

## ЕКОНОМІКА СТАЛОГО РОЗВИТКУ: ВИЗНАЧЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ПРИВАТНИХ БУДИНКІВ НА ОСНОВІ ДАНИХ ПРО ВИТРАТИ ГАЗУ НА ОПАЛЕННЯ

Кльон А. М., Єфременко В. В., Точонов І. В.

### 1. Вступ

На опалення та вентиляцію приватного будинку йде близько 72 % всіх витрачених ним енергоресурсів [1]. Зниження витрат на опалення дозволить в значній мірі зменшити вартість утримання будинку. Саме з цієї причини, і особливо в останні роки, коли ціни на енергоносії в Україні досягли світового рівня, багато власників приватних будинків стали активно цікавитися питаннями енергоефективності, що може служити запорукою сталого розвитку економіки держави.

Ті домовласники, в яких система опалення використовує у якості палива природний газ, задаються питаннями: які витрати газу на одиницю опалювальної площі вважаються «нормальними», і які заходи потрібно вжити, аби знизити реальні витрати до того самого «нормального» рівня?

Відповідям на ці питання звичайних споживачів і присвячена ця робота.

### 2. Об'єкт дослідження та його технологічний аудит

Об'єктом даного дослідження є енергоефективність приватних будинків як запорука сталого розвитку економіки держави. З метою зниження витрат на опалення будинків на основі даних про витрати газу проведено дослідження енергоефективності приватного будинку на підставі середніх показників витрати газу за опалювальний сезон на основі вихідних даних [2]. У світі найбільш відомими дослідниками, які займалися питаннями енергоефективності та енергозбереження, є [3–7], а також поширені інтернет-ресурси Consumption of energy [8], Shedding light on energy in the EU [9].

При розгляді проблеми енергозбереження в житлово-комунальному секторі в світовій практиці основна увага, як правило, приділяється питанням економії енергоресурсів в опалювальний сезон, коли їх споживання максимальне. Саме тому треба брати приклад з таких країн, як США, Китай, Великобританія, Швейцарія, країни Євросоюзу, які активно займаються питаннями енергоефективності та енергозбереження з метою економії енергоресурсів.

### 3. Мета та задачі дослідження

Метою даної роботи є формування критеріїв, за якими можна оцінити ступінь енергоефективності приватного будинку на основі даних про витрати газу на опалення.

Для досягнення поставленої мети вирішені наступні завдання:

1. Проаналізувати статистичні дані про витрати газу на опалення приватними домогосподарствами.
2. Запропонувати методику оцінки енергоефективності приватного будинку на основі усереднених показників витрат газу за опалювальний сезон.

#### **4. Дослідження існуючих рішень проблеми**

Дослідженнями питаннями теплової енергії та енергоресурсів, які витрачаються на опалення будинків, енергоефективності та енергозбереження займається багато науковців та практиків. У роботі [1] запропоновано алгоритм проведення енергетичного аудита та заходи зменшення енерговитрат промислових підприємств у системах опалення. Загальні питання енергоефективності та витрат газу в опалювальний сезон розглядаються користувачами інтернет-ресурсів [2–5, 8–10].

Економічна ефективність використання мережевих сонячних електростанцій в приватному домоволодінні розрахована та представлена в науковому дослідженні [11]. Автори роботи [12] аналізують досвід використання систем опалення на основі теплогенеруючих агрегатів. Загальні питання проектування систем водяного опалення представлені в роботі [13]. Автори наукового дослідження [14] запропонували модель та модифікацію методу аналізу ієрархій для оцінки рівня енергоефективності. Вихідні дані та норми з теплової ізоляції будівель можуть бути взяті з ДБН [15]. Реальні перспективи енергоефективності в США досліджено Національною академією наук та Національною академією преси Вашингтон [16]. Цікавими є наукові праці вчених зі Швейцарії, які в 2016 році досліджували питання енергозбереження будівель в помірних кліматах [6] та енергоефективності в Китаї [7].

Аналіз літературних джерел показує, що витрати теплової енергії на опалення будинку залежать від багатьох факторів, найважливішими з яких є:

- загальні архітектурно-будівельні характеристики будинку (перш за все його площа та об'єм);
- використані при зведенні та ремонті будівельні, а також теплоізоляційні матеріали, які безпосередньо впливають на тепловтрати будинку;
- географічне розташування будинку, що визначає різницю температур всередині і зовні приміщення і впливає на необхідну потужність системи опалення;
- характеристики систем опалення та вентиляції (тип систем, параметри встановленого опалювального обладнання та його ефективність).

