

Методи та засоби неруйнівного контролю і технічної діагностики

УДК 691.263

ДОСВІД ОЦІНЮВАННЯ ВТРАТ ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ НА ПРИКЛАДІ КОРПУСУ ВИЩОГО НАВЧАЛЬНОГО ЗАКЛАДУ

О.М.Карнаш, І.В.Рибіцький, І.М.Дячишин, М.О.Карнаш, І.М.Артим

ІФНТУНГ; 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (0342) 504708
e-mail: rybitsky@nung.edu.ua

Подано результати визначення втрат теплової енергії на прикладі окремої будівлі навчального закладу. Визначення втрат теплової енергії проводилось за допомогою розрахункового методу та з використанням тепловізійної техніки. За результатами аналізу літературних джерел та тепловізійних досліджень виявлено, що втрати теплової енергії відбуваються здебільшого через старіння будівлі, що призводить до зменшення коефіцієнта теплового опору та погіршення теплоізоляційних характеристик захисних конструкцій. Виявлено, що втрати теплової енергії в окремих елементах захисних конструкцій подекуди в 6 разів перевищують нормативно допустимі.

Ключові слова: втрати теплової енергії, тепловізійні дослідження, тепловий опір.

Поданы результаты определения потерь тепловой энергии на примере отдельного здания учебного учреждения. При помощи расчётного метода и с использованием тепловизионных приборов определены потери тепловой энергии. По результатам анализа литературных источников и тепловизионных исследований определено, что потери тепловой энергии происходят в основном по причине старения здания, что приводит к уменьшению коэффициента теплового сопротивления и снижению теплоизоляционных характеристик ограждающих конструкций. Определено, что потери тепловой энергии в отдельных элементах ограждающих конструкций местами в 6 раз превышают нормативно допустимые.

Ключевые слова: потери тепловой энергии, тепловизионные исследования, тепловое сопротивление.

The results of thermal energy losses evaluation by example for building institution of higher education are given. Thermal energy waste definition was made by use of the calculation method and thermal imaging unit. On bases of references and results of thermal infrared inspection shown that thermal energy waste basically occur from building deterioration. It is instance of thermal resistance coefficient and walling heat insulation capability decrease. It was determined, that thermal energy waste in some places of building envelope separate element in 6 time higher then standard level.

Keywords: thermal energy waste, thermal infrared research, thermal resistance coefficient.

Як відомо, підвищення ефективності використання енергії на сьогоднішній день стає одним з пріоритетних напрямків науки і техніки, в тому числі і теплової енергії, що використовується для опалення будівель. Результати досліджень свідчать, що на обігрівання будівель понаднормово витрачається до 40% енергії. В будівлях втрати теплової енергії через стіни становлять до 45%, через вікна та двері – до 33% і через дахи та підлоги – до 22% [1, 2]. За даними Ради національної безпеки і оборони до категорії аварійних та ветхих належить близько 4% житлового фонду країни [3].

Зведення нових будівель та реконструкція вже існуючих все частіше потребують використання нових енергозберігаючих технологій, а також теплоенергетичного діагностування фактичного стану цих об'єктів. Так, відповідно до Розпорядження Кабінету Міністрів України №1334-р від 16.10.2008 р. «Про схвалення пріоритетних напрямів діяльності у сфері енергоефективності та енергозбереження на 2008-2009 роки», заміна застарілого опалювального обладнання та систем теплопостачання повинна проводитись з урахуванням результатів енергетичного аудиту у разі використання державних коштів. Особливо це



а)



б)

Рисунок 1 – Тепловізор FLUKE Ti25 (а) та інфрачервоний пірометр FLUKE 574 (б)

питання актуальне для держбюджетної сфери (адміністративні споруди, навчальні та медичні заклади тощо), практична робота яких в галузі енергозбереження майже не врегульована законодавчо, а відповідні витрати покриваються з бюджетів різних рівнів.

Одним із способів вирішення означеної проблеми є періодичне проведення енергоаудиту будівель та споруд відповідними засобами та розроблення рекомендацій щодо зменшення втрат теплової енергії.

