

УДК 005.65.012.2

Д.В. Маргасов, аспірант

Чернігівський державний інститут економіки і управління, м. Чернігів, Україна

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ У МОНИТОРИНГУ ЕНЕРГООЩАДНОСТІ БЮДЖЕТНИХ БУДІВЕЛЬ м. ЧЕРНІГОВА

Д.В. Маргасов, аспірант

Черниговский государственный институт экономики и управления, г. Чернигов, Украина

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В МОНИТОРИНГЕ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ БЮДЖЕТНЫХ ЗДАНИЙ г. ЧЕРНИГОВА

Dmytro Marhasov, PhD student

Chernihiv State Institute of Economics and Management, Chernihiv, Ukraine

THE INFORMATION TECHNOLOGIES IN THE MONITORING OF ENERGY SAVING OF CHERNIHIV MUNICIPAL BUILDINGS

Запропоновано створити інформаційну систему моніторингу та управління енергозбереженням бюджетних будівель для аналізу прийняття рішень з використанням ІЧ-термограм, лазерного сканування, ГІС-технологій, мережі Інтернет.

Ключові слова: інформаційні технології, ІЧ-термограми, бюджетні будівлі, ГІС-технологія, мережа Інтернет.

Предложено создать информационную систему мониторинга и управления энергосбережением бюджетных зданий для анализа принятия решений с использованием ИК-термограмм, лазерного сканирования, ГИС-технологий, сети Интернет.

Ключевые слова: информационные технологии, ИК-термограммы, бюджетные здания, ГИС-технология, сеть Интернет.

It is proposed to set up an information system for monitoring and management for decision analysis using infrared thermograms, municipall buildings, GIS technology, Internet

Key words: information technology, infrared thermograms, municipall buildings, GIS technology, Internet.

Постановка проблеми. Актуальність проблеми енергоощадності для будівель бюджетних організацій, з одного боку, обумовлена соціальною значущістю цих об'єктів, з іншого боку, марнотратне споживання енергії та відсутність системного підходу до реалізації енергоощадних заходів є одними з основних причин дефіциту бюджетів усіх рівнів.

Зважаючи на те, що останнім часом нові об'єкти бюджетної сфери в експлуатацію майже не вводяться, основні резерви енергоощадності знаходяться у сфері вдосконалення енергоспоживання раніше побудованих будівель бюджетних установ. Так, у програмі енергоощадності в закладах охорони здоров'я м. Чернігова на 2013-2017 роки одним з основних напрямків вирішення завдань скорочення енергоспоживання закладами

охорони здоров'я міста є програмне планування та моніторинг заходів з енергозбереження за допомогою впровадження системи енергетичного моніторингу [1].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналізуючи дослідження з інформаційних систем моніторингу енергоощадності бюджетних будівель, слід зазначити, що в Україні ці питання висвітлюються у працях А.В. Праховника, В.В. Прокопенко, О.І. Соловей [2], О.Г. Ратушняк [3] та інші. Питання інформаційних технологій в Україні висвітлюються у працях І.В. Сергієнко [4], В.В. Казимира [5] та інших. За кордоном питаннями моніторингу енергоощадності займаються В.П. Вавилов [6], Ю.А. Табунщиков [7] та інші.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. Не вирішеною є проблема створення загальної он-лайн інформаційної системи моніторингу енергоощадності муніципальних бюджетних будівель у мережі Інтернет.

Мета статті. Головною метою цієї роботи є опис інформаційних технологій та технічних засобів моніторингу енергоощадності бюджетних будівель м. Чернігова.

Виклад основного матеріалу. Ціннісний підхід є основою до ініціювання проектів [8]. Прийняття рішень до створення енергоощадних проектів можливо розглядати як процес від формування цінностей з енергоощадності, виникнення бажання до змін, вибору вигод, пошук можливостей та ресурсів, управління втіленням, досягнення економії та контроль за рахунок інформаційної системи моніторингу й управління (рис. 1).

