

УДК 691-4:692.2

**РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ
ЭНЕРГОАКТИВНОГО ОГРАЖДЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ
ТЕКСТИЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

**DEVELOPMENT OF A METHODOLOGY FOR ASSESSING THE EFFICIENCY
OF ENERGY ACTIVE FENCING OF PRODUCTION BUILDINGS
IN THE TEXTILE INDUSTRY**

*К.Е. ИМАНАЛИЕВ, У.С. СУЛЕЙМЕНОВ, М.А. КАМБАРОВ, Р.А. РИСТАВЛЕТОВ,
Х.А. АБШЕНОВ, Р.Б. КУДАБАЕВ*

*K.E. IMANALIEV, U.S. SULEIMENOV, M.A. KAMBAROV, R.A. RISTAVLETOV,
H.A. ABSHENOV, R.B. KUDABAEV*

(Южно-Казахстанский государственный университет им. М. Ауэзова, Республика Казахстан)

(M.Auezov South-Kazakhstan State University, Republic of Kazakhstan)

Email: medet_2030@mail.ru

Работа посвящена разработке метода, который бы позволил на основе бесконтактного тепловизионного способа контроля состояния конструкции получить числовые фактические характеристики теплотехнического состояния ограждения промышленных зданий. Для определения тепловой защиты энергоэффективных конструкций наружных ограждений производственных зданий проведены экспериментальные исследования. Для проведения был изготовлен фрагмент стенового ограждения, представляющий собой многослойное стеновое ограждение с энергоактивной панелью. Определено, что тепловизионная диагностика наружных ограждений по данной методике позволяет не только устанавливать фактический уровень теплозащиты здания, но и дает возможность выявлять неоднородность в теле ограждающей конструкции. Установлено, что данный метод позволяет избежать контактных методов определения теплотехнических характеристик ограждения.

The work is devoted to the development of a method that would allow, on the basis of a non-contact thermal imaging method of monitoring the state of a structure, to obtain the numerical actual characteristics of the thermal technical state of the enclosure of industrial buildings. To determine the thermal protection of energy-efficient structures of external fences of industrial buildings, experimental studies were carried out; for this, a fragment of a wall fence was made, which is a multilayer wall fence with an energy-active panel. It was determined that thermal imaging di-

agnostics of external fences using this technique allows not only to establish the actual level of thermal protection of a building, but also makes it possible to identify heterogeneity in the body of the enclosing structure. It has been established that this method avoids contact methods for determining the thermal characteristics of the fence.

Ключевые слова: наружные ограждающие конструкции, тепловая защита зданий, энергоэффективное строительство, теплоаккумулирующие материалы.

Keywords: external enclosing structures, thermal protection of buildings, energy-efficient construction, heat storage materials.

Одним из направлений достижения цели программы "Энергосбережение-2020" является энергоэффективное строительство, которое предполагает развитие производства энергосберегающих строительных конструкций и разработку решений, направленных на повышение энергоэффективности производственных зданий.

При этом создание требуемых температурно-влажностных режимов в помещениях, снижение тепловых потерь при отоплении зданий в настоящее время являются важнейшими государственными задачами. При таком подходе первостепенную роль приобретает грамотное проектирование наружных ограждений и степень их соответствия современным требованиям тепловой защиты зданий. Столь пристальное внимание к проектированию эффективных ограждающих конструкций объясняется, с одной стороны, тем важным местом, которое они занимают в структуре здания, а с другой стороны – той ролью, которую они играют в решении проблемы экономии энергоресурсов и повышения уровня тепловой защиты здания.

Одним из перспективных направлений создания энергоэффективных зданий и их конструкций является разработка наружных ограждающих конструкций повышенной тепловой эффективности. Необходимый уровень тепловой защиты таких наружных ограждений устанавливается посредством увеличения термической однородности конструкций, высокоэффективных утеплителей, рационального размещения в массиве ограждения теплоаккумулирующих и теплоизоляционных слоев и оп-

тимизация их слоев. Однако комплексная оценка тепловой эффективности одно- и многослойных наружных стен показала целесообразность дальнейшего увеличения толщины ограждения, поскольку при этом возрастает расход тепла на изготовление материалов и изготовление конструкций.

Вместе с тем в практике проектирования энергоэффективных зданий начали широко использовать системы аккумулирования солнечной энергии. Анализ возможности аккумулирования тепловой энергии с помощью различных технических систем указывает на достаточную эффективность регулирования потребления тепловой энергии посредством самих конструкций зданий. В подобной системе утилизируется как прямая, так и рассеянная солнечная радиация, которая для многих районов республики может составлять до 50% суммарного прихода солнечной энергии за время отопительного периода.