Перший досвід, накопичений в ІФНТУНГ з цього приводу, описаний в даній статті. Поштовхом до такої роботи послужили складна економічна ситуація в Україні та досвід роботи німецьких колеги із Університету Ціттау/Гьорлітц, яким вдалося скоротити за результатами енергоаудиту до 20% втрати енергоресурсів шляхом модернізації систем тепло-, водо- та електропостачання. В 2007 році в університеті було створено координаційний центр з енергозбереження, на який і було покладено функції з енергоменеджменту та енергоаудиту.

З метою апробації методик оцінювання теплових втрат було проведено тепловізійні дослідження приміщень одного із навчальних корпусів Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу.

Дослідження здійснювали фахівці лабораторії неруйнівного контролю та технічної діагностики Науково-дослідного інституту нафтогазової енергетики і екології ІФНТУНГ.

Тепловізійні обстеження проводились за допомогою промислового тепловізора Fluke Ti25 (рис. 1,а) та інфрачервоного пірометра Fluke 574 (рис. 1,б).

Перед початком тепловізійних обстежень було перевірено проектну документацію та здійснено візуальний огляд будівель навчального корпусу.

Розміри будівлі, віконних та дверних рам було додатково виміряно та зіставлено з розмірами на планах для визначення фактичних площі та об'єму будівлі. Отримані дані подано в таблиці 1.

Таблиця 1 – Результати натурних вимірювань геометричних параметрів будівлі

Загальна площа та об'єм опалювальних приміщень		
Підвал	635.85 м ²	1812.17 м ³
1 поверх	635.85 м ²	2765.94 м ³
2 поверх	635.85 м ²	2543.4 м ³
Окрема аудиторія	146.8 м ²	587.2 м ³
Гараж	70 м ²	178.5 м ³
Всього	2124.35 м ²	7887.21 м ³

Згідно з міжгалузевими норми для опалювання приміщень, споживання електричної та теплової енергії для установ і організацій бюджетної сфери України для Івано-Франківської області встановлено показник 0.033 Гкал/м³.

Об'єм приміщення, встановлений за зовнішніми розмірами, подано в таблиці 2.

Таблиця 2 – Об'єм приміщень навчального корпусу

Об'єм приміщень за зовнішнім обмірюванням	
Основний корпус	10295 м ³
Окрема аудиторія	763.51 м ³
Гараж	178.5 м ³

Таким чином, за визначеним об'ємом будівлі та нормами споживання теплової енергії визначаємо кількість тепла, яка повинна бути спожита згідно норм:

$$Q_H = 323.5 \text{ Гкал.}$$

Зі щорічних звітів споживання теплової енергії по даному корпусу ІФНТУНГ відомо, що фактично спожито:

- у 2007 році — 251.3 Гкал;
- у 2008 році — 222.46 Гкал.

Отже, кількість теплової енергії для опалювання будівлі є недостатньою (будівля недоопалюється).

З метою створення бази для порівняння результатів натурних досліджень за допомогою вищевказаних технічних засобів, було розроблено методику оцінювання теплових втрат розрахунковим методом відповідно до діючих нормативних документів.

Короткі результати застосування цієї методики є наступними.

Загальна площа будівлі – 853.52 м². Об'єм приміщення (три поверхи) за зовнішнім обмірюванням становить – 10538.5 м³. Загальна площа захисних конструкцій (стіл, вікон, дверей та перекриттів) – 1987.72 м². Визначимо приведений опір теплопередачі захисних конструкцій та порівняємо їх із нормативними значеннями для другої температурної зони [4] (табл. 3).

Таблиця 3 – Розрахункові значення опорів теплопередачі

Значення опору теплопередачі <i>м²°C/Вт</i>	Розрахункове	Нормативне
Стіни	1.16	2.5
Горище	1.0572	4.5
Підвал	0.4	2.3
Вікна	0.28	0,56

Таким чином, понаднормові втрати теплової енергії склали відповідно: через стіни – 116%, через горище – 325%, через підвал – 475%, через вікна – 100%.

Розраховані значення понаднормових втрат вказують на скільки процентів зросли втрати теплової енергії через захисні конструкції порівняно з втратами, які були б за умови, що захисні конструкції володіли нормативними значеннями теплопровідних характеристик. 1

Враховуючи дані про площу захисних конструкцій можемо визначити частку понаднормових енерговитрат на одиницю площі через кожен з елементів захисної конструкції (табл. 4).