Таким чином, для відповіді на питання, якими повинні бути «нормальні» витрати газу на одиницю опалювальної площі, необхідно володіти досить великим обсягом даних. І навіть в цьому випадку розрахункові витрати енергоресурсів будуть лише приблизними, оскільки деякі вихідні дані (наприклад, різниця температур всередині і зовні приміщення, що залежить від кліматичних факторів) носять ймовірнісний характер.

Проте, питання кількісної оцінки теплової енергії та енергоресурсів, які витрачаються на опалення приватного будинку, має дуже важливе практичне значення.

#### **5. Методи дослідження**

Статистичні дані про витрати газу на опалення приватними домогосподарствами отримані на основі записів, залишених користувачами інтернет-форуму FORUMHOUSE: Витрата газу на опалення взимку [2].

Даний ресурс ведеться вже кілька років, і за цей час своїми даними про витрати газу, які йдуть на опалення, поділилися вже понад 350 осіб. Проте, для дослідження було відібрано 253 записи, які містять не менше чотирьох обов'язкових

складових: географічне розташування будинку, його площа, період спостереження і, власне, самі витрати (погодинні, добові, місячні або сезонні). Додатковими характеристиками, прийнятими до уваги при проведенні дослідження, були конструктивні параметри будинку (технологія будівництва, матеріали стін, підлоги, перекриття і даху), ступінь його утеплення (використані теплоізоляційні матеріали та їх товщина), а також характеристики системи опалення та параметри її роботи (тип газового котла, виставлена температура теплоносія, метод передачі тепла – радіаторами або теплими підлогами, наявність автоматики тощо).

Аналіз географії будинків, що потрапили в досліджувану вибірку, показав, що більшість з них (понад 80 %) розташовано в III кліматичному поясі та дев'ятій Атлантико-континентальній європейській області за класифікацією [17]. Сюди відносяться більша частина України (за винятком південних областей та Криму), Білорусь і європейська частина Росії. Залишкова частина будинків приблизно в рівній пропорції знаходиться в більш північних і в більш південних областях того ж кліматичного поясу. Таким чином, можна зробити висновок, що дані за географічним охопленням будинків носять усереднений характер.

Розподіл приватних будинків за опалювальною площею наведено в табл. 1.

**Таблиця 1**

Розподіл приватних будинків за опалювальною площею

Розподіл приватних будинків	Групи будинків за опалювальною площею, м <sup>2</sup>				Разом
	30...60	61...120	121...200	більше 200	
Абсолютна кількість будинків в групі	16	99	83	55	253
Відносна кількість будинків в групі, %	6,3	39,15	32,8	21,75	100

Як видно з табл. 1, найбільша кількість будинків, які потрапили в дослідження, має площу від 61 до 120 м<sup>2</sup>, що відповідає суб'єктивним сприйняттям поняття «середній будинок». Другою за чисельністю є група будинків з площею 121...200 м<sup>2</sup>. Будинки обох зазначених груп складають близько 72 % вибірки.

Всі дані про витрати були приведені до одного показника – середніх витрат газу на опалення за весь опалювальний сезон. Складність полягала в тому, що крім сезонних, домовласники вказували також погодинні, добові та місячні витрати, уточнюючи при цьому кліматичні умови в спостережуваний період (табл. 2).

**Таблиця 2**

Розподіл даних про витрати газу на опалення в залежності від періоду спостережень\*

Дані про витрати газу	Період спостережень про витрати				Всього
	погодинні	добові	місячні	сезонні	
Абсолютна кількість спостережень	3	110	99	41	253
Відносна кількість спостережень, %	1,2	43,5	39,1	16,2	100

**Примітка:** \* без урахування дублювання даних.

Непоодинокими були випадки, коли витрати вказували для декількох періодів (дублювалися), найбільш часто – добу і місяць або місяць і весь опалювальний період. Крім того, статистика деяких домовласників містила докладний

звіт про витрати газу за всіма місяцями опалювального періоду. Останній дозволив скласти усереднену відносну інтенсивність використання опалювальної системи в опалювальному сезоні (табл. 3). Згідно наведеній таблиці, зимові місяці є найбільш холодними, і система опалення в цей період працює з найбільшою інтенсивністю, умовно прийняту за одиницю. У перехідний період (листопад і березень) система опалення в середньому використовується на 75 %, а на початку і в кінці опалювального сезону (жовтень і квітень) – на 50 %. Сумарна інтенсивність використання опалювального періоду за сезон становить 5,5, в той же час загальна кількість місяців в опалювальному сезоні дорівнює 7.

