоізоляційної оболонки зовнішніх стін проводили згідно з ДБН В.2.6-33:2008 та ДСТУ Б В.2.6-33:2008.

Щоб оптимізувати теплотехнічні характеристики зовнішніх стін та світлопрозорих конструкцій індивідуального будинку та покращити енергетичні та екологічні показники, проведено математичне планування.

**Результати досліджень.** Основними теплотехнічними показниками огорожувальних конструкцій, від яких залежить величина втрат теплоти в зимовий період, є термічний опір, наведений опір теплопередачі, коефіцієнт теплопередачі. Згідно з ДБН В.2.6-31:2006 приведені опори теплопередачі зовнішніх стін  $R_{\Sigma np} = 0,79 \text{ (м}^2\cdot\text{К)/Вт}$  та вікон  $R_{\Sigma np} = 0,37 \text{ (м}^2\cdot\text{К)/Вт}$  є меншими,

ніж мінімально допустимі значення опорів теплопередачі для II температурної зони, що потребує термомодернізаційних заходів.

З метою зниження трансмісійних тепловтрат через стінові огорожувальні конструкції використано систему фасадної теплоізоляції з опорядженням штукатурками. Треба зазначити, що зі збільшенням товщини теплоізоляційного шару [пінополістирол з  $\lambda=0,038$  Вт/(м·К)] відбувається лінійне зростання приведенного опору теплопередачі зовнішніх стін індивідуального будинку. Мінімальна товщина теплоізоляційного шару для забезпечення нормативного значення опору теплопередачі для II температурної зони  $R_{qmin}=2,5$  м<sup>2</sup>·К/Вт дорівнює 0,10 м.

Водночас теплові втрати через огорожувальні конструкції будівлі характеризуються значенням коефіцієнта теплопередачі  $U$ . Чим більший коефіцієнт теплопередачі зовнішнього огороження, тим значніші втрати тепла через його поверхню, а високе значення опору теплопередачі свідчить про ефективну теплоізоляцію. Якщо товщина теплоізоляційного шару зростає до 0,10 м, величина  $U$  знижується від 1,27 до 0,29 Вт/(м<sup>2</sup>·К), тобто тепловтрати зменшуються в чотири рази. Зі збільшенням товщини теплоізоляційного шару до 0,20 м коефіцієнт теплопередачі зовнішньої стіни знижується тільки до 0,17 Вт/(м<sup>2</sup>·К) або лише в 1,7 рази. Це свідчить про доцільність проведення термомодернізації з урахуванням вартості енергоносіїв та будівельних матеріалів, що дасть змогу визначити терміни окупності капіталовкладень.

Конструкція зовнішніх стін індивідуального будинку з фасадною теплоізоляцією та опорядженням штукатурками А.2.1.1-П038-100-КД-ДСТУ Б В. 2.6-36: 2008 відповідає санітарно-гігієнічним вимогам ( $\Delta t_{пр} < \Delta t_{ср}$ ), умовам теплостійкості ( $\tau_{вmin} > t_{min}$ ) за розрахункових умов зовнішнього повітря та умови сприятливого вологісного режиму ( $\Delta w \leq \Delta w_d$ ) для розрахункового місяця – січня.

Основним енергетичним показником будинку, що визначає його енергоефективність, є значення питомих тепловитрат на опалення будинку –  $q_{буд}$ . Залежно від  $q_{буд}$  і нормативних максимальних тепловитрат малоповерхових будинків  $E_{max}$  визначають клас енергетичної ефективності. Зважаючи на визначену в Україні пріоритетність урахування умов холодної пори року, критерієм оцінки енергоефективності є зменшення тепловитрат на опалення. Тому питомі тепловитрати будинку до термомодернізації визначали на основі теплового балансу будинку у зимовий період з урахуванням статей втрат теплоти (трансмісійні втрати – тепло, що втрачається через зовнішні огорожувальні конструкції, та інфільтраційні втрати – тепло, що витрачається на підігрівання інфільтраційного повітря) і статей надходження тепла (побутові надходження від людей та електроприладів, що працюють, надходження сонячної радіації за опалювальний період).

Згідно з настановами ДСТУ-Н Б А.2.2-5:2007 питомі тепловитрати на опалення  $q_{буд} = 176,7$  кВт·год/(м<sup>2</sup>·рік), у такому разі  $[(q_{буд} - E_{max})/E_{max}] \cdot 100\% = 50\%$ , що дає змогу зарахувати аналізований індивідуальний будинок до класу енергетичної ефективності “Е”. Для цього будинку необхідно розробити заходи щодо підвищення його енергоефективності з доведенням до класу не нижче “С”.