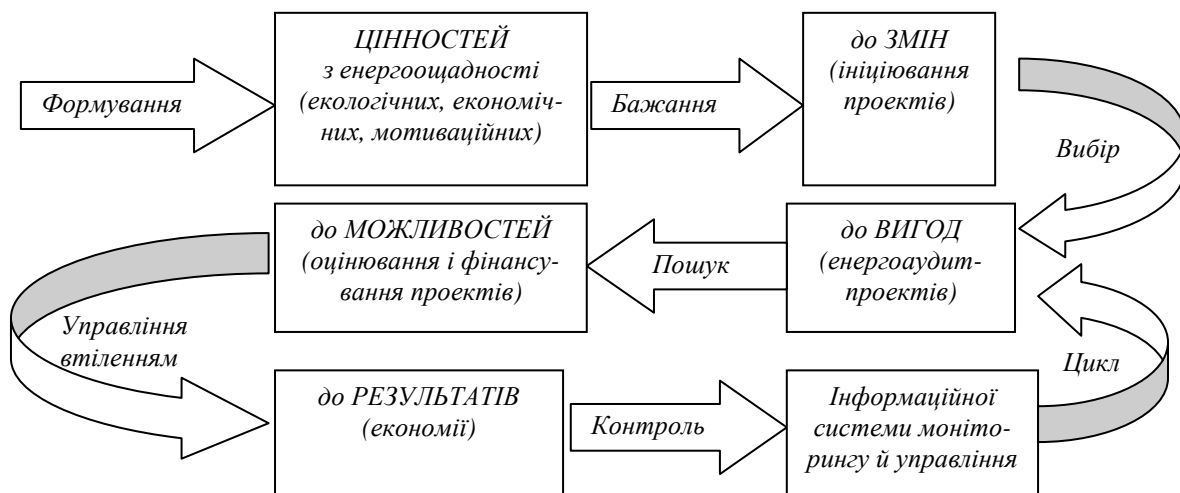


Рис. 1. Загальний погляд на процес прийняття рішень для енергоощадного проекту

Енергоощадні проекти, які пропонуються сьогодні, мають ознаки рекурсивності енергоощадних заходів, тому питання створення інформаційної системи моніторингу й управління є, насамперед, засобом проактивного управління [9] з енергоощадності.

Дані з енергоспоживання тепла бюджетних будівель м. Чернігова представлені на рис. 2. Ці дані свідчать про деяке зменшення витрат тепла у Гкал, але за який рахунок – це предмет аналізу.

Інформаційні технології моніторингу бюджетних будівель м. Чернігова пропонується представити, як сформований у мережі Інтернет он-лайн ресурс з інформаційною ГІС-системою, де є 3D карта об'єктів або дані з їх наземного лазерного сканування, є інтерфейс адміністратора для введення статистичних даних про об'єкт та його енергоспоживання. Користувач, який відкриває дані по кожному об'єкту при наведенні безпосередньо на нього, бачить фото- або відеовізуалізації тепловтрат та дефектів бюджетних будівель по м. Чернігову, згідно з тепловізійними зйомками (рис. 4) та експрес-звітами (табл. 1, 2) з рекомендаціями, зробленими, наприклад, у програмі SmartView, яка безкоштовно поставляється з кожним тепловізором FLUKE. Програму SmartView можна вільно завантажити з веб-сайту www.fluke.com.

