

**ПАРАМЕТРИЧНИЙ АНАЛІЗ ВПРОВАДЖЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ  
ЗАХОДІВ ТА ЇХ ВПЛИВ НА КЛАС ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ  
БУДІВЛІ**

*В. І. Дешко, доктор технічних наук, професор*

*Національний технічний університет України «Київський політехнічний  
інститут імені Ігоря Сікорського»,*

*Інститут технічної теплофізики НАН України*

*І. Ю. Білоус, кандидат технічних наук, доцент,*

*Національний технічний університет України «Київський політехнічний  
інститут імені Ігоря Сікорського»,*

*Інститут загальної енергетики НАН України*

*В. М. Єрьоменко, студент магістратури*

*Національний технічний університет України «Київський політехнічний  
інститут імені Ігоря Сікорського»*

*Т. Ю. Бойко, фахівець із енергозбереження та енергоефективності*

*ДУ «Фонд енергоефективності»*

*О. М. Шевченко, кандидат технічних наук, старший викладач*

*Національний технічний університет України «Київський політехнічний  
інститут імені Ігоря Сікорського»*

E-mail: [biloys\\_inna@ukr.net](mailto:biloys_inna@ukr.net)

**Анотація.** Підвищення рівня енергетичної ефективності будівель є важливою складовою на шляху до енергоефективності країни в цілому. У статті проведено дослідження впливу впровадження різних комбінацій енергозберігаючих заходів та їх вплив на клас енергетичної ефективності будівель на прикладі навчального корпусу КПП ім. Ігоря Сікорського (м. Київ). Існуючий стан будівлі відповідає класу енергетичної ефективності «G».

Повна термомодернізація будівлі до діючих вимог до теплового захисту дозволяє скоротити споживання енергії будівлею до 44 % та досягає класу енергоефективності «E». Встановлено, що впровадження переривчастих режимів опалення дозволяє заощадити 12 % для не утепленої та 7 % для утепленої будівлі. Рекуперація тепла в системах вентиляції дозволяє заощадити 23 % та 48 % енергії для не утепленої та утепленої будівлі, відповідно. Впровадження комплексної

*термомодернізації огорожень будівлі в комплексі з рекуперацією тепла в системах вентиляції в комбінації з переривчастими режимами роботи дозволяють перейти в клас енергоефективності «В». При заміні джерел теплозабезпечення після повної термомодернізації будівлі може перейти в клас енергетичної ефективності «А» при використанні теплових насосів.*

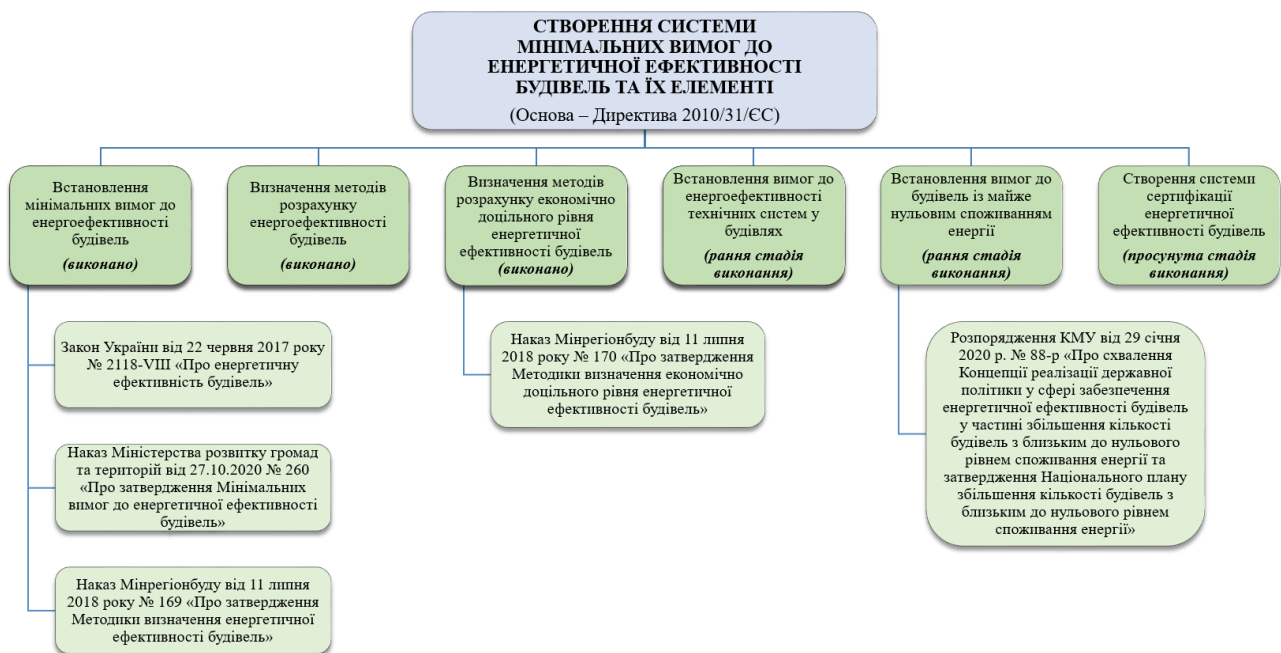
**Ключові слова:** *енергоспоживання, енергопотреба, теплопередача, сертифікат, клас енергоефективності*

**Актуальність.** Світовий попит на енергоносії невинно росте. Для конкретної країни попит визначається її економічним розвитком та кліматичними особливостями. Ринкова ж пропозиція залишається досить обмеженою, оскільки визначається виробничими потужностями генеруючих станцій, доступністю сировини та кліматичними особливостями регіонів (особливо, якщо говорити про ВДЕ). За законами економіки підвищення попиту при незмінній або спадаючій пропозиції неодмінно веде до підвищення ціни на товар. Тому питання енергозбереження та підвищення рівня енергоефективності зараз є надзвичайно актуальним. Враховуючи, що будівельний сектор є одним із найбільших споживачів енергії в світі, де особлива увага приділяється концепції будинків із нульовим споживанням енергії [1]. Будівля з близьким до нульового рівнем споживання енергії — будівля з рівнем енергетичної ефективності, що перевищує встановлені мінімальні вимоги, в якій для формування належних умов проживання та/або життєдіяльності людей використовується енергія переважно з відновлюваних джерел [2]. Розробка цієї концепції є невід'ємним елементом на шляху впровадження цілей сталого розвитку [3].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Зменшення попиту на енергію та отримання її більшої частки з відновлюваних джерел є вирішальними кроками ЄС у вирішенні питань імпорту енергії, скорочення викидів парникових газів та заохочення використання зеленої енергетики [4, 5]. Тому ЄС була прийнята схожа концепція до ZEB, а саме – Nzeb (Nearly zero-emission building), тобто це будинки з майже нульовим споживанням енергії [6].