**Таблиця 3**

Усереднена відносна інтенсивність використання опалювальної системи за сезон

Місяць	Жов- тень	Листо- пад	Гру- день	Сі- чень	Лютий	Бере- зень	Кві- тень	Се- зон
Інтенсивність	0,5	0,75	1	1	1	0,75	0,5	5,5

Методика перерахунку погодинних, добових і місячних показників в сезонні наведена в табл. 4.

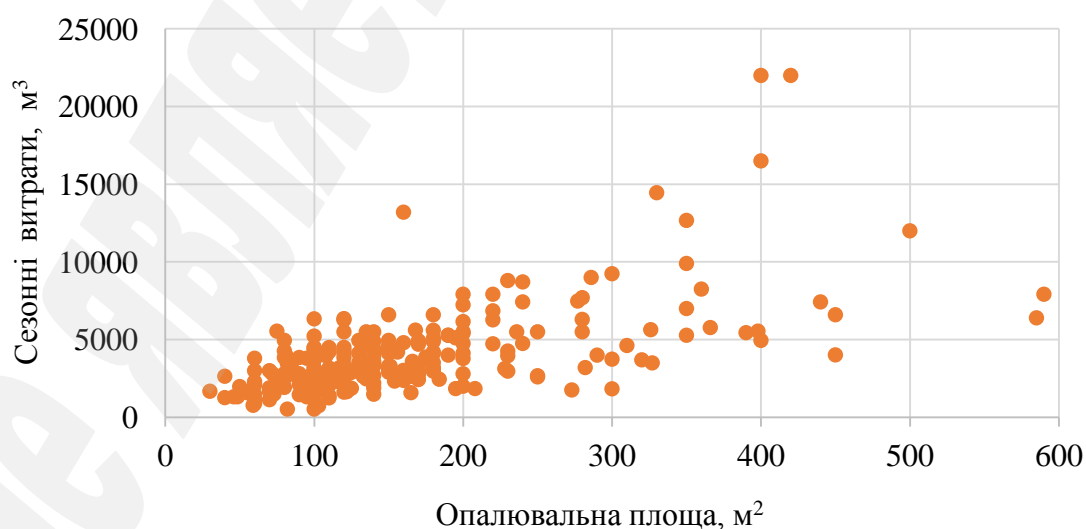
**Таблиця 4**

Методика перерахунку погодинних, добових і місячних показників в сезонні

Вихідні данні		Формула переходу до сезонних показників витрат
Погодинні витрати	П	$C = P * 24 * 30 * I$
Добові витрати	Д	$C = D * 30 * I$
Місячні витрати	М	$C = M * I$

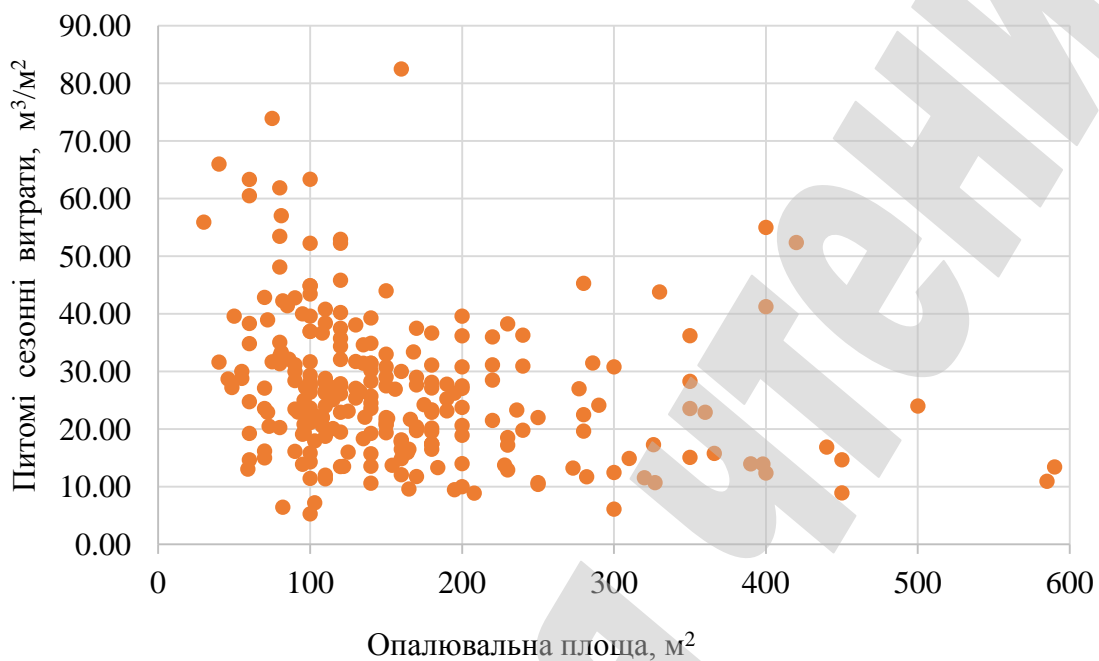
**Примітка:** \* коефіцієнт I приймався рівним 5,5, якщо показання знімалися в холодні місяці (грудень, січень, лютий) і 8,8 ( $5,5 / (0,5 \cdot (0,5 + 0,75))$ ) – в міжсезоння (жовтень, листопад, березень, квітень).