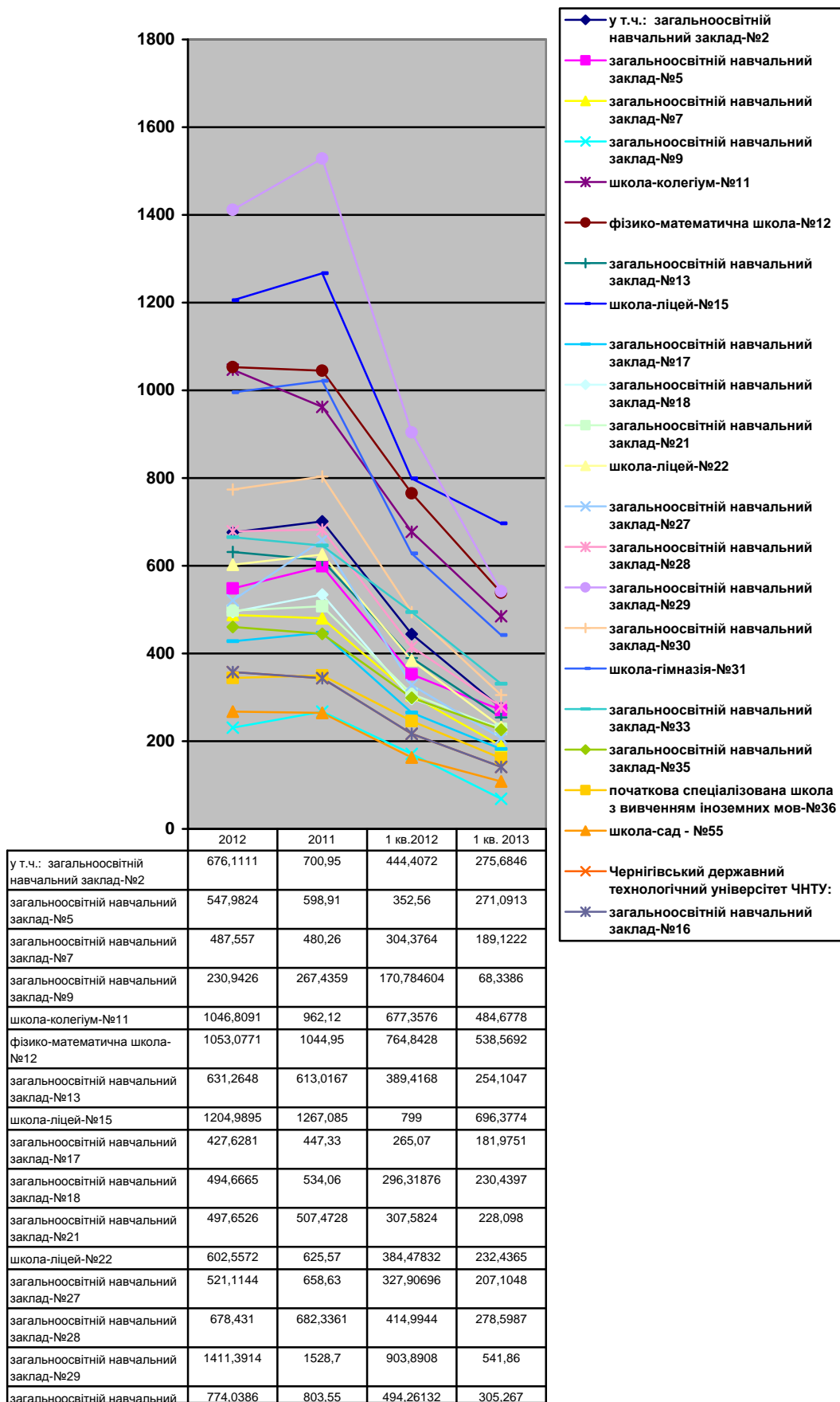


Рис. 2. Дані споживання тепла (Гкал) бюджетних будівель м.Чернігова

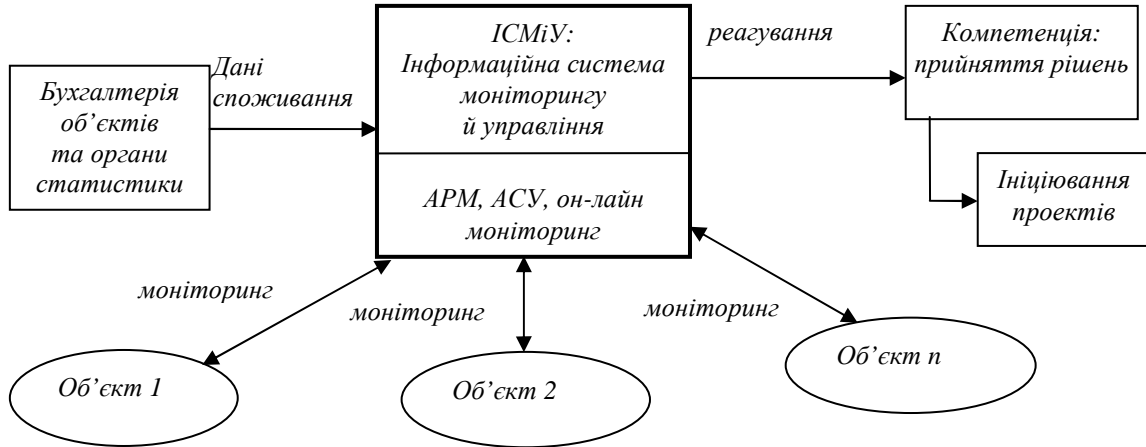


Рис. 3. Взаємозв'язок інформаційної системи моніторингу й управління

Однією з основних функцій тепловізора є візуалізація розподілу температури, здійснювана за допомогою термограм (теплових інфрачервоних зображень). Термограма являє собою зображення, кожен піксель якого забарвлюється певним кольором (залежно від обраної палітри і діапазону подання тепловізора або ПО для оброблення тепловізійних даних). Теплові зображення є псевдокольоровими, тобто зв'язок палітри кольорів з температурою задається оператором. Є безліч палітр, що входять до програмного забезпечення тепловізійних комплексів. На практиці частіше використовують палітри «Веселка» (Rainbow) і «Кольори розжареного заліза» (Iron). При правильному підборі палітри зони з близькими температурами можна представити за допомогою контрастних кольорів (рис. 4), проте не слід перебільшувати значення палітри для підвищення достовірності виявлення прихованих дефектів. Число кольорів для представлення температурної матриці змінюється від 1 до 256, що пов'язано з особливостями формування зображень в операційній системі. Іншими словами, кожен колір має свій індекс *i*, виходячи із пропорції, йому зіставляється певний інтервал температур в обраному динамічному діапазоні термограми.