Нормативно-правове забезпечення України в цій сфері. Так, розпорядженням КМУ № 605 від 18 серпня 2017 року [7] було схвалено Енергетичну стратегію

України на період до 2035 року «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність». Вказаний документ, що є планом забезпечення енергетичної безпеки країни, разом з Директивою 2012/27/EU Європейського Парламенту та Ради від 25 жовтня 2012 року про енергоефективність [8], стали основою для розробки другого Національного плану дій з енергоефективності, який було схвалено розпорядженням КМУ від 29 грудня 2021 р. № 1803-р [9]. У законодавчій сфері в напрямку енергоефективності більшість із того, що заплановано, а також є обов'язковим відповідно до Угоди про Асоціацію [10, 11], на разі не є виконаним. Якщо розглядати зобов'язання за пунктом «Створення системи мінімальних вимог до енергетичної ефективності будівель та їх елементів», то перелік виконаних робіт буде таким (рис.1) [12].



**Рис. 1. Огляд виконання зобов'язань щодо енергетичної ефективності будівель, покладених на Україну, відповідно до Угоди про Асоціацію (за даними [12])**

Створено інструмент для фінансування проектів термомодернізації – ДУ «Фонд Енергоефективності». Варто відзначити, що основним стимулом для українців, щоб підвищувати енергоефективність будівель, де вони мешкають, є в першу чергу зростання цін на енергоносії, в громадських будівлях питання енергоефективності регламентується на державному рівні [13].

Одним з інструментів оцінювання енергетичної ефективності будівель є сертифікація енергетичної ефективності. Це вид енергетичного аудиту, під час якого здійснюється аналіз використання енергії в будівлі, інформації про характеристики огорожувальних конструкцій та інженерних систем, оцінюється відповідність енергетичної ефективності встановленим мінімальним вимогам до енергетичної ефективності будівель та надаються рекомендації щодо підвищення рівня енергетичної ефективності будівлі, що враховують місцеві кліматичні умови, є технічно та економічно обґрунтованими [14]. Під час нового будівництва, реконструкції, що веде до зміни функціонального призначення будівлі, мінімальною вимогою щодо енергетичної ефективності будівлі є клас енергетичної ефективності "С" [2].

З вище наведеного огляду випливає, що доцільним є провести параметричний аналіз впровадження комплексу енергозберігаючих заходів та їх впливу на зміну класу енергетичної ефективності будівлі.

**Мета дослідження** – є оцінювання рівня енергоефективності будівлі під час впровадження різних комбінацій енергоефективних заходів.

#### **Матеріали та методи дослідження.**

##### *Об'єкт дослідження*

Об'єктом дослідження є будівля навчального корпусу №5 КПІ ім. Ігоря Сікорського (м. Київ). Будівля побудована в 1974 році. Має складну геометричну форму, складається з 3-х будівель сполучених між собою: 3-ти, 5-ти та 9-ти поверхів. У будівлі теплопостачання централізоване від двох ІТП. Загальна інформація про будівлю наведена в таблиці 1. Характеристика огорожувальних конструкцій до модернізації (базовий варіант) та після заходів наведені в таблиці 2.

##### *Методологія дослідження*

Клас енергетичної ефективності будівлі визначається на основі розрахункових значень питомого енергоспоживання будівлі на опалення та охолодження, яке розраховане за ДСТУ 9190 [15]. Ефективність джерела підсистеми тепловіддачі, розподілення та генерації враховується відповідно до наведених методик та

коефіцієнтів в ДСТУ 9190 [15]. Клас енергетичної ефективності будівлі визначається на основі двох Наказів КМУ [14, 16].

### 1. Загальні відомості про будівлю

| № з/п | Найменування показника                       | Значення показника                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|-------|----------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1     | 2                                            | 3                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| 1     | Тип будівлі                                  | Будівля закладу освіти                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| 2     | Кількість осіб навчальному корпусі           | 1590 осіб (1420 студентів, 170 співробітників)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| 3     | Опалювальна площа                            | 14108,96 м <sup>2</sup>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| 4     | Кондиціонований об'єм                        | 60050 м <sup>3</sup>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| 5     | Кількість поверхів                           | 3-9 поверхів                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| 6     | Загальна площа вікон                         | 699,4 м <sup>2</sup>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| 7     | Загальна площа стін                          | 2955,5 м <sup>2</sup>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| 8     | Теплове навантаження (Гкал/год), для потреб: | 2,777                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| 8.1   | - опалення                                   | 0,832                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| 8.2   | - ГВП                                        | 0,125 (не використовується)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| 8.3   | - вентиляції                                 | 1,82( не використовується)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| 9     | Задана внутрішня температура будівлі         | прийнято, згідно з її призначенням (для режимів опалення та охолодження відповідно) за табл 16. ДСТУ 9190:2022:<br>Внутрішня задана температура для опалення – 20°C<br>Температура чергового режиму опалення – 17°C<br>Графік опалення 50 год/тиждень<br>Внутрішня задана температура охолодження – 24 °C (відсутнє)<br>Температура чергового режиму охолодження – 27 °C (відсутнє)<br>Графік охолодження – 50 год/тиждень (відсутнє) |
| 10    | Розрахункова кратність інфільтрації          | Кратність повітрообміну внутрішніх приміщень забезпечується за рахунок природної вентиляції на рівні нормативного значення $n = 1,0 \text{ год}^{-1}$ .                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| 11    | Система опалення                             | залежна, однотрубна з горизонтальним розведенням; опалювальні прилади встановлені під вікнами без радіаційного захисту, без термостатів (3-поверхова будівля) та однотрубна з вертикальним розведенням; опалювальні прилади встановлені під вікнами без радіаційного захисту, без термостатів (9-ти та 5-ти поверхові будівлі)                                                                                                        |
| 12    | Система охолодження                          | відсутня. За рекомендаціями ДСТУ 9190:2022 для цілей енергетичної сертифікації прийнято: холодна вода 7/12; ефективність системи управління/ регулювання – клас В; тип холодильної машини – компресорна холодильна                                                                                                                                                                                                                    |

