

А. С. ВАСИЛЬЕВ, В. В. КОРОТАЕВ, А. В. КРАСНЯЩИХ,
О. Ю. ЛАЩМАНОВ, О. Н. НЕНАРОКОМОВ

СОВМЕЩЕНИЕ ТЕПЛОВИЗИОННОГО И ТЕЛЕВИЗИОННОГО ИЗОБРАЖЕНИЙ ПРИ ОБСЛЕДОВАНИИ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

Рассматривается возможность совмещения полученных в разных спектральных диапазонах изображений для повышения достоверности результатов обследования ограждающих конструкций зданий и сооружений на предмет температурных дефектов и аномалий. Описан порядок расчета температурного режима ограждающих конструкций, необходимый для качественного и количественного анализа полученных результатов измерения — распределения температуры на поверхности ограждающей конструкции.

Ключевые слова: температура внутренней поверхности ограждения, тепловизионное обследование, совмещение тепловизионного и телевизионного изображения.

Введение. Тепловизионное обследование ограждающих конструкций зданий проводится с целью оценки качества их теплозащитных свойств. При приемке здания в эксплуатацию одним из основных показателей качества теплоизоляции элементов ограждающих конструкций является отсутствие скрытых дефектов. В статье рассматривается порядок расчета температуры внутренней поверхности ограждения на основе анализа тепловых изображений, который использовался при написании программного приложения для определения температурного режима ограждающих конструкций здания, также представлены способы совмещения тепловизионного и телевизионного изображений и рассматриваются трудности, связанные с этим процессом.

При тепловизионном обследовании строительных конструкций нередко возникают сложности в восприятии оператором полученной картины и соотнесении ее с реальным объектом. Совмещение телевизионных и тепловизионных изображений заключают в себе как наглядность, присущую первому, так и информацию о тепловом поле исследуемого объекта, содержащуюся во втором типе изображений.

Основные проблемы совмещения тепловизионного и телевизионного изображений. При совмещении тепловизионного и телевизионного изображений сцены необходимо минимизировать временной интервал между кадрами соответствующих источников сигнала. Изображения, сделанные в разных спектральных диапазонах, имеют существенные различия. В таком случае удобно одно из изображений (чаще всего телевизионное) считать опорным.

На данном этапе разрешение фотоприемных матриц тепловизоров заметно уступает матрицам телевизионных систем, поэтому при смещении тепловизионного и телевизионного изображений необходимо учитывать несовпадение их масштабов. Вследствие несовпадения оптических осей информационных каналов на изображениях всегда присутствует пространственный сдвиг, который следует учитывать при обработке. По причине непараллельности оптических осей возникают геометрические искажения. В большинстве случаев эти искажения присутствуют на изображении одновременно [1].

Рассмотрим основные способы совмещения изображений: усреднение; метод маски; метод фурье-спектров; вейвлет-анализа.

Наиболее прост метод усреднения, в этом случае итоговое изображение представляет собой суперпозицию исходных изображений E и M :

$$I(x, y) = \frac{E(x, y) + M(x + dx, y + dy)}{2},$$

где dx — смещение по оси x , dy — смещение по оси y , причем $|dx > 0|, |dy > 0|$.

Следует учитывать, что при таком совмещении в итоговом изображении существенно уменьшается число мелких деталей.

Алгоритм совмещения изображений по методу маски предполагает, что одно изображение является маской для другого, будем считать, что в процессе совмещения тепловизионное изображение M будет наложено на телевизионное E . Для простоты будем считать, что оба изображения приведены к одному масштабу, в них устранены сдвиги и геометрические искажения. Тогда при рассмотрении изображений как наборов уровней яркости M проведем операцию пороговой фильтрации и получим маску для наложения на изображение E . В таком случае после наложения результирующее изображение будет представлять собой суперпозицию M и E . Причем значение каждого пиксела будет определяться соответствующим значением из изображения M , если значение соответствующего пиксела в изображении M равно нулю, то результирующим принимается значение пиксела из изображения E . Математически это можно записать так [1]:

$$I_i(x, y) = \begin{cases} M_i(x, y), & M_i(x, y) > 0, \\ E_i(x, y), & M_i(x, y) = 0. \end{cases}$$

При использовании этого метода основную сложность представляет выбор уровня для порогового фильтра. Неправильный выбор может привести к потере в конечном изображении информативных элементов или, наоборот, к их избытку.