Введение новой редакции нормативных документов и переход от санитарно-гигиенических критериев тепловой защиты ограждающих конструкций к экономическим требованиям к тепловой защите зданий значительно возросли. Это потребовало радикальной переоценки материалов, применяемых в наружных ограждениях, и существенного изменения конструктивных решений наружных стен [1...3].

В связи с этим рассмотрим конструктивные варианты обеспечения тепловой защиты и современные энергоэффективные конструкции наружных ограждений производственных зданий.

Цель и задачи. Целью данной работы является разработка методики теплотехнического расчета энергоактивной конструкции с теплоаккумулирующим материалом и получение числовых фактических характеристик наружных ограждающих конструкций с применением тепловизионного метода контроля.

Для определения тепловой защиты энергоэффективных конструкций наружных ограждений проведены экспериментальные исследования. Для проведения был изготовлен фрагмент стенового ограждения, представляющий собой многослойное стеновое ограждение с энергоактивной панелью.

В результате анализа выбранных вариантов, разработки конструктивного решения и методики проведения экспериментов было выбрано конструктивное решение стенового ограждения с энергоактивной панелью, удовлетворяющее задачам совместности его с наружными ограждающими конструкциями.

Методика проведения экспериментов разработана на основе необходимости экспериментального обоснования эффективности применения разработанной энергоактивной конструкции в наружном ограждении зданий и сравнения результатов испытаний по трем конструктивным схемам.

Согласно методике проведения экспериментов на фрагменте стенового ограждения моделировались три варианта энергоактивной панели:

- без теплоотражающего экрана и теплоаккумулирующего материала;
- с теплоотражающим экраном и без теплоаккумулирующего материала;
- с теплоотражающим экраном и теплоаккумулирующей панелью.

Проведение экспериментов основано на тепловизионном контроле поверхности энергоактивной конструкции ограждения согласно ГОСТ 26629–85 [4] и измерений температуры воздуха на входе и выходе из энергоактивной панели.

Метод основан на дистанционном измерении тепловизором полей температур поверхностей фрагмента ограждения со сто-

роны светопрозрачного ограждения и измерений температуры воздушного теплоносителя на входе и выходе из энергоактивной панели, значения которых принимаются за показатели эффективности энергоактивной панели.

При проведении энергетического обследования использован ручной тепловизор FLIR i3, который позволяет определять температуру поверхности бесконтактным методом и визуализировать распределение температур на поверхностях.

Температурные поля поверхностей ограждающих конструкций получены и изучены с дисплея тепловизора в виде цветного изображения, а после корректировки снимка переписаны в память прибора.

Тепловизионному контролю были подвержены наружные и внутренние поверхности ограждающих конструкций. По обзорной термограмме с дисплея тепловизора выявлялись участки с дефектами теплозащитных свойств, которые затем были подвержены детальному теплографированию с внутренней стороны ограждения. Но следует отметить, что целью тепловизионного контроля действительно является обнаружение скрытых дефектов в конструкциях, однако эти дефекты не являются показателями тепловой защиты, нормируемыми СНиП РК 2.04-03–2002 [5].

Вместе с тем в ГОСТ 26629–85 отмечается, что результаты тепловизионного метода контроля ограждающих конструкций не могут являться показателями тепловой защиты, или, вернее, сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции. При этом тепловизор используется как средство оперативного бесконтактного измерения температур, а определение сопротивления теплопередаче осуществляется расчетным путем по данным контактного измерения тепловых потоков в конструкции применением специальных датчиков. Однако использование метода стационарного теплового потока для энергетического обследования ограждающих конструкций зданий в натуральных условиях сопряжено с ограничениями, связанными в основном с длительностью наблюдений и нестабильностью

тепловых потоков во времени, что существенно снижает точность и достоверность получаемых результатов измерений.

В связи с этим для оценки теплотехнического состояния наружных ограждающих конструкций использован метод, который описан выше и отличается некоторым нетрадиционным подходом к методам экспериментального (натурного) определения теплофизических характеристик ограждающих конструкций.

На начальном этапе просматривались тепловые изображения наружной поверхности ограждающей конструкции, сняты предварительные обзорные термограммы и выбраны базовые участки. За базовый участок принят участок ограждающей конструкции, имеющий линейные размеры свыше двух ее толщин и равномерное температурное поле.

Детальному термографированию были подвержены внутренние поверхности базовых участков и участки с нарушенными теплозащитными свойствами.

