

УДК 697.11/13:699.86

ОЦІНКА ТЕПЛОВИХ ХАРАКТЕРИСТИК БУДІВЕЛЬ**С. С. Романенко, А. Л. Перекрест, М. Н. Волжан**

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського

вул. Першотравнева, 20, м. Кременчук, 39600, Україна. E-mail: sergmetall303@rambler.ru

Виконано аналіз факторів, що впливають на теплові втрати цивільних будівель. Отримано структуру теплових втрат через огорожувальні конструкції окремих навчальних корпусів. Проведено розрахунок приведенного опору теплопередачі огорожувальних конструкцій, віконних блоків із дерева та полівінілхлориду на прикладі навчальних корпусів Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. Проведене тепловізійне обстеження показало, що за рахунок утеплення відкосів по периметру вікна можна досягнути збільшення загального опору при теплопередачі. Аналіз результатів проведеного тепловізійного обстеження навчальних корпусів дозволив визначити їх поточні теплові характеристики. Виконано порівняльний аналіз заходів із теплореновації будівель. Встановлено діапазон зменшення теплових втрат будівель університету за рахунок заміни віконних конструкцій. Запропоновано заходи щодо зменшення затрат енергії з мінімальними капіталоукладеннями. Результати отриманих досліджень можуть бути використані при розробці та вдосконаленні енергетичних паспортів будівель за новими нормами.

Ключові слова: теплові втрати, опір теплопередачі, коефіцієнт теплосприйняття, коефіцієнт теплопровідності, енергоаудит, конвекція.

ОЦЕНКА ТЕПЛОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗДАНИЙ**С. С. Романенко, А. Л. Перекрест, М. Н. Волжан**

Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского

ул. Первомайская, 20, г. Кременчуг, 39600, Украина. E-mail: sergmetall303@rambler.ru

Выполнен анализ факторов, влияющих на тепловые потери гражданских зданий. Получена структура тепловых потерь через ограждающие конструкции отдельных учебных корпусов. Проведен расчет приведенного сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций, оконных блоков из дерева и поливинилхлорида на примере учебных корпусов Кременчугского национального университета имени Михаила Остроградского. Проведенное тепловизионное обследование показало, что за счет утепления откосов по периметру окна можно достичь увеличения общего сопротивления при теплопередаче. Анализ результатов проведенного тепловизионного обследования учебных корпусов позволил определить их текущие тепловые характеристики. Выполнен сравнительный анализ мероприятий по теплореновации зданий. Установлен диапазон уменьшения тепловых потерь зданий университета за счет замены оконных конструкций. Предложены мероприятия по уменьшению затрат энергии с минимальными капиталовложениями. Результаты полученных исследований могут быть использованы при разработке и совершенствовании энергетических паспортов зданий по новым нормам.

Ключевые слова: тепловые потери, сопротивление теплопередаче, коэффициент теплосприятия, коэффициент теплопроводности, энергоаудит, конвекция.

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ. Проблема енергозбереження є досить актуальною в Україні, оскільки паливно-енергетичні ресурси постійно зростають у ціні. При цьому головною причиною підвищеної витрати ресурсів на опалення будівель є низький рівень теплозахисту їх огорожувальних конструкцій. Найбільш суттєвими є теплові втрати через вентиляційні отвори й інфільтрацію (35–40 %), зовнішні огорожувальні конструкції (25–28 %) та неутеплені двері та вікна (20–25 %) [1].

Експлуатація будівель різного призначення показує, що у формуванні теплового режиму приміщень вирішальний вплив мають світлові прорізи. Низький опір теплопередачі скління, мала його теплова інерція й властивість пропускати сонячну радіацію зумовлюють низку негативних явищ: високі втрати тепла з приміщення у зимових умовах; низька температура на внутрішній поверхні скління, а іноді й утворення льодового покриву; спадні конвективні потоки холодного повітря в зоні скління; в літніх умовах у районах із жарким кліматом – перегрів приміщень за рахунок прямого проникнення сонячної радіації через скло.

Мінрегіонбудом з перших років незалежності була визначена стратегія підвищення енергоефективності в будівництві. Вже 1994 року були прийняті нові нормативні вимоги щодо термоопору огорожувальних конструкцій, які були підвищені у 2,5 рази, а також заходи щодо обов'язкового обліку тепло-, газо- й водопостачання. Розроблено й запроваджено в практику нового будівництва та реконструкції існуючих житлових і громадських будинків пакет нормативно-методичних документів, які забезпечили економію енергії до 30 % в умовах експлуатації будинків.

Наступний етап підвищення енергоефективності будівель забезпечений запровадженням з 1 квітня 2007 року державних будівельних норм [2], які на сучасному рівні регламентують загальні принципи конструктивної побудови теплоізоляції огорожувальних конструкцій і встановлюють вимоги до теплотехнічних показників основних елементів огорожувальної оболонки будинків і до будинків у цілому.

Зазначені норми регламентують збільшення коефіцієнта термічного опору зовнішніх огорожуваль-

них конструкцій до 2,8 м²К/Вт, а вікон – до 0,6 м²К/Вт, що максимально наближує нормативні вимоги до євростандартів та забезпечує економію енергоспоживання ще на 5–10 %.

Особливо складним енергозбереження є для установ бюджетної сфери – навчальних закладів. З одного боку, навчальні будівлі будувалися за нормативами 60–80 років двадцятого століття із заниженими вимогами до теплопередачі конструкцій, з іншого – навчальні заклади практично повністю позбавлені підтримки з боку держави щодо інвестицій у матеріально-технічну базу.

Для формування рекомендацій із підвищення енергозбереження в цивільних будівлях необхідно спочатку провести їх енергетичне обстеження – аудит.

Мета роботи полягає у порівняльному аналізі теплових втрат через прозорі та непрозорі огорожувальні конструкції розрахунковим способом за діючими нормами та тепловізійними знімками.

МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ. Для визначення поточних характеристик огорожувальних конструкцій використано розрахунковий метод за [2]. Ці норми встановлюють вимоги до теплотехнічних показників огорожувальних конструкцій (теплоізоляційної оболонки) будинків і споруд і порядку їх розрахунку 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.

Аналіз огорожувальних конструкцій виконаний для окремих корпусів Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського (КрНУ).

Навчальний корпус № 2 КрНУ є п'ятиповерховим будинком із цегляними стінами й вогнетривкими залізобетонними перекриттями. Будівля корпусу належить до другого ступеня капітальності. Площа забудови 1378,8 м², у тому числі криті переходи – 219,9 м², будівельний об'єм 22150 м³, у тому числі переходи – 189 м³. Рік побудови – 1980. У геоморфологічному відношенні корпус розташований на заплаві річки Дніпро. Підставами служать піски дрібні шаруваті. Фундаменти пальові із залізобетонних призматичних паль перетином 300×300 мм довжиною 7–10 м. Корпус, прямокутний у плані, з'єднаний з іншими корпусами надземним переходом на рівні другого поверху.

Проектом розроблений варіант системи опалення при розрахунковій температурі $t_{н.о} = -21$ °С. Параметри теплоносія системи опалення 95–70 °С.

Система опалення вертикально-однотрубна з нижнім розведенням і П-подібними стояками. У функції нагрівальних елементів прийняті радіатори типу М–140 АТ та ребристі труби у сходовій клітці. Регулювання тепловіддачі нагрівальних приладів здійснюється триходовими кранами. Випуск повітря із системи опалення здійснюється спеціальними

кранами, що встановлюються у футорки нагрівальних приладів верхнього поверху. Розвідні магістралі прокладаються по підлозі підвалу або підпілля й ізолюються мінераловатними циліндрами на зв'язці з фенольних смол. Товщина ізоляції 40–30 мм. Покриття ізоляції зі смуг лакостеклоткані спіральне. Стояки підводки до приладів і магістралі діаметром до 50 мм. Магістралі діаметром понад 50 мм монтуються з електрозварювальних труб.

Навчальний корпус № 6 є двоповерховою будівлею, що стоїть окремо, зі стінами із збірних залізобетонних панелей і зовнішньою обробкою у вигляді забарвлення панелей фасадними фарбами.

Відмітка верху стін – 6,560 м. Будівля має плоску поєднану кривлю з покриттям із руберойду з бронюванням верхнього шару у вигляді посипання мінеральною крихтою, що передбачено протипожежними нормами. Верхній броньований шар виконаний 2003 року.

Внутрішні поверхні стін покриті шаром масляної фарби. Поверхні стель оброблені вапняним розчином, стіни приміщень санвузлів обкладено керамічною плиткою. Віконні й дверні заповнення – дерев'яні, забарвлені масляними емалями.

Корпус належить до будівель другої міри капітальної та другої категорії пожежної безпеки. Площа забудови – 454,0 м², будівельний об'єм – 3075 м³, рік споруди – 1994.

Для зовнішніх огорожувальних конструкцій опалюваних будинків та споруд і внутрішніх міжквартирних конструкцій, що розділяють приміщення, температури повітря в яких відрізняються на 3 °С та більше, обов'язкове виконання умов [2]:

$$R_{\Sigma \text{ пр}} \geq R_{q \text{ ми}} \quad (1)$$

$$\Delta t_{\text{пр}} \leq \Delta t_{\text{ст}} \quad (2)$$

$$\tau_{\text{в ми}} > t_{\text{ми}} \quad (3)$$

де $R_{\Sigma \text{ пр}}$ – приведений опір теплопередачі непрозорі огорожувальної конструкції чи непрозорі частини огорожувальної конструкції (для термічно однорідних огорожувальних конструкцій визначається опір теплопередачі), приведений опір теплопередачі світлопрозорі огорожувальної конструкції; $R_{q \text{ ми}}$ – мінімально допустиме значення опору теплопередачі непрозорі огорожувальної конструкції чи непрозорі частини огорожувальної конструкції, мінімальне значення опору теплопередачі світлопрозорі огорожувальної конструкції; $\Delta t_{\text{пр}}$ – температурний перепад між температурою внутрішнього повітря й приведеною температурою внутрішньої поверхні огорожувальної конструкції, °С; $\Delta t_{\text{ст}}$ – допустима за санітарно-гігієнічними вимогами різниця між температурою внутрішнього повітря й приведеною температурою внутрішньої поверхні огорожувальної конструкції, °С; $\tau_{\text{в ми}}$ – мінімальне значення температури внутрішньої поверхні в зонах теплопровідних включень в огорожувальній конструкції, °С; $t_{\text{ми}}$ – мінімально допустиме

значення температури внутрішньої поверхні при розрахункових значеннях температур внутрішнього й зовнішнього повітря, °С.

Мінімально допустиме значення, $R_{q\ min}$, опору теплопередачі непрозорих огорожувальних конструкцій, світлопрозорих огорожувальних конструкцій і дверей житлових і громадських будинків встановлюється залежно від температурної зони експлуатації будинку.

Виконання умов за виразами (1)–(3) для огорожувальної конструкції, що проектується чи обстежується, перевіряється за результатами визначення теплотехнічних показників огорожувальних конструкцій [2], акредитованих лабораторіями, або за результатами розрахунків теплотехнічних показників конструкцій методами математичного моделювання теплових процесів.

