

ДОСВІД РОЗРАХУНКОВО-ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ОЦІНЮВАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ БУДІВЛІ ШКОЛИ

EXPERIENCE OF DESIGN AND EXPERIMENTAL EVALUATION OF ENERGY INDICATORS OF SCHOOL BUILDING

Настоящий В.А., к.т.н., проф., Пашинський В.А., д.т.н., проф.,
Пашинський М.В., к.т.н., Джирма С.О., к.т.н., доц.
(Центральноукраїнський національний технічний університет,
м. Кропивницький)

Nastoiashchyi V.A., PhD, prof., Pashynskyi V.A., Sc.D., prof.,
Pashynskyi M.V., PhD, Dzhyrma S.O., PhD, associate professor (Central
Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi)

Висвітлена методика і результати оцінювання показників енергетичної ефективності будівлі школи з урахуванням теплових характеристик огорожувальних конструкцій, отриманих за даними вимірювань у процесі натурних обстежень. Проаналізовано вплив термомодернізації на клас енергетичної ефективності будівлі.

During the examination, numerous damages of the outer wall cladding, unfilled seams between the wall blocks and poorly executed junction of window and door frames to a wall were revealed, where heat transfer is highly increased due to air leakage from the inside of the building. The actual values of the heat transfer resistance of walls and translucent structures, experimentally established using a thermohygrometer, do not meet the requirements of current standards. Examination of the outer walls and window blocks using a thermal imager revealed thermal anomalies that significantly reduce the thermal insulation characteristics of enclosure structures. It is noted that the use of technical devices makes it easy to detect thermal anomalies and to estimate the characteristics of enclosure structures. Based on the research results, an energy passport of the building was developed. The design value of specific energy consumption is $55.7 \text{ kW} \times \text{h} / \text{m}^3$. Taking into account the maximum value of $35 \text{ kW} \times \text{h} / \text{m}^3$ for educational institutions, that are a subject of thermal modernization, the building was examined and classified as energy efficiency class F. Design proposals have been developed for thermal modernization of the building by using ventilated facade systems with rockwool insulation. After thermal modernization, the specific energy consumption are reduced to $34.7 \text{ kW} \times \text{h} / \text{m}^2$, and the energy efficiency is improving to class C.

Ключові слова:

Будівля, огорожувальні конструкції, обстеження, клас енергоефективності.
Building, enclosure structures, expertise, energy efficiency class.

Постановка проблеми. Зменшення витрат енергетичних ресурсів є стратегічним завданням економіки України. Для будівельної галузі це завдання значною мірою зводиться до підвищення енергоефективності житлових і громадських будівель та відповідного зниження витрат тепла на опалення. Основні принципи енергозбереження в будівництві встановлені Законом України "Про енергетичну ефективність будівель" та деталізовані в нормативних документах. Особливе значення має задача підвищення рівня енергетичної ефективності існуючих будівель шляхом проведення термомодернізації. При розв'язанні цього завдання вагому роль відіграють натурні обстеження технічного стану огорожувальних конструкцій будівель, що підлягають термомодернізації, з метою якомога точнішого відображення їх реальних теплових та енергетичних характеристик.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Енергетичний аудит будівель з обстеженням технічного стану, визначенням теплових характеристик огорожувальних конструкцій та оцінюванням показників енергетичної ефективності здійснюється згідно з вимогами нормативних документів України. Загальні вимоги до енергетичної ефективності будівель та теплових характеристик огорожень встановлені Законом України [1] та нормами проектування [2]. Енергетичний аудит будівель проводиться за методикою [3] і завершується визначенням теплових характеристик огорожень за [4, 5] та оцінюванням показників енергетичної ефективності методами [2, 6] з урахуванням температурного режиму експлуатації за [2, 7]. Кінцевим результатом енергетичного аудиту є енергетичний паспорт, складений згідно з вимогами [2, 8].

Термомодернізація існуючих будівель зазвичай здійснюється шляхом додаткового фасадного утеплення згідно з вимогами норм [9, 10] та типовими технічними рішеннями, наприклад [11]. Чинна нормативна база забезпечує можливість підвищення енергетичних показників існуючих будівель шляхом здійснення термомодернізації за результатами енергетичного аудиту.