Использование алгоритма совмещения методом Фурье-спектров предполагает рассмотрение обоих изображений в спектральном диапазоне. Такой алгоритм реализует прямое быстрое преобразование Фурье, сложение спектров изображений, а затем — обратное преобразование Фурье, для получения суммарного изображения. Такой алгоритм хорош только для затемненных изображений, суммарная амплитуда сигналов в одной точке которых не превышает 255 (иначе происходит полное или частичное заливание изображения белым цветом). Таким образом, с целью нормировки значений требуется дополнительная обработка итогового массива изображения, в результате которой теряется большая часть мелких деталей, снижается контрастность изображения. Кроме того, преобразование Фурье является достаточно ресурсоемкой операцией.

Алгоритм совмещения методом вейвлет-анализа подразумевает, что на вход подаются два изображения, которые после предварительной обработки (например, изменения масштаба, устранения сдвигов) разбиваются на разномасштабные составляющие, затем складываются соответствующие составляющие двух изображений и применяется обратное вейвлет-преобразование [2]. Стоит отметить вейвлет-преобразование Хаара, такой алгоритм требует гораздо меньших вычислительных ресурсов по сравнению с алгоритмом, основанным на преобразовании Фурье, но так же, как и предыдущий алгоритм, приводит к потере мелких деталей. Однако вследствие многомасштабности преобразования детали легко восстановить повторным сложением составляющих малого масштаба.

На данном этапе работы наиболее удобным представляется алгоритм смещения с помощью маски, однако два других алгоритма требуют дополнительных исследований, так как весьма перспективны благодаря универсальности. В настоящей работе рассматривается применение метода маски для тепловизионного обследования ограждающих конструкций зданий.

Порядок расчета температурного режима ограждающих конструкций здания. Тепловизионное обследование, в ходе которого регистрируются температурные поля на обследуемых поверхностях ограждающих конструкций зданий, является эффективным средством контроля качества теплозащитных свойств наружных ограждений зданий.

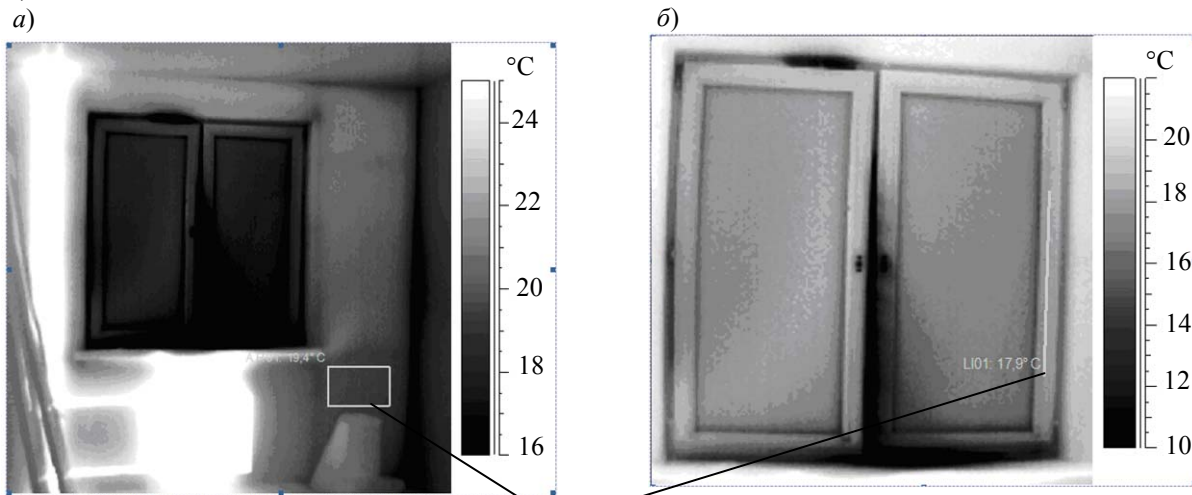
Допустимое значение температуры внутренней поверхности помещений рассчитывается [3] для условий, указанных в нормативных документах [3, 4]. Участки ограждающих конструкций, температура которых при расчетных условиях будет ниже требуемого значения, признаются дефектными.