Основні втрати тепла у зимовий період в індивідуальному будинку відбуваються через стіни з огляду на їх низький опір теплопередачі та значну площу теплообміну та вікна у зв'язку зі значною теплопередачею, зумовлену низьким опором теплопередачі світлопрозорих конструкцій, та інфільтрацією зовнішнього повітря через нещільності. Щоб оптимізувати теплотехнічні параметри стінових та світлопрозорих конструкцій індивідуального будинку за критерієм енергоефективності, забезпечити необхідні санітарно-гігієнічні умови у зимовий період та зекономити паливно-енергетичні ресурси, проведено математичне планування, змінними факторами якого прийнято товщину теплоізоляційного шару з пінополістиролу під час утеплення зовнішніх стін ( $\delta_{із} = 0; 10; 20$  см) та коефіцієнт теплопередачі вікон [ $U_{вік} = 2,7; 1,7; 0,7$  Вт/(м<sup>2</sup>·К)]. Під час цього розв'язали задачі планування багатofакторного експерименту для встановлення залежностей між енергетичними показниками (питомі тепловитрати –  $q_{буд}$ , питома потреба в теплі на опалення –  $q_{рік}$ , потреба в теплі на опалення всього будинку –  $Q_{рік}$ , екологічним показником (емісія CO<sub>2</sub>) індивідуального будинку та теплофізичними властивостями його огорожувальних конструкцій).

Розрахунок енергетичних показників для будинку із гравітаційною системою вентиляції зі змінними параметрами проведений згідно з ДБН В.2.6-31:2006 та ДСТУ-Н Б А.2.2-5:2007 (табл. 1).

За комплексного підходу до енергосанації огорожувальних конструкцій (стіни та вікна) можливе забезпечення енергетичних показників, що відповідають вимогам енергоощадних будинків за таких змінних параметрів:

- 1)  $\delta_{із} = 10$  см і  $U_{вік} = 0,7$  Вт/(м<sup>2</sup>·К) [ $q_{буд} = 70,53$  кВт·год/(м<sup>2</sup>·рік)];
- 2)  $\delta_{із} = 20$  см і  $U_{вік} = 1,7$  Вт/(м<sup>2</sup>·К) [ $q_{буд} = 75,16$  кВт·год/(м<sup>2</sup>·рік)];
- 3)  $\delta_{із} = 20$  см і  $U_{вік} = 0,7$  Вт/(м<sup>2</sup>·К) [ $q_{буд} = 61,09$  кВт·год/(м<sup>2</sup>·рік)].

Таблиця 1

### Енергетично-екологічні показники будинку із гравітаційною системою вентиляції

$\delta_{із}$ , см	$U_{вік}$ , Вт/(м <sup>2</sup> ·К)	Енергетичні показники			Екологічний показник
		$Q_{буд}$ , кВт·год/(м <sup>2</sup> ·рік)	$Q_{рік}$ , МДж/(м <sup>2</sup> ·рік)	$Q_{рік}$ , ГДж/рік	Емісія CO <sub>2</sub> , м <sup>3</sup> /рік
0	2,7	176,67	603,61	140	1877
0	1,7	161,14	580,10	135	1804
0	0,7	148,34	534,02	124	1661
10	2,7	99,47	358,09	83	1113
10	1,7	85,24	306,86	71	954
10	0,7	70,53	253,91	59	790
20	2,7	89,33	321,59	75	1000
20	1,7	75,16	270,58	63	842
20	0,7	61,09	219,92	51	684

Будинки, що характеризуються такими енергетичними показниками, належать до класу енергетичної ефективності “В”, в яких забезпечуються раціональне використання енергетичних ресурсів на опалення приміщень, нормативні показники санітарно-гігієнічних параметрів мікроклімату приміщень та довговічність огорожувальних конструкцій під час експлуатації. Тоді як влаштування максимальної товщини теплоізоляційного шару зовнішніх непрозорих огорожувальних конструкцій (20 см) або тільки заміна вікон на енергоефективніші [ $U_{вік} = 0,70$  Вт/(м<sup>2</sup>·К)] не забезпечує енергетичні показники для енергоощадних будинків.