|    |                                                           |   |                                                                                                    |
|----|-----------------------------------------------------------|---|----------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    |                                                           |   | машина                                                                                             |
| 13 | Система вентиляції                                        |   | Природна. Механічна вентиляція не працює.                                                          |
| 14 | Джерела енергії                                           |   | У будівлі споживаються централізовані джерела енергії: електрична та теплова енергія, холодна вода |
| 15 | Надання послуг електропостачання                          | з | Відповідно до договору здійснює компанія Укргазресурс                                              |
| 16 | Надання послуг теплопостачання                            | з | відповідно до договору здійснює компанія КП «Київтеплоенерго»                                      |
| 17 | Надання послуг холодного водопостачання та водовідведення | з | відповідно до договору ПрАТ «АК «Київводоканал»                                                    |

## 2. Характеристики огорожувальних конструкцій

| ОК      | Тип              | Орієнтація ОК | Площа, м <sup>2</sup> |             |             | R, м <sup>2</sup> К/Вт |                    |
|---------|------------------|---------------|-----------------------|-------------|-------------|------------------------|--------------------|
|         |                  |               | 3-пов. буд.           | 5-пов. буд. | 9-пов. буд. | База                   | Після модернізації |
| ЗС      | Залізобетонні    | Пд            | 289,2                 | 283,6       | 855,8       | 0,5                    | 4,4                |
|         |                  | Зх            | 403,3                 | 660,9       | 629,5       |                        |                    |
|         |                  | Пн            | 55,4                  | 280,0       | 837         |                        |                    |
|         |                  | Сх            | 317,2                 | 595,3       | 332,8       |                        |                    |
|         |                  | Пд-Сх         | -                     | -           | 300,4       |                        |                    |
| Вікна   | Дерев'яні        | Пд            | -                     | 4,3         | 280,6       | 0,4                    | 1,35               |
|         |                  | Зх            | -                     | 97,1        | 3,1         |                        |                    |
|         |                  | Пн            | -                     | 8,6         | 93,1        |                        |                    |
|         |                  | Сх            | -                     | 128,5       | 36,4        |                        |                    |
|         | Металопластикові | Пд            | 52                    | 12,9        | 331,2       | 0,75                   | 1,35               |
|         |                  | Зх            | 204,2                 | 439         | 1,4         |                        |                    |
|         |                  | Пн            | 48                    | 12,9        | 366,8       |                        |                    |
|         |                  | Сх            | 290,3                 | -           | -           |                        |                    |
|         | Склоблоки        | Сх            | -                     | 248,9       | -           | 0,33                   | 1,35               |
| Двері   | Металеві         | Пн            | -                     | 6           | 6           | 0,65                   | -                  |
|         |                  | Сх            | 11,5                  | -           | -           |                        |                    |
|         |                  | Зх            | 11,5                  | -           | -           |                        |                    |
| Дах     | -                | -             | 913,5                 | 979,6       | 776,6       | 1,2                    | 6                  |
| Підлога | -                | -             | 965,2                 | 979,6       | 776,6       | 1,3                    | 5,3                |

Сумарна енергопотреба на опалення та охолодження визначені за формулами 1 та 2 відповідно:

$$Q_{H,nd,cont} = Q_{H,ht} - \eta_{H,gH} Q_{H,gH} - Q_{ve,pre-heat}, \quad (1)$$

$$Q_{C,nd,cont} = Q_{C,ht} - \eta_{C,ls}(Q_{C,ht} - Q_{ve,pre-cool}), \quad (2)$$

де  $Q_{H,nd,cont}$ ,  $Q_{C,nd,cont}$  - енергопотреба будівлі при неперервному опаленні та охолодженні, відповідно, кВт·год;  $Q_{H,ht}$ ,  $Q_{C,ht}$  - сумарна теплопередача в режимі опалення та охолодження, відповідно, кВт·год;  $\eta_{H,gn}$ ,  $\eta_{C,ls}$  - безрозмірний коефіцієнт використання надходжень у період опалення та охолодження, відповідно;  $Q_{H,gn}$ ,  $Q_{C,gn}$  - сумарні теплонадходження в режимі опалення та охолодження, відповідно, кВт·год;  $Q_{ve,pre-cool}$ ,  $Q_{ve,pre-heat}$  - енергопотреба для центрального попереднього охолодження або підігрівання повітря, відповідно, кВт·год.

Для визначення енергоспоживання будівлі на опалення враховується енергоспоживання підсистемою тепловіддачі, розподілення та вироблення/генерації. Для визначення енергоспоживання будівлі на охолодження враховується енергоспоживання підсистемою розподілення та вироблення/генерації.

У роботі проведено розрахунок базової моделі існуючої будівлі відповідно до нормативних вимог до мікроклімату в навчальному корпусі ЗВО та нормативних зовнішніх вимог. Також проведено верифікацію математичної моделі відповідно до фактичних умов експлуатації, розбіжність результатів не перевищує 10 %. Базова енергетична модель будівлі відповідає класу енергетичної ефективності «G» та має питоме енергоспоживання на потреби опалення та охолодження 88,4 кВт·год/м<sup>3</sup>, визначеного відповідно до Наказу КМУ №261 [16]. Нормативна величина питомого енергоспоживання  $EP_p$  для досліджуваної будівлі становить 35,61 кВт·год/м<sup>3</sup>, що визначена відповідно до Наказу КМУ № 260 [14] за формулою 3 (для першої кліматичної зони):