Приведений опір теплопередачі, $R_{\Sigma\ np}$, м²·К/Вт, непрозорої огорожувальної конструкції чи непрозорої частини огорожувальної конструкції при перевірці виконання умови за виразом (1) розраховується згідно з

$$R_{\Sigma} = \frac{1}{\alpha_g} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_{i\ p}} + \frac{1}{\alpha_s} \quad (4)$$

Приведений опір теплопередачі, $R_{\Sigma\ np}$, м²·К/Вт, світлопрозорої огорожувальної конструкції при перевірці виконання умови за рівнянням (1) розраховується наступним чином:

$$R_{np} = \frac{F_{cn} + \sum_{i=1}^n F_i}{\frac{F_{cn}}{R_{\Sigma cn}} + \sum_{i=1}^n \frac{F_i}{R_{\Sigma i}} + \sum_{j=1}^m k_j L_j} \quad (5)$$

Таблиця 1 – Оцінка термічного опору цегляних стін, оштукатурених із двох сторін за діючими теплотехнічними нормами

Опір теплопередачі стін, М ² ·°С/Вт		Висновки
Фактично	За нормами	
Результати обстеження навчального корпусу № 2		
0,886	3,3	Опір теплопередачі існуючих стін більш ніж удвічі менший за вимоги діючих норм
Результати обстеження навчального корпусу № 6		
При товщині стін 100 мм 0,21	3,3	Опір теплопередачі існуючих стін у десять разів менший за вимоги діючих норм

Основні теплофізичні вимоги, запропоновані до світлопрозорих конструкцій: температура, вологість, рухливість повітря й природне освітлення, – грають важливу роль у створенні штучного мікроклімату в приміщеннях. Світлопрозорі конструкції мають невеликий опір теплопередачі й тому істотно впливають на тепловолігнісні параметри внутрішнього повітря.

Для досягнення санітарно-гігієнічних вимог необхідно, щоб зовнішні огорожувальні конструкції будівель володіли певними теплоізоляційними якос-

Температурний перепад, Δt_{np} , при перевірці виконання умови за виразом (2) для огорожувальних конструкцій розраховується залежно від їх коефіцієнту скління:

$$\Delta t_{np} = t_b - \tau_{b\ np} \quad (6)$$

Температура внутрішньої поверхні термічно неоднорідної огорожувальної конструкції в зонах теплопровідних включень, у кутах, віконних укосах і дверних прорізів, температура внутрішньої поверхні світлопрозорих огорожувальних конструкцій у зонах стулки, коробки, імпостів, дистанційних рамок, $\tau_{b\ min}$ при перевірці виконання умови за рівнянням (3) визначається на підставі розрахунків двомірних або тримірних температурних полів:

$$\tau_{b\ np} = \frac{\sum_{i=1}^n \bar{\tau}_{ei} F_i}{F_{\Sigma}} \quad (7)$$

В основу енергоаудиту другого та шостого навчальних корпусів були покладені середньостатистичні дані за результатами обстеження будівель навчальних закладів з аналогічними огорожувальними конструкціями (матеріалом і товщиною стін, заповненням віконних і дверних прорізів, коефіцієнтом прорізу стін й т.ін.).

Як показує практика, цей метод дає інформацію з довірчою ймовірністю 95 % за загальною оцінкою теплових характеристик будівлі. Визначення термічного опору зовнішніх цегляних стін і зіставлення отриманої величини з нормативними вимогами, чинними на даний час в Україні, дало наступні результати (табл. 1).

тями, які характеризуються опором теплопередачі R . Поліпшення теплоізолюючих властивостей вікон призводить до зміни температури внутрішньої та зовнішньої поверхні вікна. Температура внутрішньої поверхні підвищується, а зовнішньої – знижується.

Підвищення температури внутрішньої поверхні вікна знижує ризик утворення конденсату, а також зменшує конвективні повітряні потоки в приміщенні. Найбільш комфортні умови досягаються при тем-

пературі на поверхні скла більше +14 °С при температурі в приміщенні +20 °С. Конвективні потоки, що утворюються внаслідок такого перепаду температур, не викликають неприємних відчуттів [3, 4]. Ці фактори підвищують комфортність приміщення поблизу вікон, через що температуру повітря в приміщенні можна знизити й відпаде потреба встановлювати прилади опалення під вікнами. У зимовий період температура приміщення повинна бути не менше допустимих значень. На вікнах не можна допускати утворення інею й льоду, оскільки це призводить до зниження їх світлової активності. З метою запобігання утворення конденсації вологи на внутрішній поверхні скла повинна виконуватися умова

$$\tau_s \geq \tau_p, \quad (7)$$

де τ_p – температура точки роси.

На теплозахисні характеристики вікна впливають такі основні фактори: повітропроникність, товщина повітряного зазору між склом, тепловідбиваючі покриття, заповнення міжскляного простору газами, віконні відкоси зовнішніх огорожувальних конструкцій, конструктивні елементи вікна, розташування вікна в отворі стіни [5].

Енергозберігаючі технології утримання перебувають в експлуатації будівель і є пріоритетним напрямом у реалізації загальнодержавної програми енергозбереження в Україні. 85 % економії тепла може бути отримано за рахунок скорочення втрат при експлуатації існуючих будівель, при цьому повинна бути вирішена задача: мінімум тепловтрат при максимумі теплового комфорту в приміщеннях.

Розрахунок приведенного опору теплопередачі віконних або дверних балконних блоків проводиться в такій послідовності:

- визначаються (задаються) розміри й конфігурація віконного або дверного балконного блоку;
- уточнюються конструктивне рішення палітурок, скління, заповнення непрозорої частини бал-

конних дверей, тип дистанційних рамок склопакетів та їх заглиблення щодо грані штапика;

– задаються коефіцієнти тепловіддачі зовнішньої й внутрішньої поверхонь;

– складається розрахункова схема віконного блоку;

– за довідковими даними або протоколами випробувань визначається приведений опір теплопередачі профільної системи (палітурок) R_o^{nep} і центральної частини скління R_o^{ocm} , при необхідності величина R_o^{nep} розраховується на комп'ютерній програмі розрахунку температурних полів;

– згідно з додатком [2] визначаються величини лінійних коефіцієнтів теплопередачі в крайових зонах Ψ_{ocm}, Ψ_{nep} ;

– відповідно до вихідних даних розраховуються загальна площа віконного або дверного балконного блоку F_{obl} , площа скління F_{ocm} , палітурок F_{nep} , непрозорого заповнення F_{nep} ;

– за виразами, що наведені нижче, розраховується величина R_{obl} .