Проведено розрахунок екологічної ефективності термомодернізації зовнішніх стін під час влаштування системи фасадної теплоізоляції з опорядженими штукатурками та заміною вікон. Як екологічні показники обрано кількість вуглекислого газу, виділеного під час спалювання природного газу, необхідного для компенсації втрат тепла упродовж опалювального періоду. Потреба в теплі на опалення зменшується в 1,1–1,7 рази після термомодернізаційних заходів та в 1,2–2,8 рази – після термореконструктивних заходів. Зменшення витрати палива забезпечує зменшення виділення парникових газів в атмосферу, зокрема CO<sub>2</sub> в 1,13–2,84 рази, що покращуватиме екологічну ситуацію в регіоні.

Аналіз тепловтрат аналізованого індивідуального будинку [приведений опір теплопередачі зовнішніх стін  $R_{\Sigma np} = 0,79$  м<sup>2</sup>·К/Вт і  $U_{вік} = 2,70$  Вт/(м<sup>2</sup>·К)] та після здійснення комплексної термомодернізації [ $R_{\Sigma np} = 3,42$  м<sup>2</sup>·К/Вт і  $U_{вік} = 0,70$  Вт/(м<sup>2</sup>·К)] свідчить, що після проведення енергоощаджувальних заходів частка трансмісійних втрат будинку зменшується в 1,7 рази, водночас зростають витрати теплоти на вентиляцію. Тому для забезпечення комфортних умов необхідно передбачити механічну вентиляцію з рекуперацією теплоти.

Результати розрахунків енергоспоживання індивідуальних будинків з різними теплофізичними характеристиками зовнішніх огорожувальних конструкцій з механічною вентиляцією, в яких рекуперація тепла становить 70 %, наведено в табл. 2.

У разі заміни гравітаційної системи вентиляції на механічну з рекуперацією тепла  $\eta = 70$  % отримуємо енергетичні показники, що відповідають:

- енергоощадному будинку [ $q_{буд} = 46,77$  кВт·год/(м<sup>2</sup>·рік)] зі змінними параметрами  $\delta_{із} = 10$  см і  $U_{вік} = 2,7$  Вт/(м<sup>2</sup>·К);

- низькоенергетичному будинку з такими змінними параметрами:  
 $\delta_{i3} = 10$  см і  $U_{\text{вік}} = 1,7$  Вт/(м<sup>2</sup>·К) [ $q_{\text{буд}} = 32,54$  кВт·год/(м<sup>2</sup>·рік)];  
 $\delta_{i3} = 20$  см і  $U_{\text{вік}} = 2,7$  Вт/(м<sup>2</sup>·К) [ $q_{\text{буд}} = 36,63$  кВт·год/(м<sup>2</sup>·рік)];  
 $\delta_{i3} = 20$  см і  $U_{\text{вік}} = 1,7$  Вт/(м<sup>2</sup>·К) [ $q_{\text{буд}} = 22,46$  кВт·год/(м<sup>2</sup>·рік)];  
 $\delta_{i3} = 10$  см і  $U_{\text{вік}} = 0,7$  Вт/(м<sup>2</sup>·К) [ $q_{\text{буд}} = 17,83$  кВт·год/(м<sup>2</sup>·рік)];
- пасивному будинку:  
 $\delta_{i3} = 20$  см і  $U_{\text{вік}} = 0,7$  Вт/(м<sup>2</sup>·К) [ $q_{\text{буд}} = 8,39$  кВт·год/(м<sup>2</sup>·рік)].

Таблиця 2

**Енергетично-екологічні показники будинку із механічною системою вентиляції з рекуперацією тепла ( $\eta = 70$  %)**

$\delta_{i3}$ , см	$U_{\text{вік}}$ , Вт/(м <sup>2</sup> ·К)	Енергетичні показники			Екологічний показник
		$q_{\text{буд}}$ , кВт·год/(м <sup>2</sup> ·рік)	$q_{\text{рік}}$ , МДж/(м <sup>2</sup> ·рік)	$Q_{\text{рік}}$ , ГДж/рік	Емісія CO <sub>2</sub> , м <sup>3</sup> /рік
0	2,7	123,97	446,29	140	1388
0	1,7	108,44	390,38	135	1214
0	0,7	95,64	344,30	124	1071
10	2,7	46,77	168,37	83	524
10	1,7	32,54	117,14	71	364
10	0,7	17,83	64,19	59	200
20	2,7	36,63	131,87	75	410
20	1,7	22,46	80,86	63	252
20	0,7	8,39	30,20	51	94