$$EP_p = 55\Lambda_{bci} + 24 \quad (3)$$

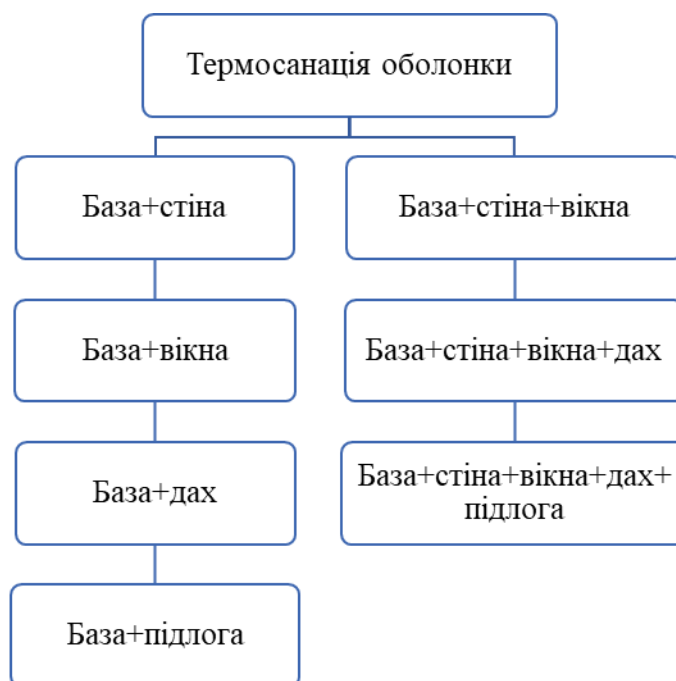
де  $\Lambda_{bci}$  - коефіцієнт компактності будівлі, м<sup>-1</sup>.

У статті проведено параметричний аналіз впровадження енергозберігаючих заходів. Етапи енергоефективних заходів поділено на три напрямки: термосанація оболонки; інженерні системи та енергоефективні режими; джерела енергозабезпечення (рис.2).

У кожному із трьох виділених напрямків заходів з підвищення енергоефективності розглядались різні комбінації теплозахисту оболонки будівлі (рис.3, а), комбінація заходів з реконструкції інженерних систем та їх режимів роботи (рис.3, б) та джерел енергозабезпечення (рис.3, в).



Рис. 2. Блок-схема реалізації енергоефективних заходів в будівлях



а



б



в

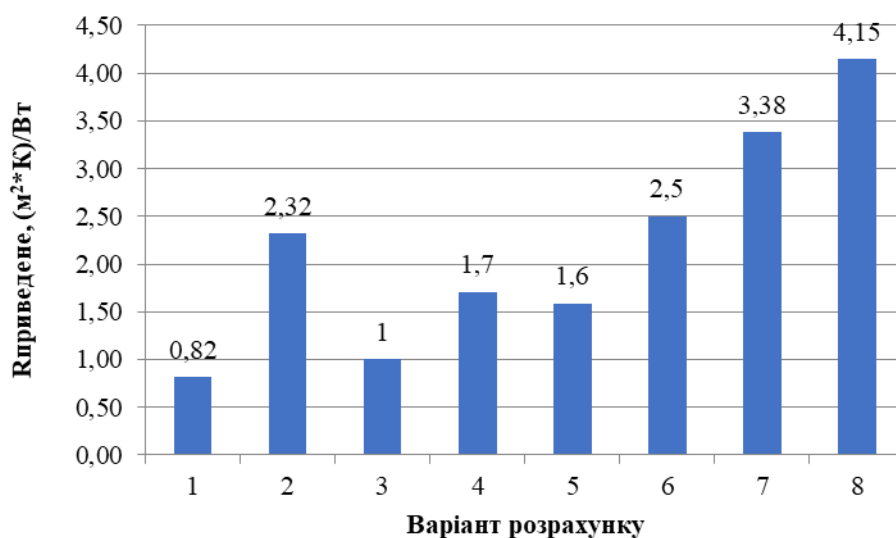
**Рис. 3. Варіанти розрахунку комбінації енергозберігаючих заходів**

*Перший напрямок підвищення енергоефективності досліджуваної будівлі*  
*"Заходи з термомодернізації оболонки будівлі"*

У роботі досліджено вісім варіантів розрахунку заходів щодо покращення теплозахисних властивостей огорожувальної конструкції будівлі, а саме (термічний опір огорожень після утеплення наведено в таблиці 2):

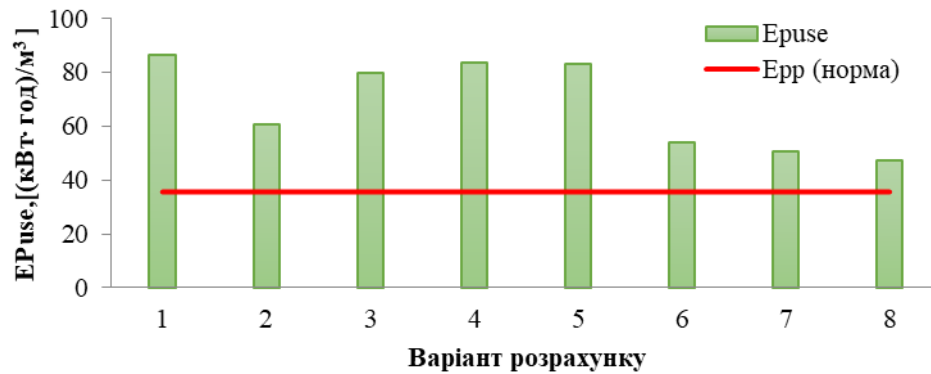
- 1.1. Базовий розрахунок;
- 1.2. Базовий розрахунок + Утеплення зовнішніх стін;
- 1.3. Базовий розрахунок + Заміна вікон на більш енергоефективні;
- 1.4. Базовий розрахунок + Утеплення даху;
- 1.5. Базовий розрахунок + Утеплення підлоги;
- 1.6. Базовий розрахунок + Утеплення зовнішніх стін + Заміна вікон на більш енергоефективні;
- 1.7. Базовий розрахунок + Утеплення зовнішніх стін + Заміна вікон на більш енергоефективні + Утеплення даху;
- 1.8. Базовий розрахунок + Утеплення зовнішніх стін + Заміна вікон на більш енергоефективні + Утеплення даху + Утеплення підлоги.

На рис.4 представлено значення приведено термічного опору будівлі для кожного з варіантів розрахунку.



**Рис. 4. Приведений термічний опір будівлі для першого напрямку підвищення енергоефективності досліджуваної будівлі, м²К/Вт**

На рис.5 представлено питоме енергоспоживання будівлі на потреби опалення на охолодження для восьми розглянутих варіантів.



**Рис. 5. Питоме енергоспоживання будівлі для першого напрямку підвищення енергоефективності досліджуваної будівлі, кВт·год/м³**

Під час комплексного впровадження заходів щодо покращення теплозахисних властивостей оболонки будівлі можливо досягти показників питомого енергоспоживання на потреби опалення та охолодження, що відповідатимуть класу енергоефективності «Е».