Таким образом, температура внутренней поверхности ограждения при расчетных температурных условиях определяется по формуле [5]:

$$\tau_B^p = t_B^p - (t_B^p - \tau_B') \frac{\alpha_B}{\alpha_B'} \tag{1}$$

где t_B^p — расчетная температура внутреннего воздуха, °С; τ_B' — температура внутренней поверхности ограждения без учета коэффициента теплоотдачи, °С; $\alpha_B = \alpha_K + \alpha_L$ — коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждения в эксперименте при t_B^p , $t_B^э$ и $\tau_B^э$, Вт/(м²·°С); $\alpha_B' = \alpha_K' + \alpha_L'$ — то же, при t_B^p и τ_B' , Вт/(м²·°С); α_K , α_K' и α_L , α_L' — коэффициенты конвективного и лучистого теплообмена внутренней поверхности ограждения.

На рис. 1 приведен участок ограждающей конструкции здания (*a* — стена, *б* — оконный блок).



Базовые участки
Рис. 1

Температура внутренней поверхности ограждения τ_B' определяется по формуле:

$$\tau_B' = t_B - (t_B^э - \tau_B^э) \frac{t_B^p - t_H^p}{t_B^э - t_H^э}$$

где $\tau_B^э$ — температура внутренней поверхности базового участка ограждения [5], получаемая с термограммы, °С; t_H^p , $t_H^э$ — расчетная и экспериментально определенная температура атмосферного воздуха, °С.

Температуру внутреннего воздуха t_B^p можно рассчитать по формуле:

$$t_B^p = \frac{t_H^p - \tau_B^э R_0 \alpha_B}{1 - R_0 \alpha_B}$$

где R_0 — номинальное сопротивление теплопередаче базового участка, (м²·°С)/Вт.

Согласно статье [6], можно рассчитать действительное сопротивление теплопередаче по формуле:

$$R_d = R_0 - R_0 \frac{\tau'_B - t_H^P}{t_B^P - t_H^P}$$

При расчете температуры внутренней поверхности ограждения только одной ограждающей конструкции одного типа одного помещения требуется учитывать несколько параметров. Удобнее всего определять необходимое значение температуры в отдельном программном приложении, написанном авторами специально для этих целей. Приложение разработано в интегрированной среде разработки программного обеспечения Delphi 7 и представляет собой стандартное окно Windows с таблицей (рис. 2), введя в которую известные параметры, можно получить искомую температуру внутренней поверхности ограждения.

п/п	Помещение	Тип ограждающей конструкции	Температура внутреннего воздуха	Температура базового участка	Минимальное допустимое значение температуры	Температура атмосферного воздуха	Сопротивление базового участка	Температура дефекта	Описание дефекта
1	квартира №1	Стена	20,19	19,4	15,70	-1	3,1	10,7	примыкание стены к перегородке
2	квартира №1	светопрозрачные ОК (раны)	21,61	17,9	13,26	-1	0,7	3	примыкание оконного блока к откосам, притворы

Рис. 2

Полученные результаты. После совмещения тепловизионного (см. рис. 2) и телевизионного изображений по методу маски (учтен рассчитанный критерий минимально допустимой температуры) на полученных кадрах видны дефекты (темноокрашенные участки) на внутренней поверхности ограждающей конструкции (рис. 3, а). Отдельно анализируются тепловизионные изображения светопрозрачных конструкций (рис. 3, б), и на этих термограммах обозначаются участки, температура внутренней поверхности которых при расчетных условиях будет ниже +3 °С.