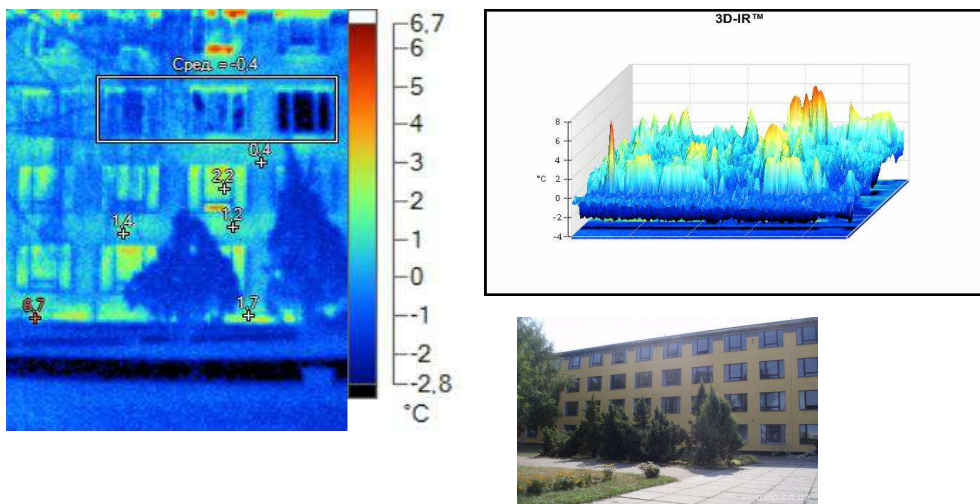


Рис. 4. Термографічна зйомка, 3D частотно-температурна гістограма Чернігівського національного технологічного університету у м. Чернігові, вул. Шевченко, 95, 20.02.2014, 9:28:34

Таблиця 1

Інформація про зображення

Температура фону	-1,8 °C
Коефіцієнт випромінювання	0,93
Середня температура	-0,4 °C

Межі зображення	-2,8 °C до 6,7 °C
Модель камери	Ti100
Розмір ІЧ-датчика	120 x 160
Серійний номер камери	Ti100-13120026
Виробник камери	Fluke Thermography
Час зображення	20.02.2014 9:28:34
Серйозність	Середнє

Таблиця 2

Маркери основного зображення

Ім'я	Температура, °C	Коефіцієнт випромінювання	Фон, °C
Гарячий	6,7	0,93	-1,8
P0	2,2	0,93	-1,8
P1	0,4	0,93	-1,8
P2	1,2	0,93	-1,8
P3	1,7	0,93	-1,8
P4	1,4	0,93	-1,8

У сучасних тепловізорах глибина оцифровки сигналу досягає 14 біт, що дозволяє з мінімальною похибкою дискретизації оцифровувати весь можливий діапазон змін температур (задається оператором під час роботи з тепловізором). Отримана температурна матриця найчастіше містить зони аномально високих (викидів) або аномально низьких сигналів (фону), які не мають корисної інформації, тому для перегляду слабконтрастних деталей температурної матриці вона може бути представлена оператору в певному діапазоні амплітуд (амплітудному вікні) [10].