Визначаємо приведений опір теплопередачі дерев'яного віконного блоку в роздільних перетинах із подвійним склінням зі звичайного листового скла товщиною 4 мм.

Приведений опір теплопередачі зовнішнього перетину за результатами розрахунку температурних полів приймаємо рівним $R_{oper.n} = 0,45 \text{ м}^2 \text{ °С/Вт}$, внутрішнього скління – $R_{oper.v} = 0,46 \text{ м}^2 \text{ °С/Вт}$. Термічний опір повітряного прошарку між склом, згідно з [2], становить:

$$R_{gn} = 0,18 \text{ м}^2 \text{ °С/Вт}.$$

Розрахунковий опір теплопередачі листового скла товщиною 4 мм:

$$R_{ocm} = 1/8,0 + 0,004/0,76 + 1/23,0 = 0,173 \text{ м}^2 \text{ °С/Вт}.$$

Відповідно до вихідних даних визначаємо: $F_{obl} = 2,146 \text{ м}^2$; $F_{ocm} = 1,400 \text{ м}^2$; $F_{nep} = 0,746 \text{ м}^2$; $F_{nepi} = 0,818 \text{ м}^2$; $L_{ocm} = 7,24 \text{ м}$; $L_{ocmi} = 7,08 \text{ м}$.

Із додатку [4] приймаємо для листового скла товщиною 4 мм коефіцієнт теплопередачі $\Psi_{ocm} = 0,03$.

Розраховуємо величину приведенного опору теплопередачі віконних блоків за внутрішнім та зовнішнім перетином:

$$R_0^{\bar{\alpha}} = \frac{F_0^{\bar{\alpha}}}{F_{nep} / R_0^{nep} + F_{ocm} / R_0^{zact} + F_{nep} / R_0^{nep} + \Psi_{zact} L_{zact} + \Psi_{nep} L_{nep}}; \quad (8)$$

$$R_0^{\bar{\alpha}1} = R_0^{\bar{\alpha}2} = \frac{4,002}{0,538 / 0,46 + 3,191 / 0,173 + 0,03 \cdot 10,360} = 0,20 \text{ м}^2 \text{ °С/Вт}.$$

Розраховуємо приведений опір теплопередачі віконного блоку в цілому:

$$R_0^{\bar{\alpha}} = R_0^{\bar{\alpha}1} + R_0^{\bar{\alpha}2} + R_a - 1 / \alpha_{int} - 1 / \alpha_{ext}; \quad (9)$$

$$R_0^{\bar{\alpha}} = 0,201 + 0,201 + 0,18 - 1 / 8 - 1 / 23,0 = 0,41 \text{ м}^2 \text{ °С/Вт}.$$

Визначаємо приведений опір теплопередачі віконного блоку з ПВХ-профілю з однокамерним склопакетом та товщиною скла 4 мм.

Дистанційна рамка склопакету з нержавіючої сталі.

Приведений опір теплопередачі профільної системи за результатами сертифікаційних випробувань становить $R_o^{nep} = 0,77 \text{ м}^2 \text{ °С/Вт}$.

Приведений опір теплопередачі центральної зони склопакету $R_o^{ocm} = 0,34 \text{ м}^2 \text{ °С/Вт}$.

Відповідно до вихідних даних визначаємо: $F_o^{\bar{\alpha}} = 4,045 \text{ м}^2$; $F_{ocm} = 2,990 \text{ м}^2$; $F_{nep} = 1,055 \text{ м}^2$; $L_{ocm} = 13,2 \text{ м}$.

З додатку [2] приймаємо для однокамерного склопакета з дистанційними рамками з нержавіючої сталі при глибині посадки склопакета в палітурках $b = 5 \text{ мм}$; $\Psi_{ocm} = 0,04$.

Розраховуємо величину приведенного опору теплопередачі віконного блоку в цілому:

$$R_0^{ок} = \frac{4,045}{1,055 / 0,77 + 2,990 / 0,34 + 0,04 \cdot 13,2} = 0,39 \text{ м}^2 \text{°C/Вт}$$

Розрахунок тепловтрат через прозорі огорожувальні конструкції не показав суттєвої різниці між однокамерним склопакетом із полівінілхлориду (ПВХ) та вікном із деревини з подвійним застеленням товщиною скла 4 мм.

Для більш детального аналізу використано тепловізійне дослідження огорожувальних конструкцій.

Тепловізійне обстеження – одне з передових напрямів неруйнівного тепловізійного контролю за станом огорожуючих конструкцій і електроустаткування. Тепловізійне обстеження є ефективним

способом виявлення дефектів теплоізоляції, що скорочує витрати на експертизу будівництва.

Теплові випробування полягають у тепловізійній зйомці фасаду будівлі, результатом якої є фотографія цього фасаду в інфрачервоному зображенні, де за відтінками кольору можна встановити поле температур на поверхні стіни й з цього судити про більшу чи меншу величину теплового потоку через обрану ділянку площі. Такий метод може виявити локальні порушення монтажу або похибки в проекті, що вказують на недостатній теплозахист окремих ділянок.

Як вимірювальне обладнання використано тепловізор Fluke Ti25 із наступними технічними характеристиками (табл. 2).