*Другий напрямок підвищення енергоефективності досліджуваної будівлі "Заходи з налагоджування інженерних систем та ефективні режими роботи систем".*

Розглянуто п'ять різних варіантів розрахунків:

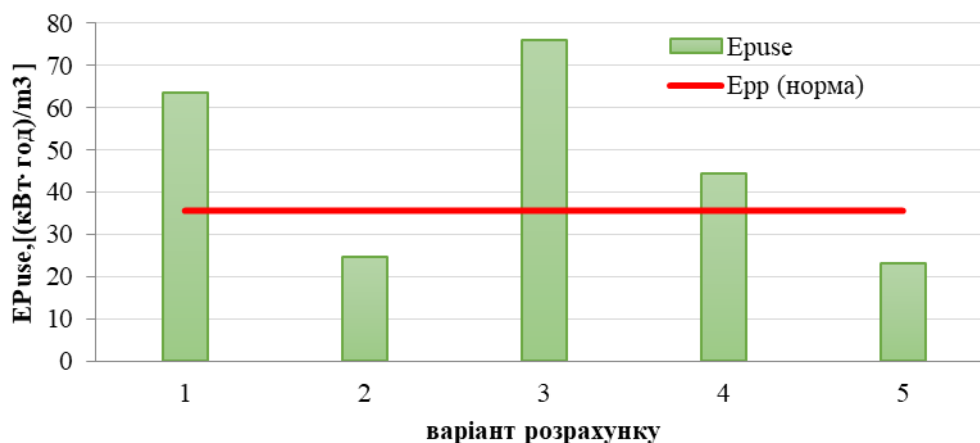
- 2.1.Базовий розрахунок + Налагоджувана системи вентиляції;
- 2.2.Базовий розрахунок + Повністю утеплена будівля + Налагоджувана система вентиляції;
- 2.3.Базовий розрахунок + Переривчасті режими опалення;
- 2.4.Базовий розрахунок + Повністю утеплена будівля + Переривчасті режими опалення;
- 2.5.Базовий розрахунок + Повністю утеплена будівля + Налагоджувана система вентиляції + Переривчасті режими опалення.

В табл. 3 наведено характеристики роботи інженерних систем після модернізації за другим напрямком підвищення енергоефективності досліджуваної будівлі.

### 3. Характеристика роботи інженерних систем після модернізації

| № варіанту розрахунку | Захід                                                                                                                        | Характеристика                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|-----------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 2.1                   | Базовий розрахунок +<br>Налагоджувана система<br>вентиляції                                                                  | Для варіанту теплозахисних властивостей оболонки існуючої будівлі (базовий варіант) розглянуто впровадження системи механічної вентиляції з рекуперацією теплоти.<br>Впровадження роботи механічної системи вентиляції з рекуперацією теплоти. В якості рекуператора використано пластинчастий теплообмінник з протитоком з ефективністю утилізації 0,65 – ДСТУ-9190.  |
| 2.2                   | Базовий розрахунок +<br>Повністю утеплена будівля +<br>Налагоджувана система<br>вентиляції                                   | Для варіанту теплозахисних властивостей оболонки утепленої будівлі до сучасних вимог розглянуто впровадження системи механічної вентиляції з рекуперацією теплоти.<br>Впровадження роботи механічної системи вентиляції з рекуперацією теплоти. В якості рекуператора використано пластинчастий теплообмінник з протитоком з ефективністю утилізації 0,65 – ДСТУ-9190. |
| 2.3                   | Базовий розрахунок +<br>Переривчасті режими<br>опалення                                                                      | Для варіанту теплозахисних властивостей оболонки існуючої будівлі (базовий варіант) розглянуто впровадження переривчастих режимів опалення.<br>Внутрішня задана температура для опалення – 20°C в робочі години.<br>Температура чергового режиму опалення – 17°C в період не зайнятості приміщень.<br>Графік опалення 50 год/тиждень з температурою 20°C.              |
| 2.4                   | Базовий розрахунок +<br>Повністю утеплена будівля +<br>Переривчасті режими<br>опалення                                       | Для варіанту теплозахисних властивостей оболонки утепленої будівлі до сучасних вимог розглянуто впровадження переривчастих режимів опалення будівлі.<br>Внутрішня задана температура для опалення – 20°C в робочі години.<br>Температура чергового режиму опалення – 17°C в період не зайнятості приміщень.<br>Графік опалення 50 год/тиждень з температурою 20°C.     |
| 2.5                   | Базовий розрахунок +<br>Повністю утеплена будівля +<br>Налагоджувана система<br>вентиляції + Переривчасті<br>режими опалення | Для варіанту теплозахисних властивостей оболонки утепленої будівлі до сучасних вимог розглянуто впровадження переривчастих режимів опалення будівлі та механічної вентиляції з рекуперацією теплоти.                                                                                                                                                                   |

На рис. 6 представлено результати питомого енергоспоживання будівлі на опалення та охолодження для п'яти варіантів розрахунків.



**Рис. 6** Питоме енергоспоживання будівлі для другого напрямку підвищення енергоефективності досліджуваної будівлі, кВт·год/м³

За результатами розрахунків заходи для окремих інженерних систем клас енергоефективності не змінюють. У разі застосування варіанту повного утеплення та режимів переривчастого опалення будівлі можливий перехід до класу енергоефективності «Е». Для варіанту повного утеплення та впровадження переривчастих режимів роботи з одночасним запровадженням системи вентиляції з рекуперацією тепла можливе досягнення показників енергоефективності на рівні класу «В» (варіант 2.5).