За отриманими даними для всіх 253 будинків вибірки була побудована діаграма сезонних витрат газу на опалення в залежності від опалювальної площі (рис. 1).



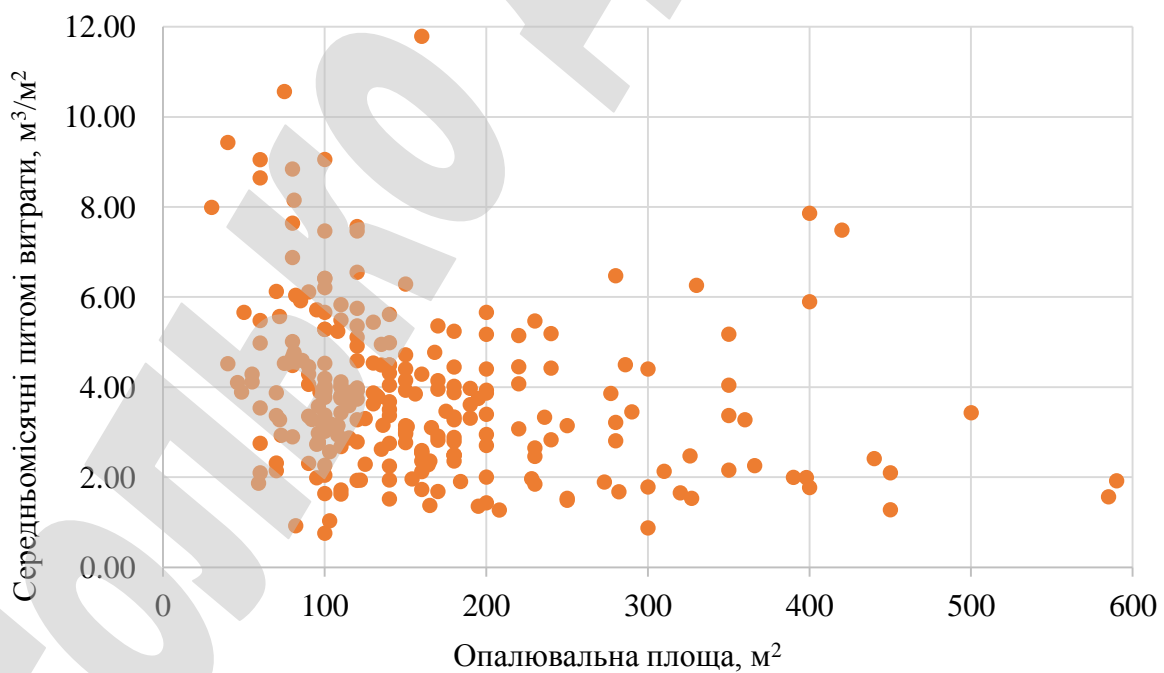
**Рис. 1.** Діаграма сезонних витрат газу на опалення в залежності від опалювальної площі

На рис. 2 представлена більш інформативна діаграма питомих витрат, яка ілюструє кількість кубометрів газу, що витрачаються різними домогосподарствами на опалення одного квадратного метра площі протягом усього опалювального сезону.