Як бачимо, найбільше понаднормових енерговитрат відбувається через підлогу підвалу (частка від загальних енерговитрат 43,16%). Значні втрати тепла відбуваються через вікна, стан яких незадовільний: рами вікон деформовані і

не пристають до віконних коробок, наявні отвори та тріщини у шклі вікон.

Аналогічним чином було визначено теплові втрати гаражного приміщення. Гараж має розміри 14×5×2,55м, стіни цегляні товщиною 30 см, не утеплені. Опір теплопередачі $R=0,50\text{ м}^2\text{°C/Вт}$. Ворота металічні розміром 3.0×1.9м (4штуки). Оскільки метал є хорошим теплопровідником, а металічні двері не ізолювані, то в такому випадку опір теплопередачі є надзвичайно низьким. Все тепло через металічні двері випромінюється назовні. В гаражі встановлені елеваторний пункт, два трубних реєстри, проходять труби системи опалення. Це все працює, як нагрівальні прилади, і практично, все тепло випромінюється в атомсферу [5].

Всього втрати тепла у гаражі становлять $\Delta Q_e = 21\text{ Гкал}$. За наявності відповідної ізоляції втрати тепла становитимуть – 2 Гкал.

На горищі основні втрати тепла відбувається через неізолювані труби подавання гарячої води в приміщення. Там здебільшого встановлено труби діаметром 48 мм. Загальна довжина неізолюваних трубопроводів становить 48 м. У частині трубопроводів пошкоджена ізоляція.

За підрахунками втрати тепла на горищі через відсутність ізоляції складає 21.5 Гкал. За наявності ж відповідної ізоляції втрати тепла становитимуть 1.8 Гкал, тобто в 12 разів менші.

Розрахунок енергетичних втрат за результатами тепловізійних досліджень

Як бачимо, визначення втрат теплової енергії захисних конструкцій будівель розрахунковим методом доцільно проводити на стадії проектування будівлі або на початку її експлуатації. З часом теплоізоляційні властивості матеріалу захисних конструкцій під впливом змін температури, вологості та старіння деградують, тому дійсні значення теплових втрат можуть значно відрізнятись від розрахункових. Крім того, розрахунковий метод не дає змоги визначити вплив дефектів теплової ізоляції та її анізотропію на загальну величину теплових втрат.

Найбільш доцільним в даному випадку є тепловізійний метод. Даний метод, що полягає у застосуванні тепловізорів, інфрачервоних пірометрів та інших приладів, дає можливість візуалізувати теплові потоки та їх розподіл по захисній конструкції (рис. 2), і точно визначити

Таблиця 4 – Понаднормові втрати теплової енергії

Елемент огорожувальної конструкції	Відсоток загальної площі	Відсоток понаднормової втрати енергії	Понаднормові енерговитрати елементів захисної конструкції, %	Частка енерговитрат, %
Стіни цегляні	47,6	116	55,216	23,34
Вікна	9,4	100	9,4	3,97
Перекриття горища	21,5	325	69,875	29,53
Підлога підвалу	21,5	475	102,125	43,16