Термографічна зйомка (рис. 4) проведена кваліфікованим енергоаудитором за допомогою тепловізора Fluke Ti100-13120026 (свідотство про державну метрологічну ате-стацію №05\0088 від 11.02.2014 р.) при температурі зовнішнього повітря -1,5 °C та 22 °C всередині приміщення при відносній вологості ззовні 66 %. Температура фону визначена за допомогою «теплого дзеркала». Коефіцієнт випромінювання взятий з нормативів по фарбі. Розподіл температур фасаду з термозображення ЧНТУ фасад.IS2 від 0,4 до 6,7 °C. Слід зауважити, що тепловізійна зйомка, хоча і дуже інформативна, але може мати немало похибку, зумовлену неточно визначеним коефіцієнтом випромінювання матеріалу стіни, відбитим сонячним випромінюванням, температурною передісторією та іншими факторами. На термограмі зображено жовтим кольором тепловтрати та точки з температурою поверхні фасаду. Ми бачимо прямокутну область із середньою температурою -0,4 °C, де були замінені вікна, тепловтрата там майже немає. Для більшої енергоефективності потрібно замінити всі вікна, встановити ролети на вікна та тепловідбивні екрани за радіатори опалення. Також слід зробити утеплення фундаменту. Утеплення (термомодернізація) фасаду більш затратний метод та актуальний лише при одночасній заміні вентиляції на рекуперативну.

Згідно із зарубіжним досвідом, найважливішим, якщо не основним, інструментальним методом енергетичних обстежень у будівництві є інфрачервона (ІЧ) тепловізійна діагностика, доповнена виміром потужності теплового потоку, напрямку і швидкості руху повітря, а також певними іншими параметрами. Обстеження будівель зводиться до визначення дефектів будівництва за аномаліями теплових полів.

Невирішеними проблемами тепловізійної діагностики є багато питань, зокрема:

– необхідність ефективного комбінування результатів ІЧ-зйомки та точкового вимірювання щільності потужності теплового потоку крізь огорожувальні конструкції (необхідно вирішити суперечності між більш швидким тепловізійним вимірюванням та більш довгим вимірюванням теплових потоків) [11].

Розглянемо стаціонарну теплопередачу через плоску стінку, оскільки відповідні завдання виникають під час тепловізійної діагностики огорожувальних конструкцій бу-

дівель і споруд, а також димових труб. Особливо це відноситься до визначення термічного опору стінки. Розглянемо плоску стінку, що розділяє два середовища з різною температурою T_{in}^a і T_{out}^a . Теплообмін на поверхнях пластини характеризується коефіцієнтами α_{in} і α_{out} . Одношарова пластина має термічну опору $R_t = L/\lambda$ багатшарова –

$R_t = \sum_{i=1}^N L_i / \lambda_i$. Тепловий потік крізь стінку дорівнює:

$$Q = \frac{T_{in}^w - T_{out}^w}{R_t}, \text{ або } Q = \frac{T_{in}^a - T_{out}^a}{R}, \quad (1)$$

де $R = 1/\alpha_{in} + R_t + 1/\alpha_{out}$ – повний тепловий опір стінки з урахуванням опорів прикордонних шарів, що залежать від відповідних коефіцієнтів теплообміну. Це відповідає тепловізійній діагностиці якості теплоізоляції димових труб або огорожувальних конструкцій будівельних споруд. При цьому за допомогою тепловізора вимірюють температурне поле на зовнішній поверхні ствола труби (стіни будівлі) T_{out}^w і за його амплітудою або текстурі судять про наявність прихованих дефектів і оцінюють їх параметри.

Визначення термічного опору стінки являє собою типову зворотну задачу технічної діагностики. Гіпотетично можливо розглянути два підходи щодо її вирішення: 1) вимірювання температури на обох поверхнях об'єкта, наприклад, за допомогою тепловізора з одночасним виміром теплового потоку через стінку за допомогою датчика теплового потоку; 2) вимірювання температури тільки на одній поверхні з одночасним вимірюванням температури навколишнього середовища. Перший підхід передбачений у будівельній практиці згідно з вимогами ГОСТ 26254–84. Зважаючи на наявність природної нестационарності температурного поля захисної конструкції, вимірювання проводять протягом тривалого часу (до декількох діб), після чого вибирають квазістационарний період і розраховують термічний опір стінки [10].