**Рис. 2.** Діаграма питомих сезонних витрат газу на опалення

На рис. 3 наведена діаграма питомих місячних витрат на опалення, отримана шляхом ділення значень сезонних витрат на 7 місяців опалювального періоду. Ця діаграма дозволяє отримати найбільш усереднені дані про витрати з урахуванням температурних коливань в холодні місяці і міжсезоння.



**Рис. 3.** Діаграма питомих середньомісячних витрат газу на опалення

Основним фактором, що впливає на значення середньомісячних питомих витрат за інших рівних умов, є ступінь утеплення будинку, тобто його енергоефективність. Деяку роль в розкид даних вносить також кліматичний фактор, оскільки навіть для однієї і тієї ж географічної місцевості значення температури в один і той же місяць з року в рік змінюється.

На основі аналізу даних середньомісячних питомих витрат була запропонована класифікація будинків за ступенем їх утеплення, наведена в табл. 5.

**Таблиця 5**

Класифікація будинків за ступенем утеплення на основі даних про питомі середньомісячні витрати газу в опалювальний сезон

Клас будинку	Питомі середньомісячні витрати газу, м <sup>3</sup> /м <sup>2</sup>	Характеристика утеплення будинку
A	менше 2,0	Чудове утеплення
B	2,0 ... 2,9	Відмінне утеплення
C	3,0 ... 3,9	Добре утеплення
D	4,0 ... 4,9	Задовільне утеплення
E	5,0 ... 7,0	Незадовільне утеплення
F	більше 7,0	Відсутність утеплення, неприпустимі тепловтрати

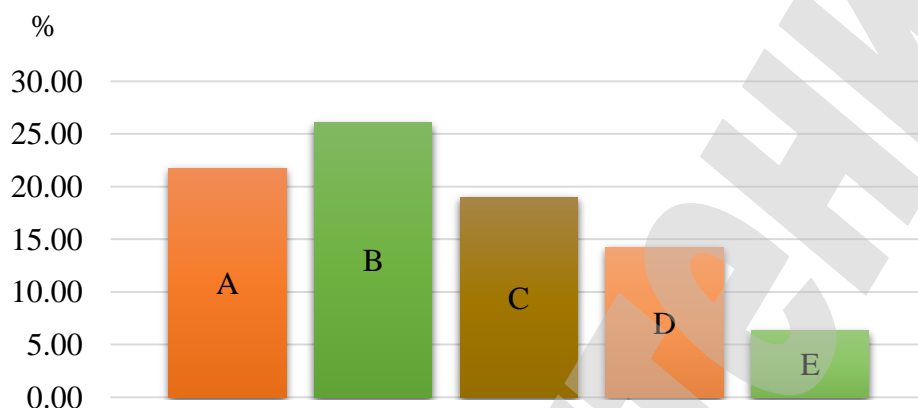
За запропонованою методикою всі будинки, що потрапили в дослідження, були віднесені до того чи іншого класу. Іноді один і той же будинок, для якого були наведені кілька значень про витрати газу в різні періоди спостереження, потрапляв в кілька класів. В цьому випадку при прийнятті рішення про приналежність будинку до того чи іншого класу до уваги бралися кліматичні умови (перепад температур всередині і зовні приміщення), при яких проводилось вимірювання витрат газу – табл. 6. Наприклад, за даними спостережень за 2 місяці і розрахунку середньомісячних питомих витрат газу будинок відноситься до класу B. Однак за даними третього місяця спостережень і відповідних середньомісячних витрат газу цей же будинок слід віднести до класу C. У той же час в третьому місяці спостерігався перепад температур, що потрапляє в діапазон 45...55 °С, що значно вище середнього значення (25...35 °С). Отже, якби перепад температур в третьому місяці був не настільки високим, а середнім, то витрати газу були б нижчими, і будинок напевно потрапив би до класу B. Ця обставина дозволяє в кінцевому підсумку зарахувати будинок до класу B.