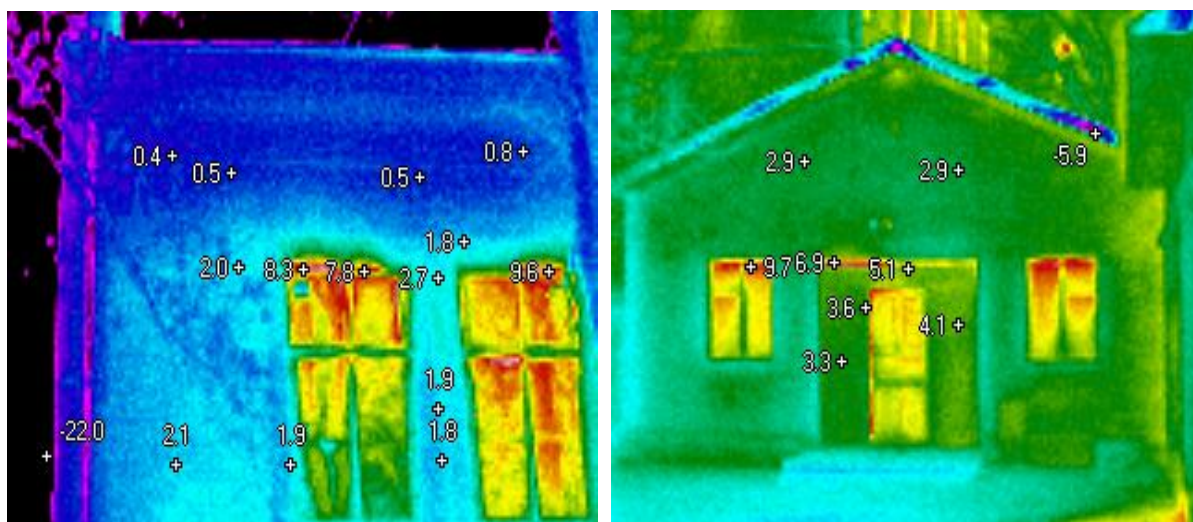


Рисунок 2 – Тепловізійні зображення досліджуваної будівлі

місця витоків теплової енергії та кількісно їх оцінити.

Тому наступним етапом визначення теплових втрат по навчальному корпусу ІФНТУНГ стало проведення досліджень за допомогою промислового тепловізора та інфрачервоного пірометра (рис. 1).

Для визначення теплових втрат захисних конструкцій у відсотковому відношенні спочатку визначимо величини приведені теплових опорів окремих неоднорідних ділянок захисних конструкцій [4] за формулою:

$$R_0 = \frac{t_B - t_3}{q^{\text{розрах}}}, \quad (1)$$

де: t_B , t_3 – температура повітря всередині приміщення та назовні відповідно; $q^{\text{розрах}}$ – величина теплового потоку, що розраховується за формулою

$$q^{\text{розрах}} = \alpha_B (t_B - t_{B,CP}) = \alpha_3 (t_{3,CP} - t_3), \quad (2)$$

де: α_B , α_3 – коефіцієнт тепловіддачі внутрішньої та зовнішньої (для зимових умов) поверхні захисної конструкції відповідно; $t_{B,CP}$, $t_{3,CP}$ – середнє значення температури внутрішньої та зовнішньої ділянки поверхні захисної конструкції відповідно.

В нашому випадку розрахунки будемо проводити за середнім значенням температури зовнішньої поверхні захисних конструкцій, оскільки, наприклад до внутрішніх поверхонь стін не завжди був доступ (наявність меблів в приміщеннях, інформаційних плакатів). Відповідно, згідно [4] та [6] коефіцієнти тепловіддачі зовнішньої (для зимових умов) поверхні α_3 захисних конструкцій становитиме: для зовнішніх стін – $23 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$; для перекриття горища – $12 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ (з зовнішнього боку) та $8,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ (з внутрішнього боку); для перекриття над підвалом – $17 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$; для вікон – $23 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$.

Температура зовнішніх стін першого та другого поверхів будівлі навчального корпусу,

виміряна за допомогою тепловізора та пірометра, коливалась в діапазоні від $0,2^\circ\text{C}$ до $5,5^\circ\text{C}$, в той же час їх температура зсередини коливалась в діапазоні від $10,7^\circ\text{C}$ до $22,5^\circ\text{C}$. Варто зауважити, що максимальні температури, виміряні тепловізором на зовнішніх стінах, спостерігались у місцях стику перекриття зі стіною та місцях розміщення батарей системи опалення (рис. 3). Підчас вимірювання температур зовнішньої стіни з приміщень найменші значення температур були зафіксовані у кутах, які були зовнішніми кутами споруди (рис. 4).

Температури поверхонь вікон першого та другого поверхів коливались в діапазоні: зовні – від $2,0^\circ\text{C}$ до $12,1^\circ\text{C}$, причому найвищі значення температур були у місцях стику рами вікна та віконного проїому та стику віконних шибок та рам; з внутрішнього боку – від $14,2^\circ\text{C}$ до $20,7^\circ\text{C}$.

Температура зовнішніх стін підвального поверху будівлі навчального корпусу коливалась від $0,8^\circ\text{C}$ до $2,5^\circ\text{C}$, в той же час їх температура зсередини становила від $8,5^\circ\text{C}$ до $14,2^\circ\text{C}$. Температури поверхні вікон підвального поверху коливалась в діапазоні: зовні – від $3,9^\circ\text{C}$ до $8,3^\circ\text{C}$, зсередини – від $4,1^\circ\text{C}$ до $10,9^\circ\text{C}$.

