

Котовський В.Й., к.т.н., Микитенко В.І., к.т.н.

Багатоканальні системи технічного зору для дистанційного енергоаудиту складних об'єктів

Анотація

В роботі показані можливості й методика проведення теплового моніторингу будинків з використанням багатоканальних оптико-електронних систем. Порушені деякі проблеми і запропоновані шляхи їх вирішення.

Аннотация

В работе показаны возможности и методика проведения теплового мониторинга зданий с использованием многоканальных оптико-электронных систем. Затронуты некоторые проблемы и предложены пути их решения.

Summary

The paper addresses resources and methods of thermal monitoring of buildings by means of multichannel optoelectronic systems. Some problems are affected and methods for their solution are proposed.

Вступ

Одним з основних параметрів будь-якої системи для перетворення зображення є її інформаційна ємність, що характеризує можливості передачі цією системою максимальної кількості інформації, що втримується в сприйманому потоці випромінювання.

Практично для будь-якого конкретного випадку можна створити систему технічного зору (ТЗ), яка набагато перевищує можливості людського ока як датчика зображень [1]. При цьому використання спеціальних алгоритмів обробки одержуваного зображення надає можливість отримати ефективні рішення.

Поряд зі стрімким розвитком систем ТЗ, створюється математичне забезпечення обробки зображень, що дозволяє говорити про систему ТЗ, кінцевим "продуктом" якої є не саме зображення, а параметри контрольованого процесу.

Особливе місце в області отримання інформації займають багатоканальні системи (БКС), що включають, як правило, кілька каналів видимого діапазону (ВД) – $\Delta\lambda = 0,4...0,8$ мкм і інфрачервоного (ІЧ) діапазону – $\Delta\lambda = 0,9...1,1$ мкм, $3...5$ мкм, $8...14$ мкм [2].

Теплобачення давно сформувалося як самостійна галузь дистанційного моніторингу. Тепловізійні камери (ТК) використовуються не тільки для виявлення військових цілей або комплектації систем наведення високоточної зброї, але й у медичній діагностиці, екології, системах охорони, попередження про пожежі, а також для теплового моніторингу будинків і споруд.

Постановка задачі

Для енергоаудиту будинків досить одного каналу ВД і одного каналу ІЧ діапазону, причому канал ВД використовується як додатковий для координатної прив'язки.

Зоровий апарат людини, оптимізований у процесі мільйонів років на отримання максимального обсягу інформації з обмеженої кількості світлового потоку, являє собою найвищу стадію еволюції [3]. Проведені ж оцінки показують, що по інформаційному потенціалу тепловачення принаймні не поступається денному зору. Перевагами спостереження в ІЧ діапазоні є незалежність отриманої інформації від часу доби, а також менше розсіювання випромінювання в димках, тумані.

Значний прогрес у створенні фокальних матриць дав можливість створення ТК, що мають високу чутливість [4]. Підвищення чутливості й інформаційної ємності ТК у результаті використання повноформатних матриць і міжкадрової обробки сигналу зображення, а також введення псевдокольору, надає можливість в усереднених умовах теплового балансу здійснювати якісний перехід від контролю джерел тепла до спостереження в ІЧ діапазоні з максимальною інформативністю.

Процес енергоаудиту будинків і споруд, і вирішення таких проблем, як збереження тепла, проникнення вологи, ушкодження покрівлі й конструкцій, погана якість системи кондиціонування й вентиляції - не зовсім просте завдання [5]. У цих ситуаціях БКС ТЗ є виключно необхідним інструментом, що надає можливість власникові будинку або інспекторові виявити проблему й далі за допомогою фахівців знайти ефективне її вирішення.

Пакет прикладних програм, дозволяє робити запис термограм у реальному масштабі часу в пам'ять ТК, проводити усереднення термозображення у часі й просторі, створювати термопрофілі зображень і робити інші операції, що розширює діагностичні можливості методу й підвищує його інформативність. Термограми є наочним інструментом для завдань енергоаудиту (рис. 1).