Ключова роль тепловізійного контролю у процедурі вимірювання – визначення температурного розподілення T_w^{out} по всій поверхні огорожувальної конструкції. При цьому теплопередача крізь стіну є стаціонарною. Стаціонарність є обов'язковою умовою, якщо використовуються формули, рекомендовані зарубіжними стандартами, тоді щільність теплового потоку крізь огорожувальні конструкції становить:

$$Q_{cur_av} = Q_{cur_ref} \frac{T_{outav}^w - T_{out}^{air}}{T_{outref}^w - T_{out}^{air}}, \quad (2)$$

де Q_{cur_ref} – це наявне значення щільності теплового потоку у вибраній еталонній точці на внутрішній поверхні стіни; $T_{outref}^w - T_{out}^{air}$ – різниця температур зовнішньої поверхні стін у еталонній точці та зовнішнього повітря; T_{outav}^w – середня температура зовнішньої стіни, розрахована за допомогою усереднення результатів тепловізійної зйомки. Приймається, що за рахунок лінійного характеру теплопередачі щільність потужності теплового потоку у різних точках пропорційна різниці температур зовнішньої стіни та зовнішнього повітря. При цих розрахунках ми не розглядаємо тепловтрати за рахунок вентиляції.

Рівняння (2) дозволяє перетворити звичайну термограму зовнішньої стіни у зображення з калібруванням потужності теплового потоку. Тоді загальні тепловтрати можливо оцінити за формулою:

$$W = Q_{cur_ref} \mathcal{W} \frac{T_{outav}^w - T_{out}^{air}}{T_{outref}^w - T_{out}^{air}} \frac{T_{air}^{in} - T_{air}^{out}}{T_{airnorm}^{in} - T_{airnorm}^{out}}, \quad (3)$$

де S – область, в якій здійснено усереднення результатів тепловізійних замірів. Величина Q_{cur_ref} залежить від опору теплопередачі стіни, а інші параметри коректують тепловтрати по всій поверхні огорожувальної конструкції згідно з нормативами [11].

Так, проведена експериментальна тепловізійна зйомка деяких бюджетних будівель м. Чернігова (рис. 5, 6) доказує не найкращий стан енергоефективності таких будівель при одночасному зменшенні споживання будівлями тепла за статистичними даними (рис. 2), що потребує більшого моніторингу, аналізу, а також енергоощадних заходів для економії коштів під час ініціювання проектів.

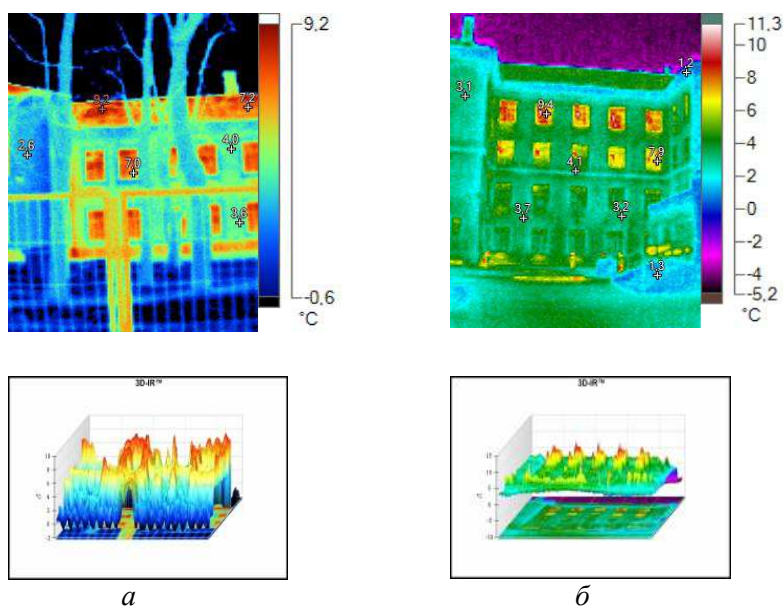


Рис. 5. Термографічна зйомка та 3D частотно-температурна гістограма: а – дитсадок № 7 і б – школа № 3 з боку двору