Визначимо середнє значення температури окремого елемента захисної конструкції за допомогою програмного пакету SmartView 2.1, яке входить в комплект до промислового тепловізора Fluke Ti25. Дане програмне забезпечення дає можливість визначати середнє значення температури поверхні виділеної зони та проводити коригування даної температури шляхом встановлення дійсного значення коефіцієнта випромінювання.

Середнє значення температури поверхні зовнішніх стін, визначене за результатами тепловізійних досліджень, складає мінус $0,9^\circ\text{C}$ (рис. 5).

На рисунку 5 чітко видно місця розташування батарей опалювання в приміщенні, оскільки поверхня зовнішнього боку будівлі в цих місцях має вищу температуру (світліший колір), що вказує на погані теплоізоляційні характеристики захисної конструкції.

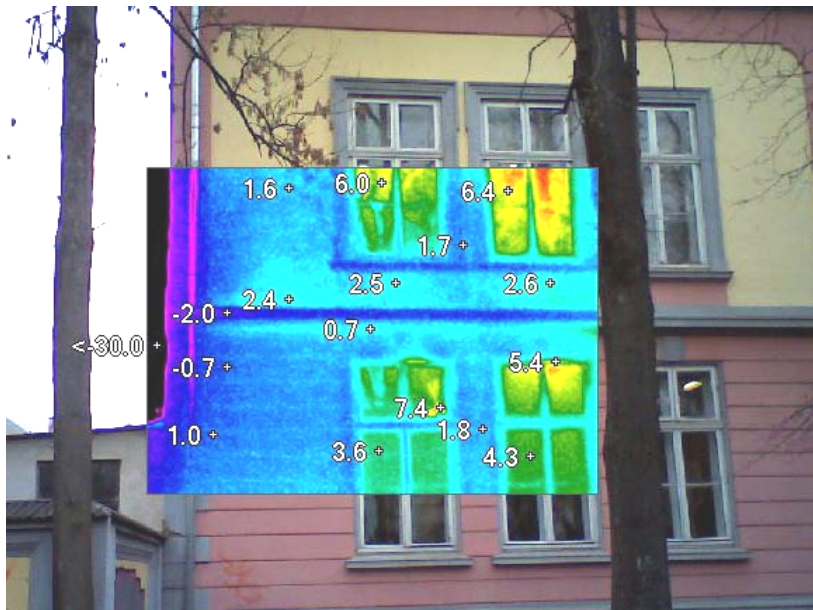


Рисунок 3 – Тепловізійне зображення зовнішньої стіни будівлі

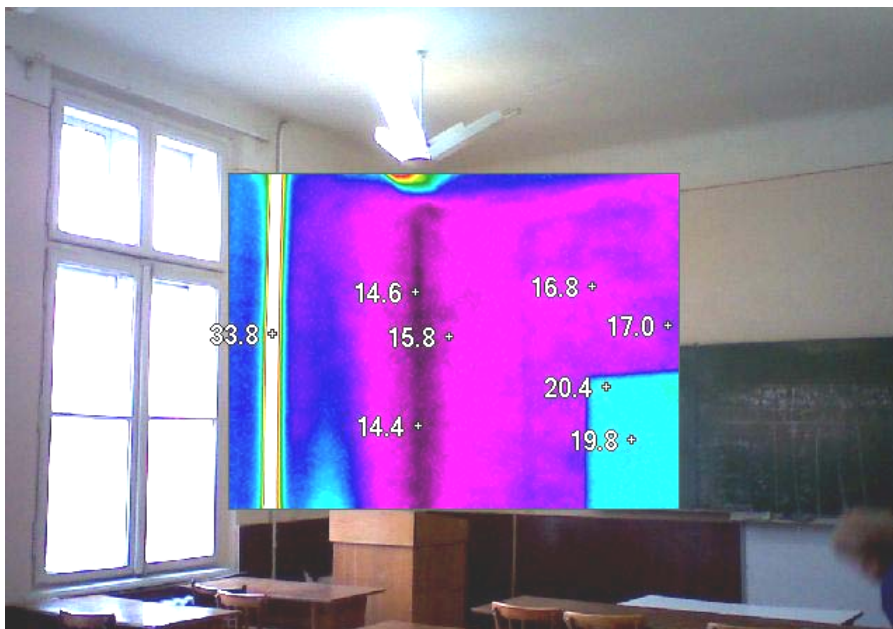


Рисунок 4 – Тепловізійне зображення внутрішньої стіни будівлі

Середнє значення температури зовнішнього боку поверхні перекриття горища, визначене за результатами тепловізійних досліджень, складає $+4,7\text{ }^{\circ}\text{C}$. З внутрішнього боку середнє значення температури поверхні перекриття горища складає $+16,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ (рис. 6). На погані теплоізоляційні властивості перекриття горища вказує неоднорідність розподілу температури по поверхні перекриття з внутрішнього боку (чітко можна визначити місця розташування балок перекриття, рисунок 10). В той же час середнє значення температури повітря навколишнього середовища на горищі складає $+2,3\text{ }^{\circ}\text{C}$.

За результатами тепловізійних досліджень також було визначено середнє значення температури зовнішнього боку поверхні віконних проїмів, яке склало $+4,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ (рис. 7).

Рисунок 7 підтверджує вище наведені висновки про незадовільний стан віконних рам та теплоізоляції віконних проїмів. Віконні рами прилягають не щільно, скло в рамах погано закріплене і має тріщини та отвори, що сприяє збільшенню втрат теплової енергії.

У момент проведення досліджень зовнішня температура повітря складала мінус $2,0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Для визначення втрат теплової енергії в захисних конструкціях досліджуваної будівлі, розраховано за формулами (1) та (2) величини приведених термічних опорів:

- для стін будівлі: $R_0 = 0,85\text{ м}^2\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$;
- для перекриття (другий поверх/горище):
 $R_0 = 0,71\text{ м}^2\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$;
- для віконних проїмів:
 $R_0 = 0,15\text{ м}^2\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$.