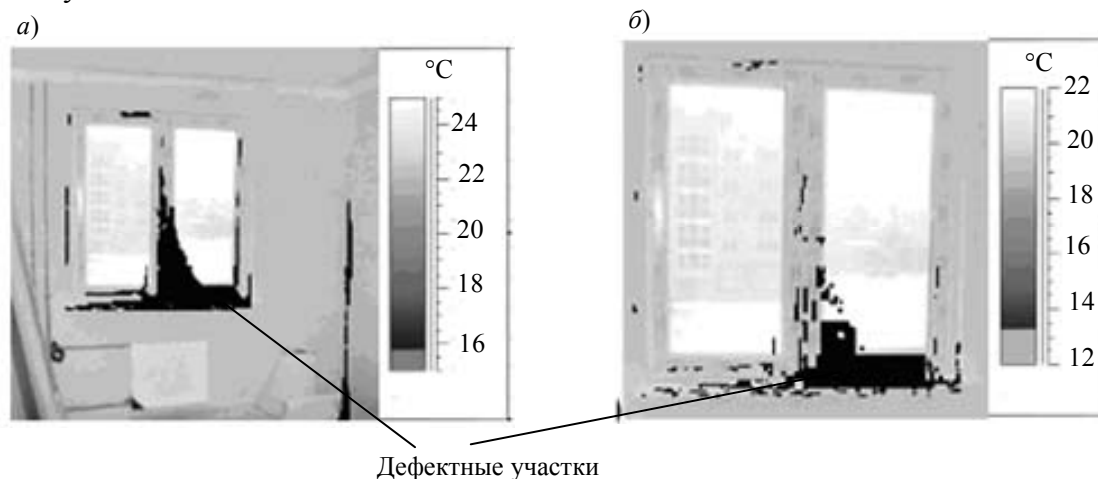


Рис. 3

Заключение. Представленный подход к тепловизионному обследованию строительных конструкций, с одной стороны, позволяет воспользоваться всеми преимуществами тепловизионного метода (нахождение участков с температурными аномалиями, поиск температурных градиентов), а с другой — сохраняет наглядность и восприятие результатов. Несомненным преимуществом совмещения изображений является объективность результатов расчета минимально допустимой температуры на поверхности ограждающей конструкции здания, что позволяет выявлять дефектные участки. Совмещение изображений, полученных в различных спектральных диапазонах, позволяет проводить анализ ограждающих конструкций зданий в полевых условиях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аксенов О. Ю. Совмещение изображений // Цифровая обработка сигналов. 2005. № 3. С. 51—55.
2. Астафьева Н. М. Вейвлет-анализ: Основы теории и примеры применения // УФН. 1996. Т. 166, № 11. С. 1145—1170.
3. ГОСТ 26629-85. Здания и сооружения. Метод тепловизионного контроля качества теплоизоляции ограждающих конструкций. М.: Изд-во стандартов, 1986. 10 с.
4. СНиП 23-02-2003. Тепловая защита зданий. М.: Госстрой России, ФГУП ЦПП, 2004. 47 с.
5. ГОСТ 26254-84. Здания и сооружения. Методы определения сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций. М.: Изд-во стандартов, 1994. 19 с.
6. Kalamees T. Critical values for the temperature factor to assess thermal bridges // Proc. of the Estonian Academy of Sci. Engineering. 2006. Vol. 12, N 3. P. 218—229.

Сведения об авторах

- Александр Сергеевич Васильев** — студент; Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, кафедра оптико-электронных приборов и систем;
E-mail: yoshikawa06@gmail.com
- Валерий Викторович Коротаев** — д-р техн. наук, профессор; Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, кафедра оптико-электронных приборов и систем;
E-mail: korotaev@grv.ifmo.ru
- Андрей Владимирович Краснящих** — канд. техн. наук, доцент; Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, кафедра оптико-электронных приборов и систем;
E-mail: crus@mail.ru
- Олег Юрьевич Лашманов** — студент; Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, кафедра оптико-электронных приборов и систем;
E-mail: o.lashmanov@gmail.com
- Олег Николаевич Ненарокомов** — Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, кафедра оптико-электронных приборов и систем; ассистент;
E-mail: 4307_globl@mail.ru

Рекомендована факультетом ОИСТ

Поступила в редакцию
25.11.11 г.