**Таблиця 6**

Градація місяців по перепаду температур всередині і зовні будинку

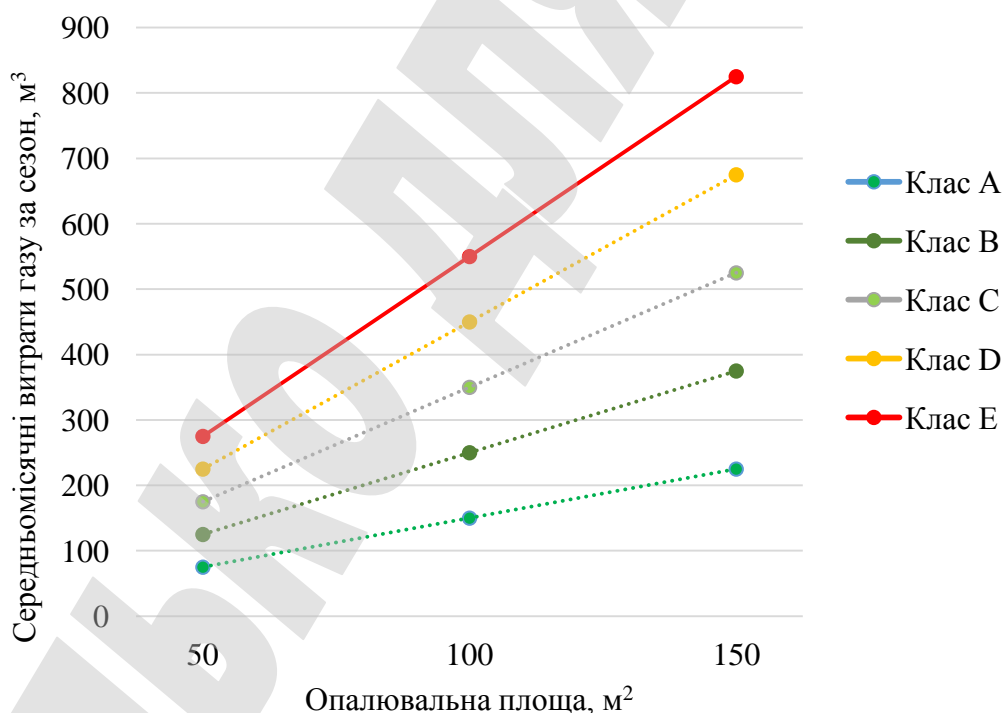
Кольорове позначення	Спостережуваний перепад температур, °С	Характеристика місяця
	45 ... 55	Вкрай холодний
	35 ... 45	Дуже холодний
	25 ... 35	Холодний (середнє значення перепаду)
	15 ... 25	Міжсезоння, відносно холодний
	05 ... 15	Міжсезоння, відносно теплий

На рис. 4 представлена гістограма розподілу будинків, що потрапили у вибірку, за класами енергоефективності (ступеня утеплення) в залежності від питомих середньомісячних витрат газу в опалювальний сезон.



**Рис. 4.** Відносний розподіл будинків, які потрапили в дослідження, за питомими середньомісячними витратами газу

На рис. 5 представлено графік середньомісячних витрат газу на опалення будинків різних класів в залежності від опалювальної площі.



**Рис. 5.** Середньомісячні витрати газу будинками різних класів в залежності від опалювальної площі

З рис. 5 видно, що найбільші витрати газу на опалювання будинку несуть ті споживачі, які мають низькі характеристики утеплення будинку за вищезазначеною в таблиці 5 класифікацією.

## **6. Результати дослідження**

### **6.1. Аналіз сезонних витрат газу на опалення в залежності від опалювальної площі**

На діаграмі рис. 1 можна ще раз переконатися, що більшість будинків, які потрапили в дослідження, має площу до 200 м<sup>2</sup>. Сезонні витрати газу будинками з однаковою площею коливаються в дуже широких межах, причому зі збільшенням опалювальної площі діапазон коливання за абсолютними значеннями також збільшується.

### **6.2. Аналіз питомих сезонних витрат газу на опалення**

На діаграмі рис. 2 видно, що сезонні витрати газу на опалення однієї і тієї ж площі можуть відрізнятись в 5–6 разів. Побудувавши лінію регресії, можна визначити деякі середні значення питомих сезонних витрат, які незалежно від опалювальної площі складають близько 38 м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>. Відповідні середньомісячні питомі витрати газу дорівнюють 5,4 м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>. Це значення практично збігається з суб'єктивними думками учасників форуму [2], які стверджують, що на опалення 1 м<sup>2</sup> площі в середньому витрачається 4–5 кубів газу на місяць, в той час як витрата близько 3 м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup> свідчить про хорошу теплоізоляцію будинку.