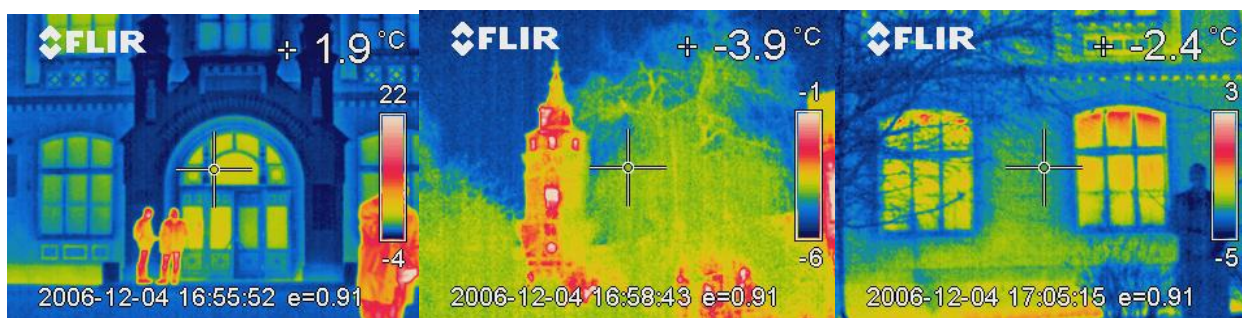


Рисунок 1 - Фрагменти будинку корпусу №1 НТУУ "КПІ" виконані тепловізійною камерою в діапазоні 8...14 мкм.

Для розробки й оцінки ефективності такого роду проектів необхідна об'єктивна інформація про реальний стан будинків, у тому числі по їх теплозахисту й тепловтратах. Кожний об'єкт індивідуальний - його характеристики залежать не тільки від будівельної серії, але й пов'язані з дотриманням технології виробництва, кліматичних і геологічних умов експлуатації, проведених раніше ремонтних робіт.

Методика проведення досліджень

Для отримання об'єктивної інформації про тепловий стан будинку була розроблена методика обстеження з використанням БКС ТЗ, до складу якої входить камера ВД й ТК яка працює в спектральному діапазоні 8...14 мкм. На рис. 2а показана фотографія будинку гуртожитку виконана у ВД, а на рис. 2б – тій же будинок, але в ІЧ діапазоні.

Виділена область (рис. 2а) відповідає фрагменту на рис. 2б, де стрілками зазначені проблемні місця. Стрілки 1 і 2 указують на витік тепла викликаний порушеннями внутрішньої й зовнішньої гідроізоляції стіни, а стрілка 3 - на витік тепла викликаний відсутністю тепловідбиваючого екрану між батареєю опалення й стіною. Дану інформацію неможливо побачити у ВД (рис. 2а).

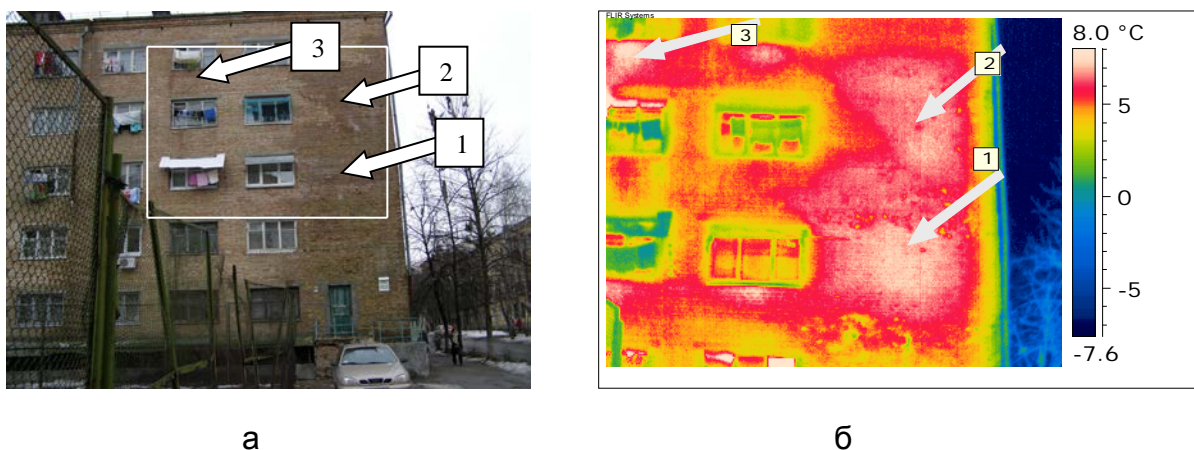


Рисунок 2 - Зйомка будинку гуртожитку, виконана за допомогою БКС ТЗ:
а - у видимому й б - в ІЧ діапазонах.