*Третій напрямок підвищення енергоефективності досліджуваної будівлі*  
*"Заходи із заміни джерел енергозабезпечення будівлі"*

У цьому блоці розглянуто дванадцять різних варіантів розрахунків, а саме:

- 3.1. Базовий розрахунок + Використання котла на біомасі;
- 3.2. Базовий розрахунок + Повністю утеплена будівля (варіант 1.8) + використання котла на біомасі;
- 3.3. Базовий розрахунок + Опалення з регулюванням, без корегування ІТП;
- 3.4. Базовий розрахунок + Повністю утеплена будівля (варіант 1.8) + Опалення з регулюванням, без корегування ІТП;
- 3.5. Базовий розрахунок + Опалення з регулюванням, корегування ІТП;
- 3.6. Базовий розрахунок + Повністю утеплена будівля (варіант 1.8) + Опалення з регулюванням, корегування ІТП;
- 3.7. Базовий розрахунок + Теплозабезпечення від електронагрівача;

- 3.8. Базовий розрахунок + Повністю утеплена будівля (варіант 1.8) + Теплозабезпечення від електронагрівача;
- 3.9. Базовий розрахунок + Теплозабезпечення від повітряного теплового насосу;
- 3.10. Базовий розрахунок + Повністю утеплена будівля (варіант 1.8) + теплозабезпечення від повітряного теплового насосу;
- 3.11. Базовий розрахунок + Теплозабезпечення від ґрунтового теплового насосу;
- 3.12. Базовий розрахунок + Повністю утеплена будівля (варіант 1.8) + ґрунтового теплового насосу.

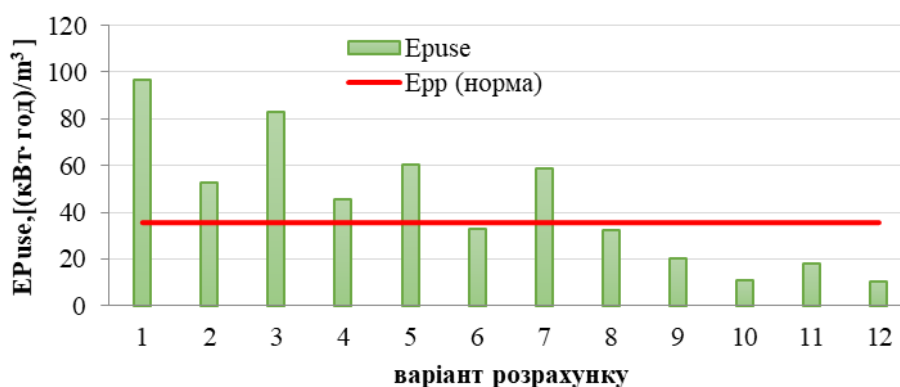
У табл. 4 наведено ефективність джерел енергозабезпечення, що розглядаються, відповідно до ДСТУ 9190:2022 [15].

#### **4. Ефективність джерел теплозабезпечення**

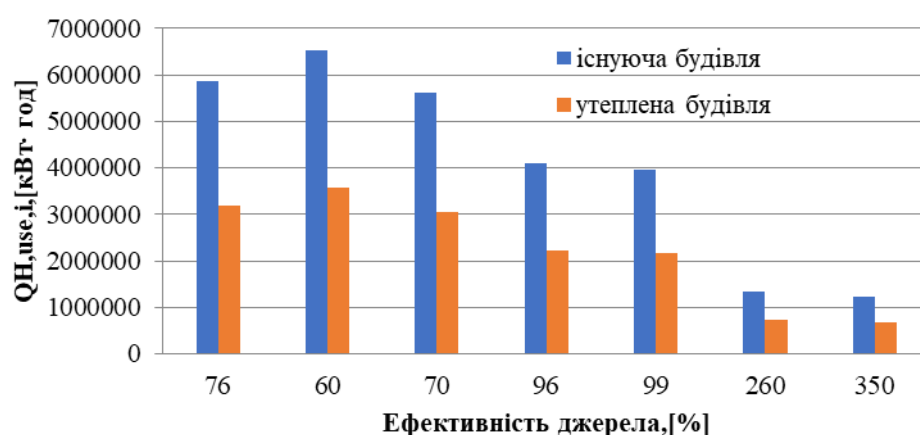
| №з/п | Тип джерела                                                  | Ефективність джерела |
|------|--------------------------------------------------------------|----------------------|
| 1.   | Котел на біомасі                                             | 0,6                  |
| 2.   | Централізоване опалення з регулюванням, без корегування ІТП; | 0,7                  |
| 3.   | Централізоване опалення з регулюванням, з корегування ІТП;   | 0,96                 |
| 4.   | Електричне опалення                                          | 0,99                 |
| 5.   | Повітряний тепловий насос                                    | 2,6                  |
| 6.   | Ґрунтовий тепловий насос                                     | 3,5                  |

На рис. 7 представлено питоме енергоспоживання будівлі на опалення та охолодження для розглянутих варіантів розрахунків третього напрямку підвищення енергоефективності досліджуваної будівлі. На рис. 8 наведено коефіцієнти ефективності джерел енергозабезпечення, що розглядаються. Ефективність джерел теплозабезпечення обрано відповідно до рекомендацій ДСТУ 9190 [15].

Під час перерахунку на первинну енергію і визначенні класу енергоефективності за показниками споживання первинної енергії (такий підхід в Україні нормативно не визначений) за використання джерел теплозабезпечення, які споживають електричну енергію, ефект від впровадження буде менший (клас енергоефективності буде нижчий).



**Рис. 7** Питоме енергоспоживання будівлі для третього напрямку підвищення енергоефективності досліджуваної будівлі,  $\text{кВт}\cdot\text{год}/\text{м}^3$



**Рис. 8** Вплив ефективності джерел теплозабезпечення на споживання енергії на опалення досліджуваної будівлі

За результатами дослідження встановлено, що для існуючої будівлі перехід на біомасу для опалення з регулюванням, без корегування ІТП не призведе до зміни класу енергоефективності, але для випадку утепленої будівлі (варіант 1.8) - клас змінився до «Е». У випадку використання електричного котла та утеплення будівлі (варіант 1.8) клас енергоефективності досліджуваної будівлі - «С». За умови використання повітряного чи ґрунтового теплового насоса та утеплення будівлі (варіант 1.8) клас енергетичної ефективності досягає рівня «А».

### Висновки і перспективи.

У цьому дослідженні було проведено параметричний аналіз впливу комбінації енергозберігаючих заходів на клас енергетичної ефективності будівлі. Дослідження

проведені на прикладі навчального корпусу № 5 КПІ ім. Ігоря Сікорського. Теплозахист будівлі відповідає вимогам 80-х років XX століття, що за чинними нормативними вимогами України еквівалентно класу енергетичної ефективності «G». Після впровадження запропонованого комплексу заходів щодо покращення теплозахисних властивостей оболонки будівлі відповідно до ДБН «Теплова ізоляція та енергоефективність будівель» [17] можна досягти класу «E». Однак цього є не достатньо для виконання мінімальної вимоги з енергоефективності, встановленої цим стандартом.