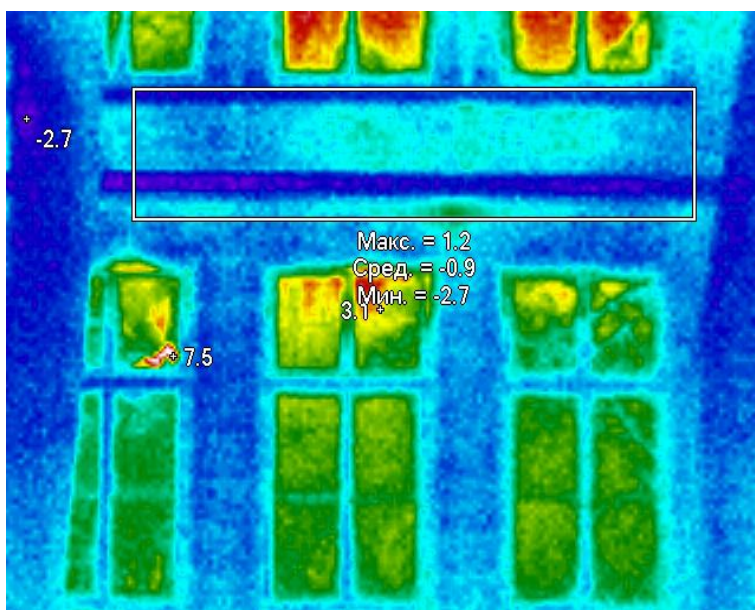


Рисунок 5 – Визначення середнього значення температури поверхні зовнішніх стін

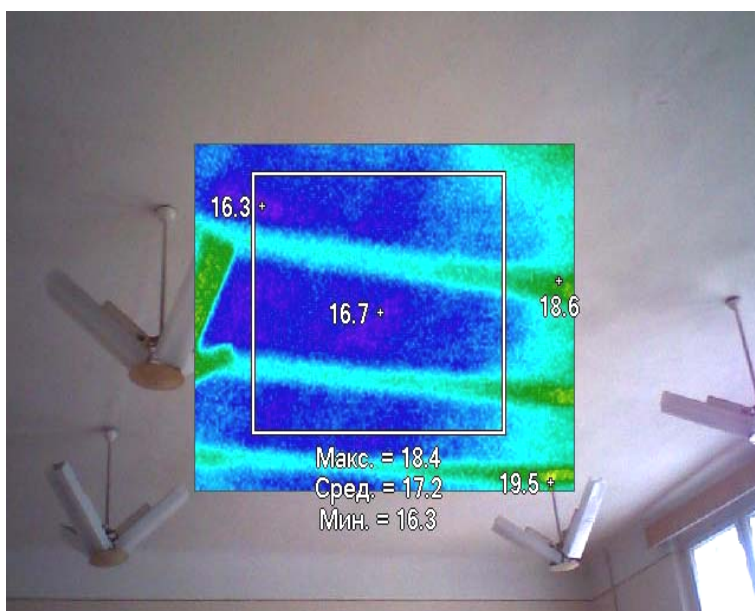


Рисунок 6 – Визначення середнього значення температури поверхні перекриття горища

Визначимо понаднормові втрати теплової енергії (у відсотках), які втрачаються через захисні конструкції:

- для стін будівлі – 194%;
- для перекриття (другий поверх/горище) – 533%;
- для віконних проїомів – 273%.

Як бачимо, дійсні втрати теплової енергії через захисні конструкції (за результатами тепловізійних досліджень) значно вищі за розраховані втрати. Цей факт пояснюється деградацією теплоізоляційних характеристик конструкцій будівлі.

Розраховані значення понаднормових втрат (за результатами тепловізійних досліджень) вказують на скільки відсотків зросли втрати теплової енергії через захисні конструкції порівняно з втратами, які були б за умови,