Мета роботи полягає у викладенні досвіду та практичних результатів виконання комплексу досліджень і заходів з підвищення енергетичної ефективності будівлі навчального закладу.

Архітектурно-конструктивна характеристика об'єкта дослідження. З метою проведення термомодернізації обстежена будівля однієї з шкіл на території Кіровоградської області. Район будівництва відноситься до першої температурної зони за ДБН [1] з розрахунковою зимовою температурою зовнішнього повітря -22°C .

Будівля школи, зведена в 1985 році за типовим проектом, у плані має Т-подібну форму з габаритними розмірами 75×37 м. До триповерхового корпусу висотою 11,2 м, фасад якого зображений на рисунку 1, прибудована двоповерхова частина висотою 6,6 м зі спортзалом, їдальнею та допоміжними приміщеннями. Висота поверху – 3,3 м. Будівля безкаркасна з поздовжніми несучими стінами та монолітними бетонними стрічковими фундаментами.



Рис. 1. Фасад головного корпусу будівлі школи

Зовнішні стіни виконані з легкобетонних блоків товщиною 400 мм та облицьовані керамічною плиткою на цементно-піщаному розчині. Внутрішня поверхня стін опоряджена штукатуркою з вапняно-піщаного розчину. Вікна й зовнішні двері раніше замінені на металопластикові з однокамерними склопакетами. Перекриття виконані із залізобетонних круглопустотних плит, шатрова покрівля основного корпусу покрита хвилястими азбоцементними листами. Двоповерхова прибудова спортивного залу та кухні з їдальнею має плоский дах без технічного поверху.

Загальна площа зовнішніх огорожувальних конструкцій складає 4633 м² при коефіцієнті скління фасадів 0,25. Площа опалюваних приміщень становить 3047 м², опалюваний об'єм – 10515 м³, показник компактності будинку дорівнює 0,44.

Методика й результати натурального обстеження. Обстеження будівлі школи виконувалося з метою виявлення реальних теплових характеристик зовнішніх огорожувальних конструкцій, оцінювання класу енергетичної ефективності будівлі та розроблення заходів з термомодернізації. У процесі натурального обстеження зафіксовані дефекти й пошкодження огорожувальних конструкцій, встановлені їх теплові характеристики, виявлені зони підвищеної теплопровідності, підготовлені вихідні дані для оцінювання втрат тепла та визначення класу енергетичної ефективності будівлі. Особливістю проведеного обстеження є експериментальне оцінювання опору теплопередачі стін за допомогою термогігрометра, а також оцінювання температурного режиму зовнішньої поверхні стін і виявлення зон підвищеної теплопровідності за допомогою тепловізора.

У результаті обстеження виявлена низка системних дефектів та пошкоджень зовнішніх стін, серед яких найчастіше зустрічаються:

- руйнування зовнішнього облицювання, площа якого сягає 20% поверхні зовнішніх стін;
- незаповнені шви між стіновими блоками, крізь які відбувається витік теплого повітря зсередини будівлі;
- неякісно виконані вузли примикання віконних і дверних блоків до стін, у яких спостерігається різко підвищена теплопередача.

Наявність вказаних дефектів підтверджується результатами спостережень за допомогою тепловізора, приклади яких наведені на рисунках 2 і 3. На обох рисунках наведені фотографії поверхні стіни поряд з відповідними результатами сканування тепловізором.

Обстеження зовнішніх стін та віконних блоків за допомогою тепловізора дозволили не лише проаналізувати температурні поля зовнішньої поверхні огорожень, але й оцінити температури в характерних точках зовнішніх стін. При цьому виявлені теплові аномалії, які істотно знижують теплоізоляційні властивості огорожень:

- підвищена теплопередача в зоні віконних відкосів;
- підвищена теплопередача на швах стінових блоків унаслідок незаповнених швів та витоку внутрішнього повітря крізь ці шви;
- в зонах, не захищених зруйнованою облицювальною плиткою, температура зовнішньої поверхні стіни може бути на 4...10°C вищою, ніж на інших ділянках стіни.