Таблиця 2 – Загальні характеристики тепловізора

Температура	Для вимірювання:	від -10 до +50 °С
	Для зберігання:	від -20 до +50 °С без акумулятора
Відносна вологість	від 10 до 90 % без конденсації	
Дисплей	Кольоровий ландшафтний ІЧ-дисплей VGA (640 x 480) з діагоналлю 9,1 см (3,6 дюйми)	
Функції енергозбереження	Перехід у режим очікування після 5 хвилин	
Характеристики зображення	Поле зору	23° x 17°
	Просторова роздільна здатність (IFOV)	2,5 мрад
	Мінімальна відстань фокусування	Об'єктив тепловізора – 15 см, фотооб'єктив – 46 см
	Фокусування	Вручну
	Частота зміни кадрів	Частота оновлення 9 Гц
Розміри (ВxШxД)	0,27 м x 0,13 м x 0,15 м	
Вага	1,2 кг	

При обробці результатів обстеження шкала вимірювання використовувалася у Фаренгейтах. Нижче наведено вираз для переведення вихідної величини в градуси Цельсія:

$$t_c = (t_f - 32) \frac{5}{9} \quad (10)$$

Основні втрати тепла в адміністративних будівлях припадають на віконні відсіки. Приблизно 25 % теплової енергії втрачається навіть через вікна з подвійними рамами.

Дослідження [6–9] показують, що врахування тепловтрат через віконні відкоси при розрахунку приведенного опору теплопередачі неоднорідних огорожувальних конструкцій може значною мірою впливати на теплозахисні якості даних конструкцій. Так, наприклад, наведений опір цегляної кладки може змінюватися до 25 %, залежно від урахування тепловтрат через віконні відкоси [9]. Ще більш істотним

може бути вплив конструктивного рішення й теплозахисних якостей стиків конструкцій [10]. Якщо в одношарових огорожувальних конструкціях із відносно низькими теплозахисними якостями особливості теплопередачі через стики огорожувальних конструкцій та віконні відкоси не настільки істотні, оскільки їх вплив на загальний опір теплопередачі незначний, то при переході на проектування багатшарових неоднорідних огорожувальних конструкцій з ефективними теплоізоляційними матеріалами низькі теплозахисні якості стиків або невіддале конструктивне рішення заповнення віконного отвору можуть істотно, в 1,5–2 рази, знизити приведенний опір теплопередачі огороження й звести нанівець усі заходи з підвищення теплозахисту.

Підтвердженням цьому можуть служити наведені результати тепловізійних обстежень адміністративної будівлі.

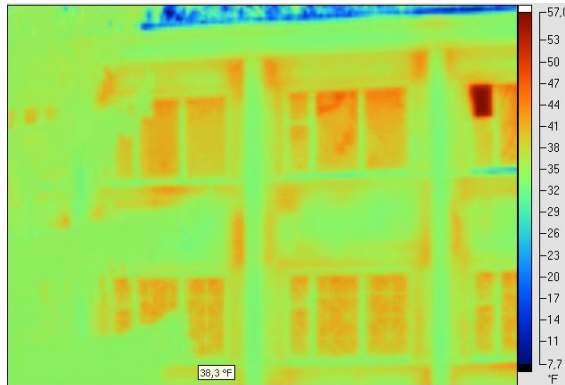
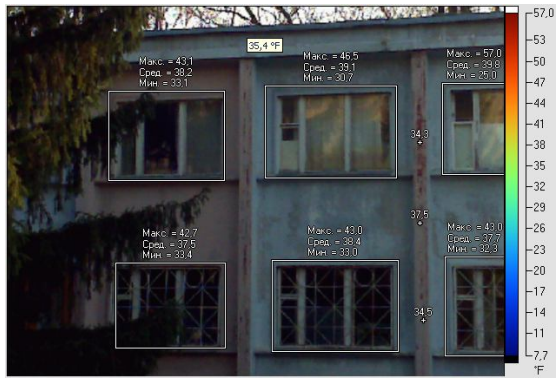


Рисунок 1 – Результати тепловізійного обстеження адміністративної будівлі навчального корпусу № 6

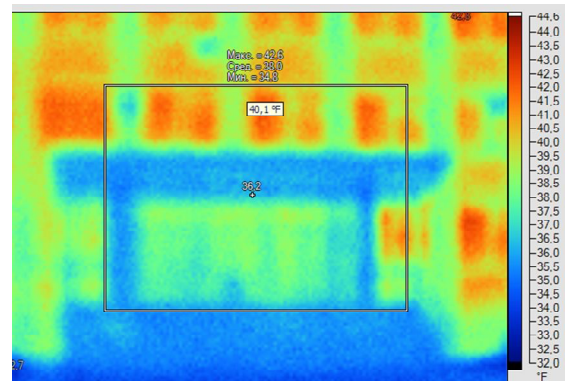


Рисунок 3 – Результати тепловізійного обстеження адміністративної будівлі навчального корпусу № 2

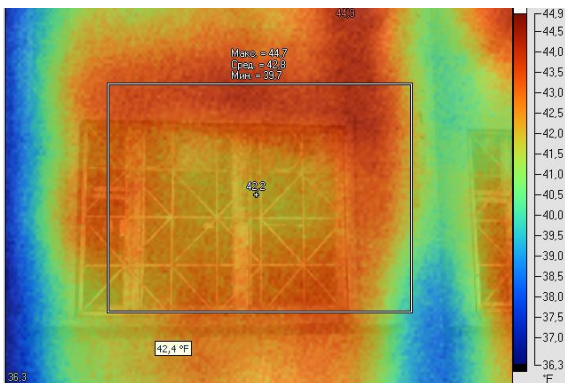


Рисунок 2 – Результати тепловізійного обстеження адміністративної будівлі навчального корпусу № 6

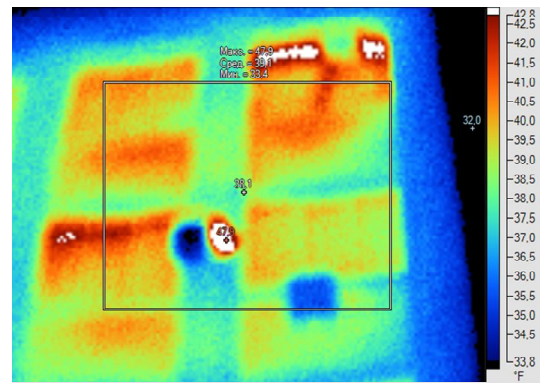


Рисунок 4 – Результати тепловізійного обстеження адміністративної будівлі навчального корпусу № 2