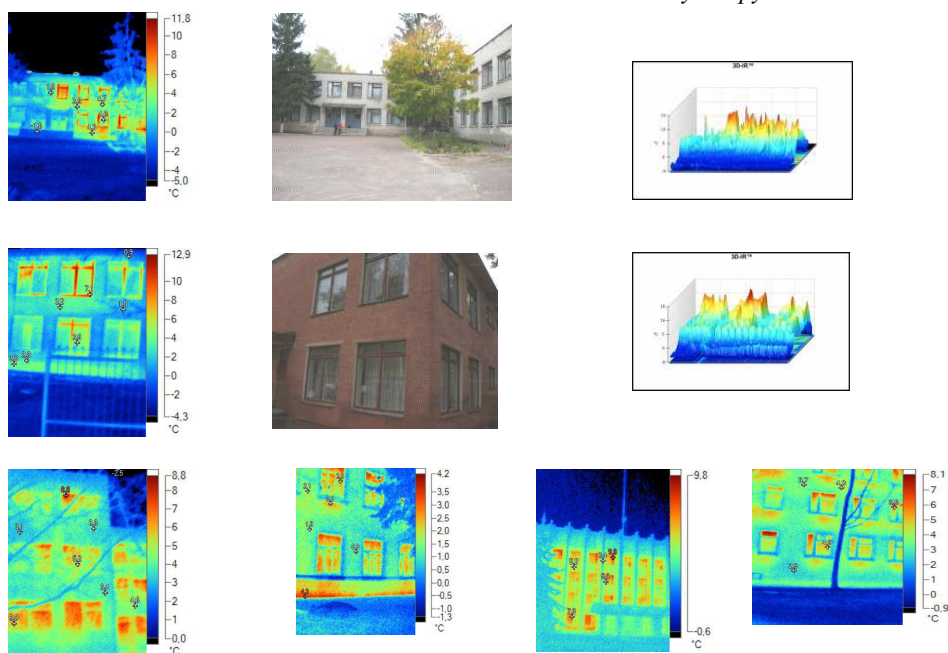


Рис. 6. Інфрачервоні термограми поверхні фасадів бюджетних будівель м. Чернігова

Висновки. Використовуючи ціннісний підхід у плануванні проектів, створено опис інформаційних технологій та технічних засобів у моніторингу енергоощадності бюджетних будівель м. Чернігова. Запропоновано у подальшому створити загальну он-лайн

інформаційну систему моніторингу енергоощадності муніципальних бюджетних будівель у мережі Інтернет. Недостатньо вивчено час реагування на ухвалення рішень та ініціювання проектів згідно з он-лайн моніторингом.

Список використаних джерел

1. *Програма енергозбереження в закладах охорони здоров'я м.Чернігова на 2013–2017 роки*. Рішення міської ради 27 квітня 2012 року (20 сесія 6 скликання).
2. *Енергетичний менеджмент* / А. В. Праховник, О. І. Соловей, В. В. Прокопенко та ін. ; К. : ІЕЕ НТУУ «КПІ», 2001. – 472 с.
3. *Ратушняк Г. С. Управління проектами енергозбереження шляхом термореновації будівель : навчальний посібник* / Г. С. Ратушняк, О. Г. Ратушняк. – Вінниця : ВНТУ, 2006. – 106 с.
4. *Сергієнко І. В. Наукові ідеї В. М. Глушкова та розвиток актуальних напрямів інформатики* / І. В. Сергієнко. – К. : Наукова думка, 2013. – 288 с.
5. *Казимир В. В. Модельно-орієнтоване управління інтелектуальними виробничими системами : дис. ... д-ра техн. наук : спец. 05.13.06* / В. В. Казимир ; НАН України, Інститут проблем математичних машин і систем. – К., 2006.
6. *Вавилов В. П. Инфракрасная термография и тепловой контроль* / В. П. Вавилов. – М. : Спектр, 2009. – 544 с.
7. *Табунщиков Ю. А. Энергоэффективные здания* / Ю. А. Табунщиков, М. М. Бродач, Н. В. Шилкин. – М. : АВОК-ПРЕСС, 2003. – 200 с.
8. *Бушуев С. Д. Ценностный подход в управлении развитием сложных систем* / С. Д. Бушуев, Д. А. Харитонов // *Управління розвитком складних систем*. – К. : КНУАіБ. – 2010. – № 1. – С. 10–15.
9. *Бушуева Н. С. Модели и методы проактивного управления программами организационного развития* / Н. С. Бушуева. – К. : Наук. світ, 2007. – 270 с.
10. *Нестерук Д. А. Тепловой контроль и диагностика : учебное пособие* / Д. А. Нестерук, В. П. Вавилов. – Томск, 2007. – 104 с.
11. *Вавилов В. П. Пессимистический аспект тепловизионного энергоаудита строительных сооружений* / В. П. Вавилов // *Дефектоскопия*. – 2010. – № 12. – С. 49–54.