Виявлення подібних (не видимих людським оком) дефектів будинків комунальної власності допоможе в складанні планів профілактичних робіт (ремонтів) по поліпшенню теплоізоляції цих будинків.

Контрольна зйомка проводилася в той же самий час, в однакових умовах. При обробці термограм використана єдина температурна шкала, що встановлює зв'язок між кольорами й температурою.

Враховуючі те, що камера ВД використовувалась не для вимірів, а для візуального оперативного контролю й наступної паспортизації будинку, то не було

необхідності в точному сполученні її оптичної осі з віссю ТК і обидва пристрої просто кріпилися поруч на одному штативі. Відеокамера ВД має більше просторове розділення, ніж ТК, тому для зручності наведення системи, її поле зору встановлювалося трохи більше поля зору ТК.

Аналіз результатів досліджень

На рис. 3 показана оглядова термограма будинку лікарні. Підвищена температура на поверхні свідчить про збільшені тепловтрати. Тобто, величина й характер розподілу температури по поверхнях конструкції будинку несуть інформацію про рівень теплозахисту, тепловтрати і наявність прихованих дефектів.

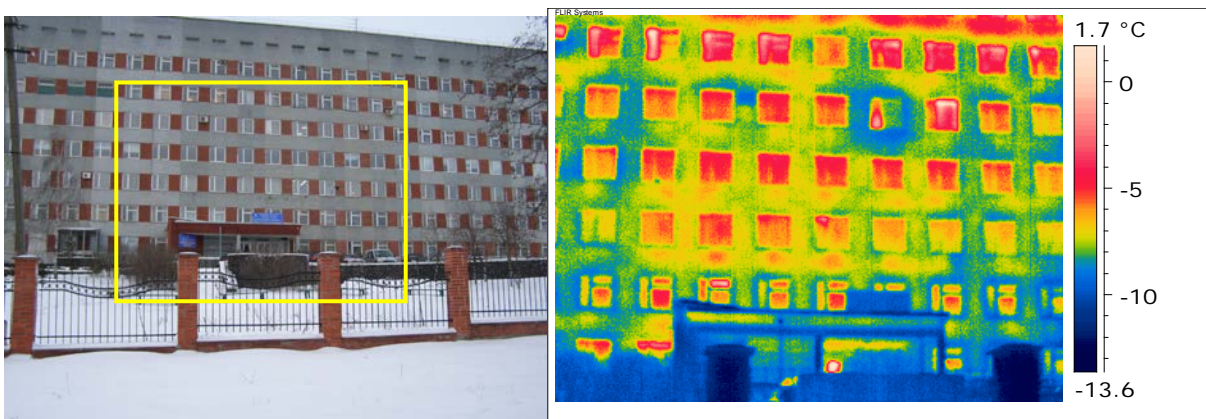


Рисунок 3 - Зйомка хірургічного корпусу лікарні виконана за допомогою БКС ТЗ

На термограмі (рис. 3 правий знімок) світлі відтінки відповідають місцям найбільш інтенсивного відтоку теплової енергії. Нерівномірність теплового зображення свідчить про недостатнє утеплення й не герметичність віконних пакетів. Світлі плями під вікнами свідчать про теплові втрати у виді відсутності теплових екранів усередині приміщення за батареями опалення. Добре видні локальні дефекти – міжпанельні стики.

Згідно проведених вимірів і аналітичних розрахунків за стандартом ISO-6781-83, з кожного квадратного метра поверхні будинку втрачається близько 20 Вт енергії.

Складними питаннями є виміри температур закслених вікон і абсолютизація шкали температурних вимірів. Перше обумовлено тим, що в ІЧ діапазоні скло є практично дзеркалом і його зображення (відповідно - і термопрофілі при вимірах) транслює відбите випромінювання від зовнішніх об'єктів. Друге є причиною того, що окремі ділянки будинків не є ламбертовськими випромінювачами (як це закладено в програмах обробки сигналу ТК) і мають різні коефіцієнти випромінювання (у той час, як у програму обробки вноситься єдиний коефіцієнт для всього поля зору). У

розробленої авторами методики температура віконного скла вимірялася побічно за значенням температури ділянок конструкцій, що перебувають безпосередньо над стеклами й стикаються з ними. Була розроблена спрощена модель теплопереносу, що дозволяє розраховувати конвекційне нагрівання сусідніх зі стеклами ділянок конструкцій. За базовий рівень власної температури прилягаючої конструкції бралось значення температури знизу або збоку від застакнення. Слід зазначити, що така методика дає адекватні результати тільки в безвітряну погоду.