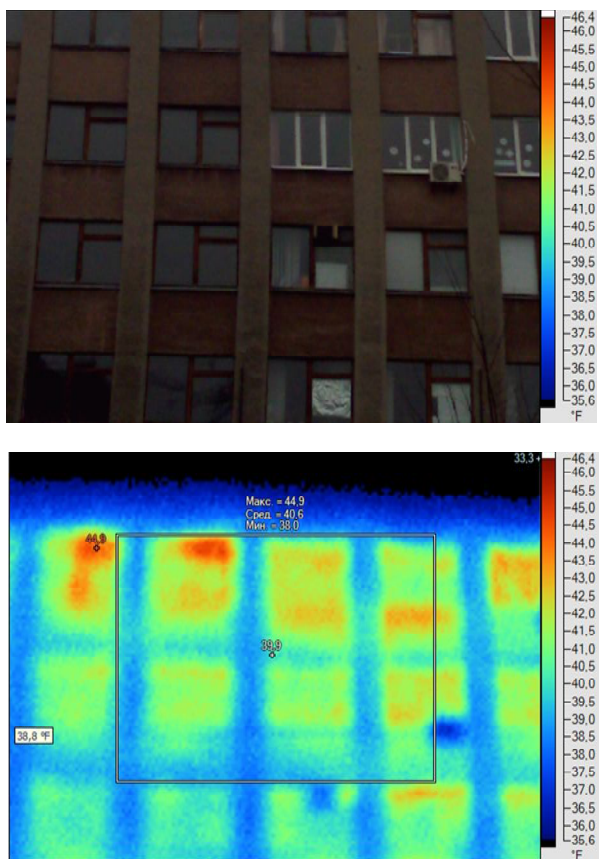


Рисунок 5 – Результати тепловізійного обстеження адміністративної будівлі навчального корпусу № 2

На рис. 1–5 зображено термографічні знімки окремих зон другого та шостого навчальних корпусів, які показують розподіл температур по поверхні скління та стін із зовнішньої сторони, з чого видно, що в нижній області вікна температура скління на кілька градусів нижча, ніж у верхній частині. Також більш низька температура спостерігається по пери-

метру скління в місці примикання віконної рами, що пояснюється проходженням холодного повітря через нещільності та охолодженням крайових зон вікна.

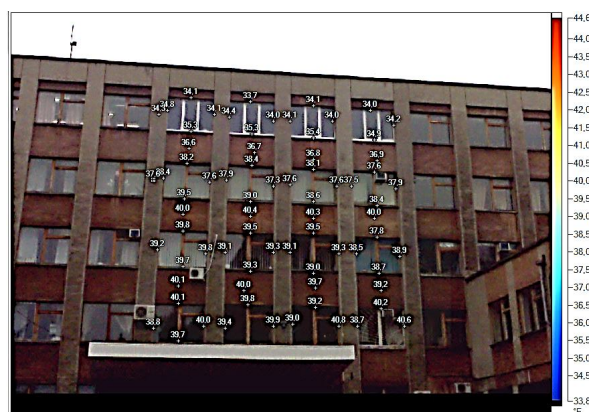


Рисунок 6 – Розподіл температур в області відкосів



Рисунок 7 – Середні значення температури на поверхні скла

Таблиця 3 – Розподіл температур по поверхні віконної огорожувальної конструкції навчального корпусу № 2

№ вікна	Значення температури, °F			Коефіцієнт випромінювання	Температура фону, °F	Відхилення
	середнє	мінімальне	максимальне			
A0	38,3	37,3	39,3	0,95	71,4	0,31
A1	34,4	33,7	35,8	0,95	71,4	0,38
A3	34,4	33,5	36,0	0,95	71,4	0,40
A4	34,2	33,6	35,4	0,95	71,4	0,33
A5	38,3	37,0	39,7	0,95	71,4	0,37
A11	34,5	33,7	35,9	0,95	71,4	0,41
A15	40,9	38,7	43,4	0,95	71,4	0,94
A7	38,4	37,3	39,5	0,95	71,4	0,35
A16	34,3	33,4	35,5	0,95	71,4	0,40
A17	38,6	36,3	39,9	0,95	71,4	0,77

Виходячи з рис. 6, 7, простежується тенденція, що розподіл тепловтрат через прозорі огорожувальні конструкції по всій поверхні будівлі має характер «знизу доверху», тобто на нижніх поверххах температура повітря вища, ніж на верхніх. Це пояснюється особливістю системи опалення. У навчальному корпусі № 2 прийнята вертикально-однотрубна система опалення з нижнім розведенням. Також з огорожувальних конструкцій А4 та А16 можна зробити висновок, що опір теплопередачі вікон з ПВХ більший, ніж у дерев'яних конструкціях, хоча температура на зовнішніх поверхнях конструкцій А4 та А16 приблизно однакова, але внутрішня температура приміщень різна й складає різницю в 3–4 °С, що, у свою чергу, має досить суттєве значення для створення комфортних умов для роботи.

Для збільшення термічного опору стін доцільно виконувати додаткову ізоляцію будівлі з використанням сучасних матеріалів.

Так, на прикладі Комсомольської міської лікарні додатковими теплоізоляційними матеріалами є виробі й будівельні матеріали, які без посередньо призначені для теплової ізоляції конструкції будівлі. Їх основна особливість – висока пористість, а отже, мала щільність і низька теплопровідність.

Нині в конструкціях будівлі застосовують різноманітні теплоізоляційні матеріали.

Найбільшого поширення набули матеріали на основі пінополістиролу й мінеральної вати.

Пінополістирол є газопаронепроникним матеріалом, отриманим із полістиролу та його похідних. Звичайна технологія отримання цього матеріалу пов'язана з первинним заповненням гранул стирулу газом, який розчиняється в полімерній масі, далі виробляється нагрів маси парою.