На основі проведених розрахунків (табл. 1, 2) отримано математичні моделі енергетичних показників індивідуального будинку з гравітаційною та механічною системою вентиляції у вигляді рівнянь регресії:

$$q_{\text{буд грав}} = 84,82 - 41,93X_1 - 15,75X_2 - 2,23X_1 X_2 + 35,05X_1^2 + 1,89X_2^2, \text{ [кВт·год/(м}^2\text{·рік)];}$$

$$q_{\text{буд мех}} = 32,12 - 43,43X_1 + 14,25X_2 - 0,02X_1 X_2 + 33,54X_1^2 + 0,39X_2^2, \text{ [кВт·год/(м}^2\text{·рік)].}$$

Для будинків з гравітаційною системою вентиляції до термомодернізації питомі витрати тепла на опалення становили  $q_{\text{буд max}} = 176,67$  кВт·год/(м<sup>2</sup>·рік), тоді як після утеплення зовнішніх стін та заміни вікон –  $q_{\text{буд min}} = 61,09$  кВт·год/(м<sup>2</sup>·рік), тобто тепловитрати зменшуються в 2,9 раза. Термомодернізація найефективніша, якщо вона відповідає принципу комплексності, тобто охоплює як конструкцію зовнішніх огорожувальних конструкцій, так і інженерні комунікації і системи, що забезпечують будівлю теплом, повітрям, водою, електроенергією. Так, використовуючи механічну систему вентиляції з рекуперацією тепла максимальне значення питомих тепловитрат на опалення становить  $q_{\text{буд max}} = 123,97$  кВт·год/(м<sup>2</sup>·рік), а мінімальне –  $q_{\text{буд min}} = 8,39$  кВт·год/(м<sup>2</sup>·рік) зі співвідношенням між ними 14,8. На основі одержаних рівнянь регресії побудовані поверхні відгуку для питомих тепловитрат на опалення будинку із гравітаційною і механічною системою вентиляції (рис. 2).

Порівняльна оцінка індивідуальних житлових будинків за енергетичними показниками дає можливість вибору раціональних термомодернізаційних заходів щодо зовнішніх огорожувальних конструкцій та системи вентиляції, що дає змогу розробити проектні рішення енергоефективного житла та систему керування параметрами енергозбереження. Так, для індивідуального будинку з механічною системою вентиляції та теплотехнічними параметрами зовнішніх огорожувальних конструкцій наведений опір теплопередачі зовнішніх стін  $R_{\Sigma\text{пр}} = 2,63$  м<sup>2</sup>·К/Вт ( $\delta_{i3} = 10$  см) і коефіцієнт теплопередачі світлопрозорих конструкцій  $U_{\text{вік}} = 0,70$  Вт/(м<sup>2</sup>·К) з коефіцієнтом рекуперації тепла  $\eta = 90$  % та для будинку з  $R_{\Sigma\text{пр}} = 5,26$  м<sup>2</sup>·К/Вт ( $\delta_{i3} = 20$  см) і  $U_{\text{вік}} = 0,7$  Вт/(м<sup>2</sup>·К) з коефіцієнтом рекуперації тепла  $\eta = 75$  % можна отримати енергетичні показники будинку, що відповідають будинкам з нульовим споживанням енергії (nearly zero energy building – nZEB). Від’ємні значення питомих теплотрат на опалення для будинку з  $R_{\Sigma\text{пр}} = 5,26$  м<sup>2</sup>·К/Вт ( $\delta_{i3} = 20$  см) і  $U_{\text{вік}} = 0,7$  Вт/(м<sup>2</sup>·К) коефіцієнтом рекуперації механічної системи вентиляції  $\eta = 90$  % свідчать, що такий будинок належить до активних (active house).

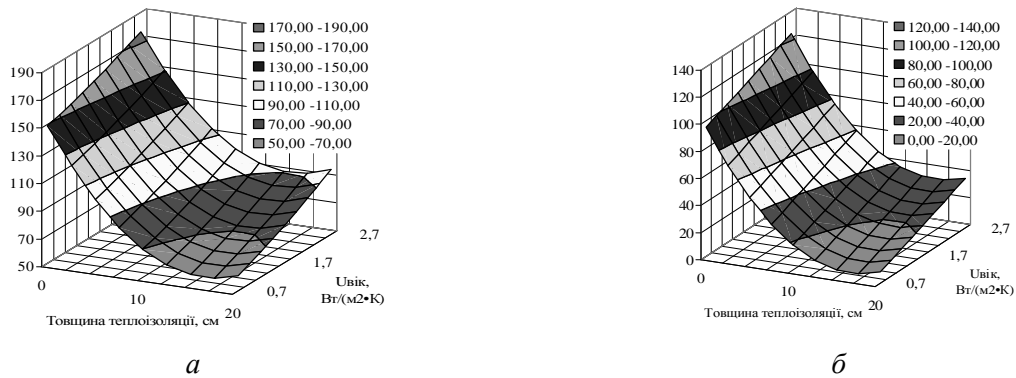


Рис. 2. Питомі витрати енергії на опалення будинку, кВт·год/(м<sup>2</sup>·рік), з гравітаційною (а) та механічною (б) системою вентиляції