У вирішенні другої проблеми допомагав видимий канал БКС ТЗ: на етапі остаточного аналізу зображення оператором, кольорове зображення давало змогу в ручному режимі корегувати обмірювані значення температур окремих ділянок по таблицях типових значень коефіцієнтів випромінювання поверхонь і покриттів. Однак, у цьому випадку процес паспортизації будинку зі складними архітектурними й конструкторськими рішеннями істотно ускладнюється.

Рішення першої проблеми в деяких випадках можливо при візуванні відбитого склом випромінювання каліброваного джерела. Однак практична реалізація і вартість такого рішення, мабуть, неадекватні розв'язуваному завданню.

Можливим шляхом рішення другої проблеми є використання для вимірів багатоканальних оптико-електронних систем (БК ОЭС): знаючи спектральні коефіцієнти випромінювання поверхонь спостережуваних об'єктів і скориставшись диференціальними методами вимірів можна точніше розрахувати температуру об'єктів спостереження. У той же час використовується БКС ТЗ у сутності є БК ОЭС. Якщо за допомогою відеокамери автоматично розділити зображення на однорідні по оптичним характеристикам ділянки й задати для кожної такої ділянки ваговий коефіцієнт, що враховує реальний коефіцієнт випромінювання, а потім перемножити матрицю ІЧ зображення з матрицею вагових коефіцієнтів, то на виході одержимо матрицю реальних абсолютних значень температур об'єкта. Цей алгоритм обробки припускає послідовне рішення завдання сегментування зображення й реалізації одного з найпростіших методів поелементного комплексування [6]. Рішення першого і другого завдань добре відомі й не вимагають значних обчислювальних витрат. Варто врахувати, однак, що в цьому випадку значно підвищуються вимоги по суміщенню полів зору каналів, що спричинить необхідність переробки вхідного блоку БКС ТЗ.

Таким чином слід зазначити, що численні й різноманітні застосування БКС ТЗ по інформативності не поступаються людському зору. Розробка й промислове освоєння необхідних оптичних і фотоелектронних компонентів, а також придатність відомих методів і апаратури для перетворення й подання інформації, дозволяє

стверджувати, що в найближчі роки темпи розвитку БКС ТЗ, як однієї з сучасних перспективних інформаційних технологій, прискоряться.

Висновки

1. Інфрачервоні прилади на відміну від звичайних термометрів дають можливість не тільки швидко вимірювати температуру, але й аналізувати її розподіл по поверхні об'єкта.
2. За допомогою БКС ТЗ можна вимірювати температуру об'єктів, доступ до яких неможливий або ускладнений.
3. БКС ТЗ надають можливість безпечно проводити температурну діагностику небезпечних об'єктів.
4. При використанні БКС ТЗ можна отримати такий обсяг інформації, збір якої за допомогою звичайних засобів зайняв би величезну кількість часу й засобів.
5. Для подальшого підвищення точності й ефективності вимірів необхідно розробити програму постобробки зображень для врахування нерівномірності коефіцієнтів випромінювання в полі зору, а також дослідити схемотехнічні рішення вхідного блоку БКС ТЗ.

Література

1. *Колобродов В.Г., Лихоліт М.І.* Проектування тепловізійних і телевізійних систем спостереження (Підручник грифом Міністерства освіти і науки України). – К.: „Політехніка” – 2007 – 344 с.
2. *Микитенко В.І., Котовський В.Й.* Моделювання зображень у задачах комплексування каналів оптико-електронних систем /Вісник НТУУ“КПІ”. Серія приладобудування – 2007 – Вип. 33 – С. 24-29.
3. *А.Роуз,* Зрение человека и электронное зрение. – 1977. – М.: «Мир». – С. 290.
4. *Котовський В.Й.* Твердотільні аналоги піровідикону /Електроника и связь – №3 – 2006 – С. 5-12.
5. *Средства и методы теплового контроля.* Круглый стол. – В мире НК № 1(27) – 2005 – С. 61-63.
6. *Микитенко В.І.* Комплексування інформації в оглядово-візирних системах керованих рухомих об'єктів /Вісник НТУУ “КПІ”. Серія приладобудування. – 2005 – Вип. 30. – С. 36-41.