До переваг матеріалу слід віднести міцність, високі теплоізоляційні властивості, низьке водопоглинання, доступні ціни, відсутність нижньої температурної межі. Недоліками є здатність запалюватися, схильність до деструкції від сонця, низький рівень паропроникності, що призводить до скупчення конденсату на стінах.

Мінеральна вата виробляється на основі базальту й кремнезема та залежно від виду початкової сировини може мати різну структуру волокнистості, задану технологічно: горизонтально-шарувату, вертикально-шарувату, гофровану або просторову. До переваг можна віднести те, що вона не горить, є морозостійкою, малогіроскопічною (при попаданні вологи тут же її віддає, але при забезпеченні вентиляції), гасить шум, має стабільні фізичні й хімічні характеристики. Недоліком є те, що при попаданні вологи втрачає теплоізолюючі властивості, тому вимагає додаткової пароізоляції й гідроізоляції.

Таблиця 4 – Коефіцієнт теплопровідності поширених будівельних матеріалів

Найменування матеріалів основних конструкцій, що захищають	Коефіцієнт теплопровідності, Вт / (м °С)	Найменування додаткового теплоізоляційного матеріалу	Коефіцієнт теплопровідності, Вт / (м ² °С)
Бетон	1,74	Мінеральна вата	0,037–0,043
Цеглина	0,58–0,7	Пінополістирол	0,036–0,042

У табл. 1 наведено коефіцієнти теплопровідності будівельних матеріалів при будівництві основних конструкцій, що захищають, і проведенні утеплення додатковими теплоізоляційними матеріалами.

Теплотехнічним розрахунком встановлено, що для Полтавської області при нормативному опорі стінної конструкції 3,3 Вт/(м² °С), згідно з табл. 4 [11], провівши додаткове утеплення мінеральною ватою, допустимий на один сантиметр термічний опір буде дорівнювати

$$3,3 + \frac{0,01}{0,043} = 3,53 \text{ Вт/(м}^2\text{ °С)},$$

а теплові втрати ділянки стіни площею 1 м² при розрахунковій різниці температур повітря приміщення й зовнішнього $\Delta t_{st} = 42^\circ$ скоротяться на

$$\left(\frac{1}{3,3} - \frac{1}{3,53} \right) 42 = 0,84 \text{ Вт.}$$

При цьому скорочення річного теплоспоживання Q можна розрахувати за виразом (2)

$$Q = \frac{0,0864 Q_e S}{\Delta t_{st}} = \frac{0,0864 \cdot 0,84 \cdot 10^{-3} \cdot 3721}{42} = 0,00642 \text{ ГДж} = 0,0015 \text{ ЗКал},$$

де 0,864 – коефіцієнт, що чисельно дорівнює одній мільйонній частині кількості секунд на добу; Q_e – вивільнене теплове навантаження, кВт; S – розрахункова кількість градусо-сутток опалювального періоду регіону, згідно з даними [12].

У табл. 5 наведено показники на теплореновацію (утеплення) зовнішніх прозорих та непрозорих огорожувальних конструкцій, яка полягає в заміні дерев'яних вікон старого зразка на склопакети з ПВХ з однокамерним склінням та установкою додаткової термоізоляції на зовнішній поверхні стін. Середня вартість утеплення одного квадратного метра площі стіни, з урахуванням усіх норм для даної кліматичної зони та типу будівлі, становить близько 500 грн., враховуючи вартість робіт.

Таблиця 5 – Показники на теплореновацію (утеплення) зовнішніх огорожувальних конструкцій

Загальна кількість вікон	Кількість вікон, що підлягають заміні	Вартість заміни одного вікна	Загальна вартість заміни вікон, млн грн.
224 шт	198	2844 грн	0,563
Площа стін, що підлягають утепленню		Вартість матеріалів та робіт по утепленню одного квадратного метра	Загальна вартість на утеплення стін, млн грн.
2048,5 м ²		450–500 грн	0,921–1,024

ВИСНОВКИ. За даними статистичної обробки результатів вимірювань і розрахунків отримано структуру тепловтрат через огорожувальні конструкції окремих навчальних корпусів КрНУ.

Проведене тепловізійне обстеження показало, що за рахунок утеплення відкосів по периметру вікна можна досягнути збільшення загального опору при теплопередачі, оскільки втрати тепла через нещільності складають значний відсоток від основних.

Згідно з функціонально-вартісним аналізом окупності витрат на теплореновації будівлі впливає, що за сформованими цінами на теплоносії й на теплоізоляційні матеріали найбільш швидко окупаються витрати на утеплення зовнішніх дверей, найбільш повільно – на утеплення зовнішніх стін. Без заходів з утеплення та заміни вікон і дверей, без можливості регулювання подачі тепла та його диференційованого обліку утеплення стін є малоефективним. Тобто заходи щодо зниження енерговитрат при експлуатації будівлі повинні носити комплексний характер і здійснюватися за проектом. Тільки в цьому випадку капітальні вкладення будуть економічно ефективними.

Запропоновано заходи щодо зменшення затрат енергії з мінімальними капіталовкладеннями:

- перехід на використання у віконних отворах спеціальних видів скління та склопакетів, які мають високий опір теплопередачі;
- утеплення відкосів та стін ззовні з використанням сучасних технологій;
- реконструкція системи опалення з можливістю регулювання подачі теплоносія.

Результати отриманих досліджень можуть бути використані при розробці та вдосконаленні енергетичних паспортів будівель за новими нормами.

ЛІТЕРАТУРА

1. Гершензон Ю.А., Ивянский А.З., Павлинова И.Б. О воздухопроницаемости окон в домах массового строительства // Жил. стр-во. – 1982. – № 4. – С. 9–11.

2. Конструкції будинків та споруд. Теплова ізоляція будівель: ДБН (Державні будівельні норми України) В.2.631:2006. – К.: Мінбуд України, 2006. – 64 с.

3. Иванов А.М., Прокофьев А.А., Щуров А.Н. Энергосберегающие и экологические аспекты применения различных типов стеклопакетов // Окна и двери: информационный бюллетень. – 1998. – № 3 (12). – С. 21–22.