Досліджено вплив реконструкції інженерних систем та впровадження енергоефективних режимів їх роботи. Встановлено, що впровадження переривчастих режимів опалення дозволяє заощадити 12 % до утеплення будівлі та 7 % після її утеплення до рівня мінімальних вимог. Впровадження системи рекуперації теплоти в системі вентиляції дозволить заощадити 23 % та 48% енергії для не утепленої та утепленої будівлі, відповідно. Впровадження комплексної термомодернізації будівлі, що включатиме заходи з утеплення оболонки до рівня мінімальних вимог, впровадження системи рекуперації теплоти в системі вентиляції та використання переривчастих режимів роботи системи опалення, дозволить перейти в клас енергоефективності «B».

У випадку заміни джерел теплозабезпечення та комплексній термомодернізації будівлі, досягається клас енергетичної ефективності на рівні «A» за використання у якості джерела теплоти теплових насосів.

Доцільним є перехід на енергетичну сертифікацію будівель за первинною енергією, що діє в ряді країн Європи. Це дозволить врахувати ефективність виробництва всіх видів енергії, зокрема електроенергії, які використовуються в будівлі.

#### **Список використаних джерел**

1. Manzooretal B. Zero-Energy Buildings and Energy Efficiency towards Sustainability: A Bibliometric Reviewand a Case Study. *Applied Sciences*. 2022. Vol. 12, no. 4. P. 2136. URL: <https://doi.org/10.3390/app12042136>
2. Про енергетичну ефективність будівель: Закон України від 22.06.2017 № 2118-VIII. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2118-19#Text>

3. Цілі сталого розвитку. ПРООН в Україні. Режим доступу: <https://www.ua.undp.org/content/ukraine/uk/home/sustainable-development-goals.html>
4. Jordaanelal S. M. The role of energy technology innovation in reducing green house gas emissions: A case study of Canada. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2017. Vol. 78. P. 1397 – 1409. URL: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.162>
5. Magrinietal A. From nearly zero energy buildings (NZEB) to positive energy buildings (PEB): The next challenge – Themostrecent European trends with some notes on the energy analysis of a forerunner PEB example. *Developments in the Built Environment*. 2020. Vol. 3. P. 100019. URL: <https://doi.org/10.1016/j.dibe.2020.100019>
6. Directive 2010/31/EU of the European Parliamentand of Councilof 19 May 2010 on the energy performance of building (EPBD recast). European Union, 2010. Off. J. Eur. Union. L 153/13.
7. Про схвалення Енергетичної стратегії України на період до 2035 року “Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність” : Розпорядж. Каб. Міністрів України від 18.08.2017 р. № 605-р. Режим доступу:: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/605-2017-p#Text> (дата звернення: 26.04.2022).
8. Directive (EU)2012/27/EU of the European Parliament And Of The Council of 25 October 2012 on energy efficiency, amending Directives 2009/125/EC and 2010/30/EU and repealing Directives 2004/8/EC and 2006/32/EC European Union, 2012. Off. J. Eur. Union. L 315/1.
9. Про Національний план дій з енергоефективності на період до 2030 року : Розпорядж. Каб. Міністрів України від 29.12.2021 р. № 1803-р. Режим доступу:: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1803-2021-p#Text> (дата звернення: 26.04.2022).
10. Угода про асоціацію між Україною, з однієї сторони, та Європейським Союзом, Європейським співтовариством з атомної енергії і їхніми державами-членами, з іншої сторони: Угода Україна від 27.06.2014 р. : станом на 30 листоп. 2015р. Режим доступу: [https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/984\\_011#Text](https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/984_011#Text) (дата звернення: 27.04.2022).
11. Угода про асоціацію між Україною, з однієї сторони, та Європейським Союзом, Європейським співтовариством з атомної енергії і їхніми державами-членами, з іншої сторони (Додатки): Угода Україна від 27.06.2014 р. : станом на 22 листоп. 2021 р. Режим доступу:: [https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/984\\_a11#Text](https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/984_a11#Text) (дата звернення: 27.04.2022).
12. EU-navigator. *EU-navigator*. URL: <https://navigator.eurointegration.com.ua/sectors/energy/energy-efficiency> (date of access: 27.04.2022).
13. Державний Фонд Енергоефективності: гранти для ОСББ | Фонд енергоефективності. *Державний Фонд Енергоефективності: гранти для ОСББ | Фонд енергоефективності*. Режим доступу: <https://eefund.org.ua/> (дата звернення: 04.05.2022).
14. Про затвердження Мінімальних вимог до енергетичної ефективності будівель: Наказ Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального

господарства України від 27.10.2020. №260. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1257-20>.

15. ДСТУ 9190:2022 Енергетична ефективність будівель. Метод розрахунку енергоспоживання під час опалення, охолодження, вентиляції, освітлення та гарячого водопостачання. [Чинний від 2023-03-01]. ДП«УкрНДНЦ», 2022. 152 с.

16. Про затвердження Змін до Методики визначення енергетичної ефективності будівель: Наказ Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України від 27.10.2020. № 261. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1254-20>.

17. ДБН В.2.6-31:2021. Теплова ізоляція та енергоефективність будівель [Текст]. На заміну ДБН В.2.6-31:2016; чинний від 2022.09.01. К.: Мінрегіон України. 27 с.

### References

1. Manzooretal, B. (2022). Zero-Energy Buildings and Energy Efficiency towards Sustainability: A Bibliometric Reviewand a Case Study. *Applied Sciences*. 12 (4), P. 2136. Available at: <https://doi.org/10.3390/app12042136>

2. Pro enerhetychnu efektyvnist budivel [About energy efficiency of buildings]: Zakon Ukrainy vid 22.06.2017 № 2118-VIII. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2118-19#Text>

3. Tsili staloho rozvytku [Goals of sustainable development]. PROON v Ukraini. Available at: [https://www.ua.undp.org /content/ukraine/uk/home/sustainable-development-goals.html](https://www.ua.undp.org/content/ukraine/uk/home/sustainable-development-goals.html)

4. Jordaanelal, S. M. (2017). The role of energy technology innovation in reducing green house gas emissions: A case study of Canada, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 78, 1397 – 1409. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.162>

5. Magrinietal, A. (2020). From nearly zero energy buildings (NZEB) to positive energy buildings (PEB): The next challenge – Themostrecent European trends with some notes on the energy analysis of a forerunner PEB example. *Developments in the Built Environment*, 3, 100019. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.dibe.2020.100019>

6. Directive 2010/31/EU of the European Parliamentand of Councilof 19 May 2010 on the energy performance of building (EPBD recast). European Union, 2010. Off. J. Eur. Union. L 153/13.