### **6.3. Аналіз питомих середньомісячних витрат газу на опалення**

Діаграма рис. 3 питомих середньомісячних витрат газу на опалення протягом усього опалювального сезону (7 місяців) дозволяє отримати найбільш усереднені дані про витрати з урахуванням можливих температурних коливань в холодні місяці і міжсезоння. Саме з цієї причини ці дані покладені в основу класифікації будинків за ступенем утеплення в табл. 5, що характеризують їх енергоефективність та економічну доцільність.

### **6.4. Аналіз відносного розподілу будинків по класах утеплення**

Гістограма рис. 4 показала, що близько 60,5 % будинків, прийнятих до уваги в дослідженні, мають добре утеплення (класи А...С). Такий високий відсоток енергоефективних будинків навряд чи відповідає довільній вибірці і пов'язаний, скоріше, з тематичною спрямованістю форуму [2]. Відвідувачі форуму – це не випадкові користувачі мережі інтернет, а ті, кого цікавить тема енерговитрат на опалення свого будинку. Не випадково, що серед відвідувачів даного форуму високий відсоток тих, хто вже прийняв реальні заходи зі зниження витрат на опалення, утепивши свої будинки. У той же час близько 20,5 % будинків, що потрапили в досліджувану вибірку, мають дуже високі і навіть неприпустимі тепловтрати з економічної точки зору. Напевно власники таких будинків після вивчення інформації інших користувачів форуму задумуються та приймають заходи щодо зниження енерговитрат на опалення.

### **6.5. Аналіз факторів, що впливають на енергоефективність будинку**

Безумовно, головним фактором, що визначає рівень споживання газу на опалення, є ступінь утеплення приватного будинку. Важливо відзначити, що максимальної економії енергоносіїв вдається досягти тільки в разі комплексного підходу до утеплення. Недостатньо утеплити лише стіни або підлогу, необхідно усунути всі «слабкі місця» в теплоізоляції будинку: встановити енергоз-



берігаючи вікна та двері, повністю утеплити підлоги, стіни і перекриття (дах). При цьому необхідно використовувати якісні теплоізоляційні матеріали, а їх товщина повинна бути розрахована виходячи з нормативних значень тепловтрат і для даних кліматичних умов. Крім того, дуже важливо приділити достатню увагу ефективності системи опалення. Використання старих газових котлів без тактування (періодичного вимикання газового пальника), невірне налаштування опалювального обладнання, неоптимальне проектування системи опалення здатні звести нанівець всі зусилля з утеплення житла.

Як показало проведене дослідження, найменші витрати газу на опалення мають будинки, побудовані за сучасною каркасною технологією, яка як раз і передбачає комплексний підхід до енергозбереження. Всі такі будинки, що потрапили в досліджувану вибірку, належать до класів А і В.

## **7. SWOT-аналіз результатів дослідження**

*Strengths.* Сильною стороною у проведеному дослідженні є визначені питання кількісної оцінки теплової енергії та енергоресурсів, які витрачаються на опалення приватного будинку та аналіз факторів, що впливають на енергоефективність будинку.

*Weaknesses.* Слабкою стороною проведеного дослідження є те, що високий відсоток енергоефективних будинків навряд чи відповідає довільній вибірці і пов'язаний, скоріше, з тематичною спрямованістю форуму [2].

*Opportunities.* Можливостями для подальших досліджень є переймання досвіду зарубіжних країн, які активно займаються питаннями енергоефективності та енергозбереження з метою економії енергоресурсів.

*Threats.* Загрозами для результатів проведених досліджень є розуміння того, що максимальної економії енергоносіїв вдається досягти тільки в разі комплексного підходу до утеплення, що не по силам всім споживачам з економічної точки зору.

## **8. Висновки**

1. Визначені питання кількісної оцінки теплової енергії та енергоресурсів, які витрачаються на опалення приватного будинку. Було проведено розподіл приватних будинків за опалювальною площею; розподіл даних про витрати газу на опалення в залежності від періоду спостережень; розрахована усереднена відносна інтенсивність використання опалювальної системи за сезон.

2. Запропонована методика перерахунку погодинних, добових і місячних показників в сезонні з урахуванням коефіцієнту сезонності опалювального періоду. Розроблена класифікація будинків за ступенем їх утеплення на основі аналізу даних середньомісячних питомих витрат газу в опалювальний сезон та розраховані середньомісячні витрати газу будинками різних класів в залежності від опалювальної площі, на основі чого вдалось оцінити енергоефективність приватних будинків, які попали в виборку.