що захисні конструкції володіли нормативними значеннями теплопровідних характеристик (табл.3). Тобто, втрати через стіни будівлі майже в тричі перевищують нормативно допустимі втрати, а для перекриття другий поверх/горище дані втрати більше, ніж в 6 раз перевищують нормативні.

Також слід зауважити, що значні втрати теплової енергії відбуваються на горищі будівлі в системі опалювання (труби подавання теплоносія) через незадовільний стан, а подекуди і відсутність теплоізоляції труб системи опалення (рис. 8).

Як бачимо, на горищі не ізольовані труби системи опалення працюють як нагрівальні елементи і намарно обігрівають приміщення горища.

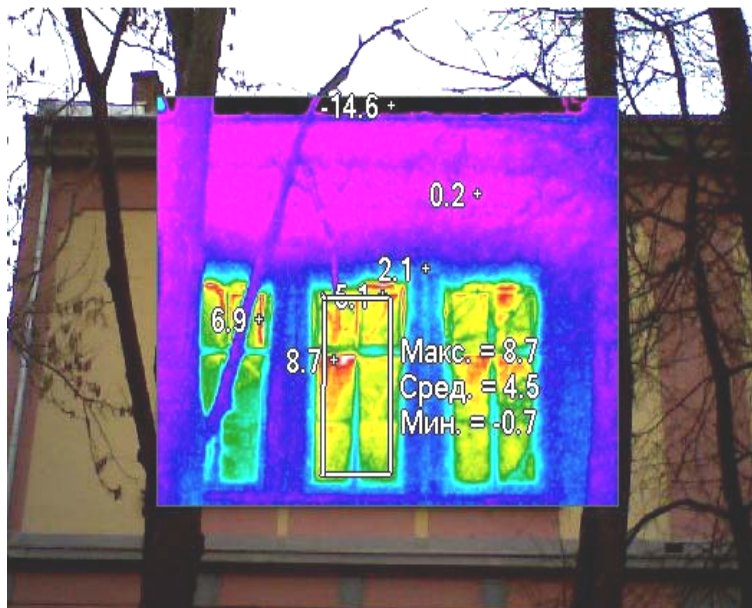


Рисунок 7 – Визначення середнього значення температури поверхні віконних проїомів