З 1 січня 2009 р. відповідно до Європейської директиви 2002/91/WE в країнах ЄС обов'язковим є складання енергетичного сертифіката будинків. Європейський енергетичний сертифікат будинку визначає, скільки енергії споживається насправді або необхідно для забезпечення різних потреб, пов'язаних з нормальним функціонуванням будинку. Енергетичний сертифікат містить інформацію про необхідну кількість невідновлюваної первинної енергії та кінцевої енергії [2].

Потреба невідновлюваної первинної енергії – це величина, що виражає енергію, яку необхідно добути з родовища, щоб забезпечити опалення будинку, нагрівання води, механічну вентиляцію та охолодження. Її значення показує, скільки фактично споживаємо первинної невідновлюваної енергії, щоб покрити ці потреби, наприклад, скільки вугілля або газу необхідно видобути. Розрахункова потреба в невідновлюваній первинній енергії є найважливішою величиною, під час складання енергетичного паспорта вона розташовується в центрі першої сторінки сертифіката. На кольоровому повзунку потреба в первинній енергії для будинку порівнюється з потребою в первинній енергії для стандартного будинку (рис. 3).

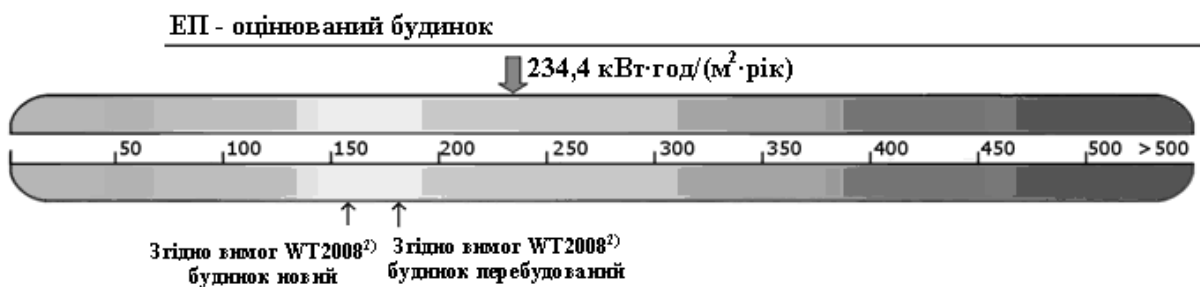


Рис. 3. Енергетична характеристика аналізованого індивідуального будинку з гравітаційною вентиляцією

Потреба в кінцевій енергії визначається кількістю енергії, необхідної щороку для опалення (враховуючи вентиляцію), нагрівання води в перерахунку на 1 м<sup>2</sup> площі, а в будинках з кліматизацією додатково на охолодження. Кінцева енергія також містить необхідні надбавки енергії з погляду на те, що системи опалення перетворюють енергію, що міститься в паливі, на тепло з ККД нижче 100 %. Первинна енергія відрізняється від кінцевої тим, що враховує втрати енергії на етапі її виробництва і транспортування. Різниця між кінцевою і первинною енергією залежить від теплоносія. Первинна енергія може бути вищою від кінцевої від 10 % (для газу) до 300 % (для електроенергії). Вона може бути меншою, якщо теплоносієм є біомаса (дерево). Показник споживання первинної енергії значно залежить від того, чим опалюється будинок і показує, який вплив на навколишнє середовище має будинок.

Значення первинної та кінцевої енергії згідно з вимогами ЄС для стандартного будинку [ $U=0,30$  Вт/(м<sup>2</sup>·К)], енергоощадного [ $U=0,20$  Вт/(м<sup>2</sup>·К)] та низькоенергетичного [ $U = 0,10$  Вт/(м<sup>2</sup>·К)] наведено на рис. 4. Звідси видно, що покращення енергетичних показників аналізованого будинку більше досягається за рахунок високоефективної механічної вентиляції ( $\eta = 95$  %) порівняно з термомодернізаційними заходами за товщини ізоляції пінополістиролу або мінеральної вати на рівні 20–30 см.