Рис. 2. Результат сканування простінка та віконних відкосів

Рисунок 2 ілюструє підвищену теплопередачу в зоні віконних відкосів, а також нерівномірність розподілу температури по зовнішній поверхні стіни,

особливо в зоні пошкодженого зовнішнього облицювання. На рисунку 3 відображені теплові аномалії у вузлах примикання входних дверей, де обстеженнями виявлені не заповнені монтажною піною ділянки. Через ці ділянки монтажних швів відбувається витік внутрішнього повітря, яке й нагріває зовнішню поверхню стін до температури 15...18°C.



Рис. 3. Результат сканування вузлів примикання входних дверей

Досвід сканування поверхні стін тепловізором показав, що такий підхід дозволяє швидко виявити зони підвищеної теплопередачі та звернути на них особливу увагу в процесі обстеження. Саме за допомогою тепловізора на обстежених фасадах виявлені виражені системні теплові аномалії та дефекти стін, які знижують їх теплоізоляційні характеристики, у тому числі місця витоку внутрішнього повітря через незаповнені шви між стіновими блоками.

Оцінювання енергетичних показників обстеженої будівлі виконане розрахунковим шляхом за методикою норм [5, 6] з урахуванням результатів експериментального визначення опору теплопередачі елементів огорожень за методикою [4]. За результатами вимірювань термогігрометром у декількох точках отримані середні значення опору теплопередачі:

- зовнішні стіни – $1,24 \text{ м}^2 \cdot \text{K/Вт} < R_{q \min} = 3,3 \text{ м}^2 \cdot \text{K/Вт}$;
- входні двері – $0,50 \text{ м}^2 \cdot \text{K/Вт} < R_{q \min} = 0,6 \text{ м}^2 \cdot \text{K/Вт}$;
- вікна – $0,57 \text{ м}^2 \cdot \text{K/Вт} < R_{q \min} = 0,75 \text{ м}^2 \cdot \text{K/Вт}$.

Опори теплопередачі усіх конструкцій отримані меншими від мінімально допустимих значень $R_{q \min}$, які встановлені ДБН [2] для громадських будівель, розміщених у першій температурній зоні України. Невідповідність вимогам

норм вказує на недостатні теплоізоляційні властивості огорожувальних конструкцій та необхідність термомодернізації будівлі.

Згідно з вимогами норм [2, 6], основним показником для визначення класу енергетичної ефективності є енергетичні потреби будівлі на протязі опалювального періоду, які обчислюються з урахуванням таких факторів:

- тепловий потік через огорожувальні конструкції;
- втрати тепла на нагрівання вентиляційного повітря;
- втрати тепла за рахунок інфільтрації та вентиляції;
- побутові та виробничі надходження тепла;
- надходження тепла від сонячної радіації через вікна;
- теплова інерція огорожувальних конструкцій;
- авторегулювання подачі тепла в системах опалення.

У результаті розрахунків за методикою [6] отримані річні енергетичні потреби у розмірі $Q_{\text{рік}} = 585347 \text{ кВт} \cdot \text{год}$. З урахуванням вказаної вище площі опалюваних приміщень та опалюваного об'єму будівлі питомі витрати енергії на одиницю об'єму $EP = 55,7 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{м}^3$.

Клас енергетичної ефективності будівлі визначається за відсотком відхилення фактичних енергетичних потреб від максимально допустимого значення, встановленого ДБН [2] залежно від призначення, поверховості та температурної зони експлуатації будинку. Для навчальних закладів, які експлуатуються в першій температурній зоні України за [2] та підлягають термомодернізації, норми встановлюють максимально допустиме значення питомих енерговитрат на одиницю об'єму $EP_{\text{max}} = 1,25 \times 28 = 35 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{м}^3$. Відхилення фактичних енерговитрат від гранично допустимого значення становить 59%. Згідно з [2, 6], обстежена будівля школи має клас енергетичної ефективності F.

За результатами проведеного енергоаудиту розроблений енергетичний паспорт будівлі школи відповідно до вимог, структури та методики [2, 8]. Паспорт відображає реквізити будівлі, її функціональне призначення, тип і конструктивні рішення, теплотехнічні та енергетичні показники, характеристики інженерних систем та їх автоматизації, зведену таблицю обсягів енергоспоживання, а також висновки за результатами оцінки енергетичних параметрів будівлі. Зроблено загальний висновок щодо недостатнього рівня енергетичної ефективності обстеженої будівлі та необхідності проведення термомодернізації.