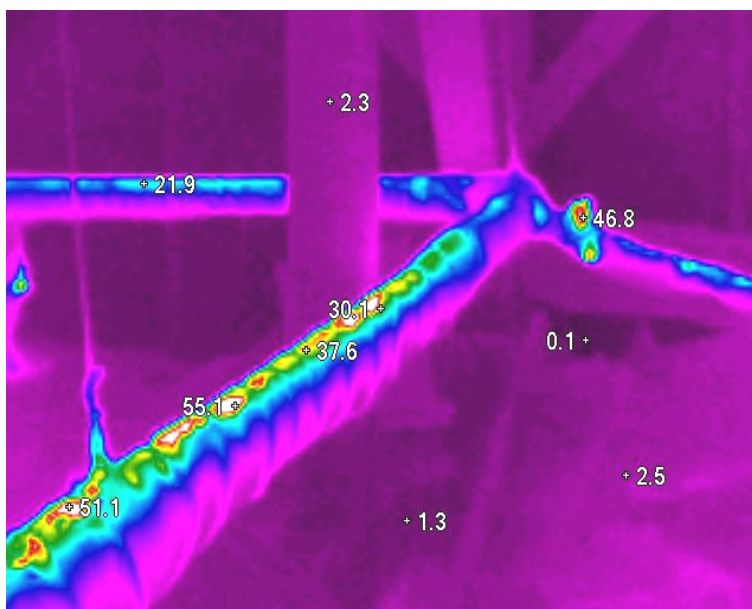


Рисунок 8 – Місця витоків тепла у системі опалювання

Необхідно відмітити, що тепловізійні дослідження проводились при не надто низькій температурі зовнішнього повітря (-2°C). Враховуючи те, що для даної кліматичної зони температура зовнішнього повітря може сягати -20°C , втрати теплової енергії за таких зовнішніх погодних умов значно зростають.

За результатами тепловізійних досліджень та проведеними розрахунками з визначення теплових втрат в огорожуючих конструкціях будівлі навчального корпусу ІФНТУНГ можна зробити наступні висновки:

значні втрати теплової енергії через огорожуючі конструкції будівлі виникають здебільшого через старіння будівлі, в результаті чого практично усі елементи огорожуючих конструкцій втратили свої теплоізоляційні властивості;

втрати теплової енергії, визначені за результатами тепловізійних досліджень, перевищують розраховані втрати, що підтверджує старіння елементів захисних конструкцій та деградацію їх теплоізоляційних характеристик;

найбільші понаднормові втрати теплової енергії виявлені через стіни, вікна, перекриття горища та вхідні двері;

значні втрати виникають в системі опалення – втрати через неізольовані труби системи опалення на горищі;

втрати теплової енергії в окремих елементах захисних конструкцій подекуди в 6 раз перевищують нормативно допустимі втрати (перекриття другий поверх/горище).

Література

- 1 Еремки А.И. Тепловой режим зданий [Текст] : Учебное пособие / А.И. Еремки, Г.И. Королева – М.: Издательство АСВ, 2000. – 368 с. – ISBN 978-966-668-293-6.
- 2 Монастырев П.В. Технология устройства дополнительной теплозащиты стен жилых зданий [Текст] : Учебное пособие / П.В. Монастырев – М.: Издательство АСВ, 2002. – 160 с. – ISBN 978-966-2122-87-4.
- 3 Інформація про перше засідання Міжвідомчої комісії з питань науково-технологічної безпеки при Раді національної безпеки і оборони України : від 14.02.02 р. / Рада національної безпеки і оборони України // Офіційна вебсторінка РНБО України. – Режим доступу: <http://www.rainbow.gov.ua>.
- 4 Конструкції будинків і споруд. Теплова ізоляція будинків [Текст] : ДБН В.2.6-31:2006. – [Чинні від 2006 – 07 – 28]. – К.: Міністерство будівництва, архітектури та житлово-комунального господарства України, 2006. – VII, 73 с.
- 5 Методические указания по определению тепловых потер в водяных тепловых сетях. [Текст] : РД 34.09.255-97. – [Введён в действие от 2007 – 25 – 01]. – М.: Департамент стратегии развития и научно-технической политики РАО "ЕЭС России", 1997. – 31 с.
- 6 Блоки оконные и дверные. Методы определения сопротивления теплопередаче [Текст] : ГОСТ 26602.1-99. – [Введён в действие от 2000 – 01 – 01]. – М.: Департамент стратегии развития и научно-технической политики РАО "ЕЭС России", 2000. – 17 с.

Стаття постуила в редакційну колегію

23.07.09

Рекомендована до друку професором

В. С. Костишином