4. Матросов Ю.А., Бутовский И.Н. Поэлементное теплотехническое нормирование ограждающих конструкций зданий // Жилищное строительство. – 1995. – № 12. – С. 6–10.

5. Шведов Н.В. Новые требования к теплотехническим характеристикам окон и балконных дверей (комментарий к Изменению № 4 СНиП 11–3–79 "Строительная теплотехника") // Окна и двери: информ. бюл. – 1998. – № 2, 3. – С. 6–7.

6. Авдеев Г.К. Приведенное сопротивление теплопередаче оконных блоков и их влияние на стеновые конструкции // Промышленное и гражданское строительство. – 1997. – № 11. – С. 37–40.

7. Богословский В.Н. Тепловой режим здания. – М.: Стройиздат, 1979. – 248 с.

8. Кривошеин А.Д. Окна из ПВХ: анализ теплового режима узлов сопряжений с наружными стенами различного конструктивного решения // Окна и двери: информационный бюллетень. – 1998. – № 4/1998 (13). – С. 14–16.

9. Расчет и проектирование ограждающих конструкций зданий: справ. пособие к СНиП // НИИ строит. физики. – М.: Стройиздат, 1990. – 233 с.

10. Табунщиков Ю.А. Хромец Д.Ю., Матросов Ю.А. Тепловая защита ограждающих конструкций зданий и сооружений. – М.: Стройиздат, 1986. – 386 с.

11. Пырков В.В. Современные тепловые пункты. Автоматизация и регулирование. – К.: ДП «Такі справи», 2007. – 252 с.

12. Богусловский Л.Д. Снижение расхода электроэнергии при работе систем отопления и вентиляции. – М.: Стройиздат, 1985. – 336 с.

ESTIMATION OF THE THERMAL PERFORMANCE OF BUILDINGS

S. Romanenko, A. Perekrest, M. Volzhan

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University

vul. Pershotravneva, 20, Kremenchuk, 39600, Ukraine. E-mail: sergmetall303@rambler.ru

Analysis of factors influencing on the thermal losses of civil buildings is made. The structure of the heat loss through the building envelope of individual school buildings is received. The calculation of the reduced thermal resistance of building envelopes, window frames made of wood and PVC on example educational buildings Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University is done. Thermographing survey found that due to thermal insulation the slopes around the perimeter of the window can be achieved by increasing the total resistance in heat transfer. Analysis of the results of the thermal imaging survey of educational buildings allowed to determine their current thermal performance. Comparative analysis of measures for thermal renovation buildings is made. The range of reduce heat losses university buildings by replacing the set of window designs is set. The measures to reduce energy consumption with minimal capital investment are proposed. The results obtained by the research can be used in the development and improvement of energy certificates of buildings on the new rules.

Key words: heat loss, heat resistance, heat absorption coefficient, coefficient of thermal conductivity, energy audit, convection.

REFERENCES

1. Gershenzon, Y.A., Ivyansky, A.Z. and Pavlina I.B. (1982), "About breathability windows in homes of mass construction", *Zhilishchnoye stroitelstvo*, no. 4, pp. 9–11. (in Russian)
2. *Konstruktivni budynkiv ta sporud. Teplova izolyatsiya budivel: DBN* [Construction of buildings and structures. Thermal insulation of buildings: GBC (Government building codes of Ukraine) V.2.631], (2006), Minbud Ukrayiny, Kiyv. (in Ukrainian)
3. Ivanov, A.M., Prokofiev, A.A. and Schurov, A.N. (1998), "Energy saving and environmental aspects of the use of different types of glass", *Okna i dveri: Informatsionnyy byulleten*, Vol. 3, no. 12, pp. 21–22. (in Russian)
4. Matrosov, Y.A. and Butovskiy, I.N. (1995), "Bitmap thermo rationing of building envelopes", *Zhilishchnoye stroitelstvo*, no. 12, pp. 6–10. (in Russian)
5. Shvedov, N.V. (1998), "New requirements for heat engineering characteristics of windows and balcony doors" (Comment number 4 Change to the SNIP 3.11.79 "Thermal Engineering"), *Okna i dveri: Informatsionnyy byulleten*, no. 2, 3, pp. 6–7. (in Russian)
6. Avdeyev, G.K. (1997), "Reduced total thermal resistance of windows and their impact on the wall structures", *Promyshlennoye i grazhdanskoye stroitelstvo*, no. 11, pp. 37–40. (in Russian)
7. Bogoslovskiy, V.N. (1979), *Teplovoj rezhim zdaniya* [Thermal regime of the building], Stroyizdat, Moscow. (in Russian)
8. Krivoshein, A.D. (1998), "PVC windows: an analysis of the thermal regime for interface with external walls of various design solutions", *Okna i dveri: informatsionnyy byulleten*, Vol. 4, no. 13, pp. 14–16. (in Russian)
9. Calculation and design of building envelopes: a handbook to the SNIP, *NII stroitelnoy fiziki* (1990), Moscow, Stroyizdat. (in Russian)
10. Tabunschikov, Yu.A., Khromets, D.Yu. and Matrosov, Yu.A. (1986), *Teplovaya zashchita ograzhdayushchikh konstruktivnykh zdaniy i sooruzheniy*. [Thermal protection enclosing structures of buildings], Stroyizdat, Moscow. (in Russian)
11. Pyrkov, V.V. (2007), *Sovremennyye teplovyye punkty. Avtomatizatsiya i regulirovaniye* [Modern heat points. Automation and regulation], Taky spravy, Kiyv. (in Ukrainian)
12. Boguslavskiy, L.D. (1985), *Snizheniye raskhoda elektroenergii pri rabote sistem otopeniya i ventilyatsii* [Reducing the energy consumption in the operation of the heating and ventilation], Stroyizdat, Moscow. (in Russian)

Стаття надійшла 23.08.2014.