## **Література**

1. Jejula, V. V. Enerhoaudyt promyslovykh pidpriemstv [Text] / V. V. Jejula, N. M. Slobodian // Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. – 2011. – No. 1. – P. 56–58.

2. Rashod gaza na otoplenie zimoi [Electronic resource] // FORUMHOUSE. – 21.11.2017. – Available at: \www/URL: <https://www.forumhouse.ru/threads/24702/>
3. Hordeski, M. F. Dictionary of Energy Efficiency Technologies [Text] / M. F. Hordeski. – New York: Fairmont Press, 2004. – 372 p. doi:[10.4324/9780203021729](https://doi.org/10.4324/9780203021729)
4. Solmes, L. A. Energy Efficiency [Text] / ed. by L. A. Solmes. – Dordrecht: Springer, 2009. – 212 p. doi:[10.1007/978-90-481-3321-5](https://doi.org/10.1007/978-90-481-3321-5)
5. Emre, M. CooperativeQ: Energy-efficient channel access based on cooperative reinforcement learning [Text] / M. Emre, G. Gur, S. Bayhan, F. Alagoz // 2015 IEEE International Conference on Communication Workshop (ICCW), London, UK, June 8–12, 2015. – IEEE, 2015. doi:[10.1109/iccw.2015.7247603](https://doi.org/10.1109/iccw.2015.7247603)
6. Boemi, S.-N. Energy Performance of Buildings [Text] / ed. by S.-N. Boemi, O. Irulegi, M. Santamouris. – Cham: Springer, 2016. – 543 p. doi:[10.1007/978-3-319-20831-2](https://doi.org/10.1007/978-3-319-20831-2)
7. Wei, Y.-M. Energy Economics: Energy Efficiency in China [Text] / Y.-M. Wei, H. Liao. – Cham: Springer, 2016. – 339 p. doi:[10.1007/978-3-319-44631-8](https://doi.org/10.1007/978-3-319-44631-8)
8. Consumption of energy [Electronic resource] // Eurostat Statistics Explained. – June 2017. – Available at: \www/URL: [http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Consumption\\_of\\_energy](http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Consumption_of_energy)
9. Shedding light on energy in the EU. A guided tour of energy statistics [Electronic resource] // Eurostat. – 2017. – Available at: \www/URL: <http://ec.europa.eu/eurostat/cache/infographs/energy/>
10. Energoefektivnist [Electronic resource] // Teplo.gov.ua. – Available at: \www/URL: <http://teplo.gov.ua/energoefektivnist>
11. Klyon, A. Economic efficiency of network-based solar power stations employment in private housing estates [Text] / A. Klyon, V. Yefremenko // Technology audit and production reserves. – 2015. – Vol. 3, No. 1 (23). – P. 8–13. doi:[10.15587/2312-8372.2015.42789](https://doi.org/10.15587/2312-8372.2015.42789)
12. Kovalov, S. Experience in the use of heating systems based on heat-generating units [Text] / S. Kovalov, M. Ovcharenko, A. Papchenko // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2012. – Vol. 5, No. 8 (59). – P. 58–60. – Available at: \www/URL: <http://journals.uran.ua/eejet/article/view/4616>
13. Liubarets, O. P. Proektuvannia system vodianoho opalennia: posibnyk dlia proektuvannykh, inzheneriv i studentiv tekhnichnykh VNZ [Text] / O. P. Liubarets, O. M. Zaitsev, V. O. Liubarets. – Viden – Kyiv – Simferopol, 2010. – 200 p.
14. Marhasov, D. Development of a model and modification of the hierarchy analysis method for energy efficiency level estimation [Text] / D. Marhasov, E. Sakhno, I. Skiter // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2015. – Vol. 5, No. 2 (77). – P. 26–32. doi:[10.15587/1729-4061.2015.51027](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2015.51027)
15. DBN V.2.6–31:2006. Teplova izoliatsiia budivel [Text] / Minbud Ukrainy. – Kyiv: Ukrarkhbudinform, 2006. – 65 p.
16. Real Prospects for Energy Efficiency in the United States [Text] / National Academy of Sciences, National Academy of Engineering, and National Research Council. – Washington, DC: The National Academies Press, 2010. – 348 p. doi:[10.17226/12621](https://doi.org/10.17226/12621)
17. Hromov, S. P. Meteorologiiia i klimatologiiia [Text]: Handbook / S. P. Hromov, M. A. Petrosiants. – Ed. 7. – Moscow: Nauka, 2006. – 582 p.