Заходи з термомодернізації обстеженої будівлі школи полягають в утепленні фасадів навісними вентильованими фасадними системами з утеплювачем із базальтової вати з середньою густиною $80 \text{ кг} / \text{м}^3$ і товщиною 120 мм. Перед виконанням утеплення необхідно усунути виявлені при обстеженні дефекти та експлуатаційні пошкодження стін, зокрема:

- розібрати облицювання стін з керамічної плитки;
- заповнити шви між легкобетонними стіновими блоками;

– заповнити порожнини у вузлах примикання вікон і дверей.

Улаштування фасадної системи слід виконувати згідно з розробленим проектом, який передбачає додаткове утеплення стін, зовнішніх віконних відкосів та цоколю відповідно до вимог норм [9, 10]. За основу конструкції вентильованої фасадної системи прийняті технічні рішення, рекомендовані [11]. В якості додаткової теплоізоляції використані плити з базальтової вати з середньою густиною 75 кг/м^3 товщиною 100 мм.

Нижче показано, що запропоноване утеплення фасадів дозволяє обійтися без заміни вікон і зовнішніх дверей, які не відповідають чинним вимогам [2] щодо опору теплопередачі, але мають цілком задовільний технічний стан.

Оцінювання енергетичних показників термомодернізованої будівлі виконане розрахунковим шляхом за методикою норм [2, 5, 6]. Опір теплопередачі утеплених стін зростає до $3,37 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$, що відповідає вимогам норм [2] до громадських будівель $R_{q \min} = 3,3 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$.

У результаті підвищення опору теплопередачі стін питомі енергопотребителі на одиницю об'єму знижуються до $EP = 34,7 \text{ кВт} \cdot \text{год/м}^3$. При тому ж допустимому значенні питомих енерговитрат $EP_{\max} = 35 \text{ кВт} \cdot \text{год/м}^3$ обчислене за викладеними вище принципами відхилення фактичних енерговитрат від гранично допустимого значення становить $-3,7\%$. Згідно з нормами [2, 6], будівля з додатковим фасадним утепленням відповідає класу енергетичної ефективності C, що відповідає мінімальним вимогам норм [2].

Висновки за результатами роботи:

1. Використання технічних засобів обстеження дозволяє легко виявити теплові аномалії та досить точно оцінити реальні теплові характеристики огорожувальних конструкцій.

2. Будівля школи, зведена у минулому столітті, має недостатні опори теплопередачі стін і світлопрозорих конструкцій, а також низькі показники енергетичної ефективності (клас F), а тому потребує термомодернізації.

3. Для доведення показників енергетичної ефективності будівлі до класу C, прийнятного для подальшої експлуатації, виявилось достатнім виконання фасадного утеплення без заміни існуючих металопластикових вікон.

1. Закон України «Про енергетичну ефективність будівель» від 22.06.2017р. №2118-VIII / Відомості Верховної Ради (ВВР). – 2017. № 33. – Ст. 359.
2. Теплова ізоляція будівель: ДБН В.2.6-31:2016. – [Чинний від 2017–05-01]. – К.: Міністерство будівництва України, 2016. – 38 с. – (Державні будівельні норми України)
3. ДСТУ Б В.2.2-39:2016. Методи та етапи проведення енергетичного аудиту будівель. К.: Мінрегіон України, 2016. – 47 с.
4. ДСТУ Б В.2.6-101:2010. Конструкції будинків і споруд. Метод визначення опору теплопередачі огорожувальних конструкцій. – К.: Мінрегіонбуд України, 2010. – 84 с.
5. Методи вибору теплоізоляційного матеріалу для утеплення будівель: ДСТУ Б В.2.6-189:2013 – [Чинний від 01.01.2014]. - К.: Мінрегіон України, 2014. - 42 с. – (Державний стандарт України).