7. Pro skhvalennia Enerhetychnoi stratehii Ukrainy na period do 2035 roku "Bezpeka, enerhoefektyvnist, konkurentospromozhnist" [On the approval of the Energy Strategy of Ukraine for the period until 2035 "Safety, energy efficiency, competitiveness"]: Rozporiadzh. Kab. Ministriv Ukrainy vid 18.08.2017 r. № 605-r. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/605-2017-r#Text> (data zvernennia: 26.04.2022).

8. Directive (EU)2012/27/EU of the European Parliament And Of The Council of 25 October 2012 on energy efficiency, amending Directives 2009/125/EC and 2010/30/EU and repealing Directives 2004/8/EC and 2006/32/EC European Union, 2012. Off. J. Eur. Union. L 315/1.

9. Pro Natsionalnyi plan dii z enerhoefektyvnosti na period do 2030 roku [About the National Energy Efficiency Action Plan for the period up to 2030]: Rozporiadzh. Kab. Ministriv Ukrainyvid 29.12.2021 r. № 1803-r. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1803-2021-r#Text> (data zvernennia: 26.04.2022).

10. Uhoda pro asotsiatsiiu mizh Ukrainoiu, z odniiei storony, ta Yevropeiskym Soiuzom, Yevropeiskym spivtovaryystvom z atomnoi enerhii i yikhnimy derzhavamy-chlenamy, z inshoistorony [Association Agreement between Ukraine, on the one hand, and the European Union, the European Atomic Energy Community and their member states, on the other hand]: Uhoda Ukrainavid 27.06.2014 r. : stanom na 30 lystop. 2015 r. Available at: [https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/984\\_011#Text](https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/984_011#Text) (data vernennia: 27.04.2022).

11. Uhoda pro asotsiatsiiu mizh Ukrainoiu, z odniiei storony, ta Yevropeiskym Soiuzom, Yevropeiskym spivtovaryystvom z atomnoi enerhii i yikhnimy derzhavamy-chlenamy, z inshoi storony (Dodatky) [Association Agreement between Ukraine, on the one hand, and the European Union, the European Atomic Energy Community and their member states, on the other hand]: Uhoda Ukrainavid 27.06.2014 r.: stanom na 22 lystop. 2021 r. Available at: : [https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/984\\_a11#Text](https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/984_a11#Text) (data zvernennia: 27.04.2022).

12. EU-navigator. *EU-navigator*. Available at: <https://navigator.euointegration.com.ua/sectors/energy/energy-efficiency> (date of access: 27.04.2022).

13. Derzhavnyi Fond Enerhoefektyvnosti: hrantydlia OSBB | Fond enerhoefektyvnosti [State Energy Efficiency Fund: grants for condominiums Energy Efficiency Fund]. Derzhavnyi Fond Enerhoefektyvnosti: hranty dla OSBB | Fond enerhoefektyvnosti. Available at: <https://eefund.org.ua/> (data zvernennia: 04.05.2022).

14. Prozatverdzhennia Minimalnykh vymoh do enerhetychnoi efektyvnosti budivel [On the approval of the Minimum requirements for the energy efficiency of buildings]: Nakaz Ministerstva rehionalnoho rozvytku, budivnytstva ta zhytlovo-komunalnoho hospodarstva Ukrainy vid 27.10.2020. №260. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1257-20>.

15. DSTU 9190:2022 Enerhetychna efektyvnist budivel. Metod rozrakhunku enerhospozhyvannia pid chas opalennia, okholodzhennia, ventyliatsii, osvitlenni ta hariachoho vodopostachannia [Energy efficiency of buildings. Method for calculating energy consumption during heating, cooling, ventilation, lighting and hot water supply]. [Chynnyivid 2023-03-01]. DP«UkrNDNTs», 2022, 152.

16. Pro zatverdzhennia Zmin do Metodyky vyznachennia enerhetychnoi efektyvnosti budivel [On the approval of Changes to the Methodology for determining the energy efficiency of buildings]: Nakaz Ministerstva rehionalnoho rozvytku, budivnytstva ta zhytlovo-komunalnoho hospodarstva Ukrainy vid 27.10.2020. № 261. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1254-20>.

17. DBN V.2.6-31:2021. Teplova izoliatsiia ta enerhoefektyvnist budivel Thermal insulation and energy efficiency of buildings]. Na zaminu DBN V.2.6-31:2016; chynnyivid 2022.09.01. Kyiv: Minrehion Ukrainy, 27.

**PARAMETRIC ANALYSIS OF THE IMPLEMENTATION OF ENERGY  
EFFICIENCY MEASURES AND THEIR IMPACT ON THE ENERGY  
EFFICIENCY CLASS OF THE BUILDING**

**V. Deshko, I. Bilous, V. Yeromenko, T.Boiko, O. Shevchenko**

**Abstract.** *Improving the energy efficiency of buildings is an important component on the way to energy efficiency of the country as a whole. The article investigates the impact of implementing various combinations of energy saving measures and their impact on the energy efficiency class of buildings, using the example of the educational building of the Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute (Kyiv). The existing state of the building corresponds to the energy efficiency class "G".*

*A complete thermal modernization of the building in accordance with the current requirements for thermal protection can reduce energy consumption by the building by up to 44 % and reaches the energy efficiency class "E". It was found that the introduction of intermittent heating modes can save 12 % for an un-insulated building and 7 % for an insulated building. Heat recovery in ventilation systems can save 23 % and 48 % of energy for non-insulated and insulated buildings, respectively. Implementation of a comprehensive thermal modernization of the building envelope in combination with heat recovery in ventilation systems in combination with intermittent operating modes allows to move to energy efficiency class "B". When replacing heat supply sources after a complete thermal modernization of a building, it can move to energy efficiency class "A" when using heat pumps.*

**Kay words:** *energy consumption, energy need, heat transfer, certificate, energy efficiency class*