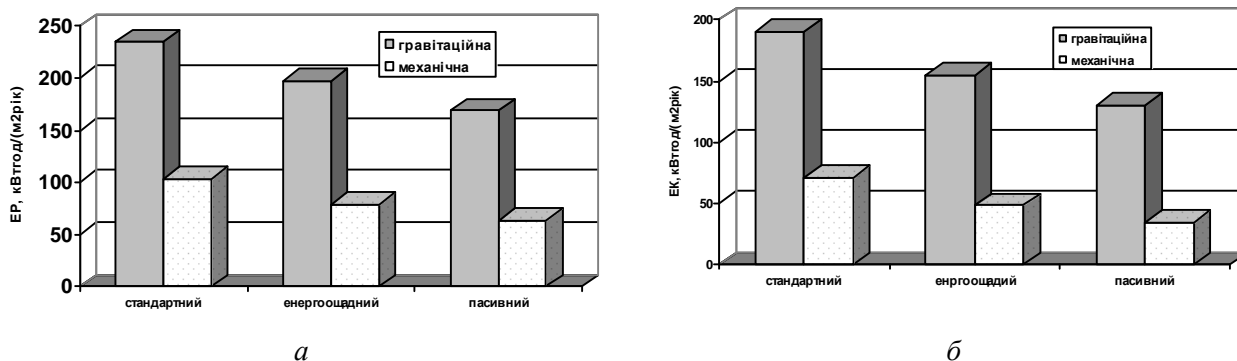


Рис. 4. Значення первинної (а) та кінцевої енергії (б) для аналізованого індивідуального будинку з гравітаційною та механічною системами вентиляції

**Висновки.** Суттєве скорочення матеріальних і енергетичних ресурсів у житлово-комунальному секторі досягається за рахунок комплексної термомодернізації 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.

Встановлення механічної системи вентиляції з коефіцієнтом рекуперації понад 70 % і проведення комплексу робіт з термореконструкції зовнішніх огорожувальних конструкцій забезпечує одержання енергетичних показників будинків, які під час експлуатації характеризуються низькою потребою в первинній енергії для забезпечення оптимальних умов мікроклімату, що сприяє зниженню емісії CO<sub>2</sub> та визначає напрям проєктологічного будівництва.

*Житловий фонд України [Електронний ресурс]: Держ. ком. статистики України. – Режим доступу: <http://ukrstat.gov.ua>. 2. Zrównoważone budownictwo. Seria Dokumenty Unii Europejskiej dotyczące budownictwa. – Warszawa: ITB, 2010. 3. Саницький М.А. Енергозберігаючі технології в будівництві [Навч. посібник] / М.А. Саницький, О.Р. Позняк, У.Д. Марушак. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2011. – 248 с. 4. Вуйцікевич М. Аналіз енергетичних показників індивідуальних будинків / М. Вуйцікевич, М. Саницький, Р. Секрет // ЕКОінформ. – 2011. – № 3 (263). – С. 50–51. 5. Cost optimal and nearly zero (nZEB) energy performance calculations for residential buildings with REHVA definition for nZEB national implantation / J. Kurnitski, A. Saari, T. Kalamees et al. // Energy and building. – 2011. – № 43. – Р. 3279–3288. 6. Фаренюк Г.Г. Основи забезпечення енергоефективності будинків та теплової надійності огорожувальних конструкцій / Фаренюк Г.Г. – К.: Гама-Принт, 2009. – 216 с. 7. Матросов Ю.А. Повышенная теплозащита и энергоэффективность зданий: проблемы и решения. Опыт России / Ю.А. Матросов // Budownictwo o zoptymalizowanym potencjale energetycznym. Czestochowa, 2007. – S. 201–217. 8. Настанова з розроблення та складання енергетичного паспорта будинків при новому будівництві та реконструкції: ДСТУ-Н Б А.2.2-5:2007. – [Чинний від 2008-07-01]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2008. – 43 с. – (Національний стандарт України). 9. Саницький М.А. Проблеми енергозбереження в сучасному житлово-цивільному будівництві / М.А. Саницький, О.Р. Позняк, У.Д. Марушак // Міжвідомчий науково-технічний збірник “Будівельні конструкції”, 2005. – Вип. 63. – С. 234–239.*