6. ДСТУ-Н Б А.2.2-13:2015 Енергетична ефективність будівель. Настанова з проведення енергетичної оцінки будівель – [Чинний від 01-01-2016] – К.: Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2015. – 72 с.
 7. ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010 Будівельна кліматологія. – [Чинний від 01-11-2011] – К.: Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2011. – 123 с.
 8. Настанова з розроблення та складання енергетичного паспорта будинків при новому будівництві та реконструкції [Текст]. ДСТУ Н Б А.2.2.5:2007.– Уведено вперше; [Чинний від 2008-07-01] – К.: Мінергіонбуд України, 2008. – 44 с.
 9. Конструкції зовнішніх стін із фасадною теплоізоляцією. Вимоги до проектування: ДБН В.2.6-33:2018. – [Чинний від 01-12-2018]. – К.: Мінергіон України, 2018. – 21 с.
 10. Конструкції будинків і споруд. Конструкції зовнішніх стін із фасадною теплоізоляцією та опорядженням індустріальними елементами з вентильованим прошарком. Загальні технічні умови: ДСТУ Б В.2.6-35:2008 – [Чинний від 2009-06-01]. – К.: Мінергіонбуд України, 2009. – 25 с.
 11. Принципові технічні рішення термореконструкції фасадів житлових будинків 1960–1995 р. забудови [Текст] / НДІБК. – К., 2012. – 50 с.
-
1. Закон України «Pro enerhetychnu efektyvnist budivel» від 22.06.2017. №2118-VIII / Vidomosti Verkhovnoi Rady (VVR). – 2017. № 33. – Р. 359.
 2. Teplova izoliatsiia budivel: DBN V.2.6-31:2016. – [Chynnyi vid 2017–05-01]. – К.: Ministerstvo budivnytstva Ukrainy, 2016. – 38 p. – (Derzhavni budivelni normy Ukrainy)
 3. DSTU B V.2.2-39:2016. Metody ta etapy provedennia enerhetychnoho audytu budivel. К.: Minrehion Ukrainy, 2016. – 47 p.
 4. DSTU B V.2.6-101:2010. Konstruktsii budynkiv i sporud. Metod vyznachennia oporu teploperedachi ohorodzhualnykh konstruktsii. – К.: Minrehionbud Ukrainy, 2010. – 84 p.
 5. Metody vyboru teploizoliatsiinoho materialu dlia uteplennia budivel: DSTU B V.2.6-189:2013 – [Chynnyi vid 01.01.2014]. - К.: Minrehion Ukrainy, 2014. - 42 p. – (Derzhavnyi standart Ukrainy).
 6. DSTU-N B A.2.2-13:2015 Enerhetychna efektyvnist budivel. Nastanova z provedennia enerhetychnoi otsinky budivel – [Chynnyi vid 01-01-2016] – К.: Ministerstvo rehionalnoho rozvytku, budivnytstva ta zhytlovo-komunalnoho hospodarstva Ukrainy, 2015. – 72 p.
 7. DSTU-N B V.1.1-27:2010 Budivelna klimatolohiia. – [Chynnyi vid 01-11-2011] – К.: Ministerstvo rehionalnoho rozvytku, budivnytstva ta zhytlovo-komunalnoho hospodarstva Ukrainy, 2011. – 123 p.
 8. Nastanova z rozroblennia ta skladannia enerhetychnoho pasporta budynkiv pry novomu budivnytstvi ta rekonstruktsii [Tekst]. DSTU N B A.2.2.5:2007.– Uvedeno vpershe; [Chynnyi vid 2008-07-01] – К.: Minrehionbud Ukrainy, 2008. – 44 p.
 9. Konstruktsii zovnishnykh stin iz fasadnoi teploizoliatsiiei. Vymohy do proektuvannia: DBN V.2.6-33:2018. – [Chynnyi vid 01-12-2018]. – К.: Minrehion Ukrainy, 2018. – 21 p.
 10. Konstruktsii budynkiv i sporud. Konstruktsii zovnishnykh stin iz fasadnoi teploizoliatsiiei ta oporiadzhenniam industrialnykh elementamy z ventylovanykh prosharkom. Zahalni tekhnichni umovy: DSTU B V.2.6-35:2008 – [Chynnyi vid 2009-06-01]. – К.: Minrehionbud Ukrainy, 2009. – 25 p.
 11. Pryntsyropy tekhnichni rishennia termorekonstruktsii fasadiv zhytlovykh budynkiv 1960–1995 r. zabudovy [Tekst] / NDIBK. – К., 2012. – 50 p.