Обработку результатов термографирования производили с использованием программного комплекса IRSoft, предназначенного для анализа, обработки и архивирования изображений. Функции всестороннего анализа предназначены для профессиональной обработки термограмм.

Метод теплотехнического расчета
Как показывает опыт эксплуатации производственных зданий, оценивать теплотехническое состояние наружных ограждающих конструкций целесообразно на основе фактического контроля состояния конструкций тепловизионным методом.

Тепловизионный метод позволяет регистрировать теплотехническую неоднородность ограждающих конструкций, выявлять теплопроводные включения, участки ограждения, где возможна конденсация влаги, и места утечки тепла. Однако метод позволяет только в комплексе с дополнительными измерениями определять фактическое значение приведенного сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций здания.

Следует отметить, что существующие методы оценки фактических теплотехнических

характеристик наружных ограждений здания основаны на проведении контактных измерений на поверхностях ограждения в дополнение к тепловизионным методам контроля, что требует длительного времени и усложняет задачу.

В связи с этим возникает необходимость в разработке такого метода, который бы позволил на основе бесконтактного тепловизионного способа контроля состояния конструкции получить числовые фактические характеристики теплотехнического состояния ограждения на основе существующих ГОСТ.

При разработке данного метода за основу были взяты базовые положения ГОСТ 26254–84 [6].

В соответствии с [6] приведенное сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции R_0^r определяют по формуле:

$$R_0^r = F / \sum \frac{F_i}{R_{oi}}, \quad (1)$$

где F – общая площадь исследуемой ограждающей конструкции, m^2 ; F_i – площадь термически однородной зоны на исследуемой ограждающей конструкции, m^2 ; R_{oi} – сопротивление теплопередаче термически однородной зоны ограждения, $(m^2 \cdot ^\circ C) / Вт$.

Сопротивление теплопередаче R_{oi} термически однородных зон можно определить по формуле:

$$R_{oi} = t_{int} - t_{ext} / g_i, \quad (2)$$

где t_{int} и t_{ext} – значение температур соответственно внутреннего и наружного воздуха, $^\circ C$; g_i – плотность теплового потока, проходящего через термически однородную зону ограждения, $Вт / m^2$.

При невозможности или сложности установления величины плотности теплового потока g_i можно использовать формулу:

$$R_{oi} = t_{int} - t_{ext} / \alpha_{int} (t_{int} - \tau_{int}), \quad (3)$$

где α_{int} – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающей конструкции, $Вт / (m^2 \cdot ^\circ C)$; τ_{int} – температура

внутренней поверхности ограждающей конструкции, °С.

Анализируя уравнение (3), можно заключить, что исходя из зафиксированных температур наружного и внутреннего воздуха и установленного коэффициента теплоотдачи внутренней поверхности ограждения, используя тепловизионную съемку, можно определить сопротивление теплопередаче R_{0i} .

Принимая площадь термически однородной зоны ограждающей конструкции (одинаковый цвет на термограмме) за единицу, то есть $F_i = 1$, уравнение (1) запишем в следующем виде:

$$R_0^r = N / \sum_n^1 \cdot 1 / R_o, \quad (4)$$

$$R_0^r = N(t_{int} - t_{ext}) / \alpha_{int} \left[(t_{int} - \tau_{int(1)}) + (t_{int} + \tau_{int(2)}) + \dots + (t_{int} - \tau_{int(N)}) \right], \quad (6)$$

где $\tau_{int(1)}, \tau_{int(2)}, \dots, \tau_{int(N)}$ – температура внутренней поверхности наружного ограждения, определяемая термографом в каждой точке его термоизображения, °С.

Опишем методику определения приведенного сопротивления теплопередаче наружного ограждения R_0^r .

1. Обследуемая ограждающая конструкция разбивается на участки, удобные для термографирования.

2. Последовательно производится тепловизионная съемка каждого участка.

3. Определяются исходные температуры внутреннего t_{int} и наружного t_{ext} воздуха, коэффициента теплоотдачи внутренней поверхности ограждения α_{int} .

4. Выделив на термограмме исследуемый участок и учитывая разрешение кадра тепловизора, определяют N – количество точек на одном изображении.

5. По термограмме определяются температуры поверхностей ограждения t_{int} по участкам.

6. Для каждого участка по формуле (6) определяется приведенное сопротивление теплопередаче: $R_{0(1)}^r, R_{0(2)}^r, \dots, R_{0(N)}^r$.

где N – количество точек на одном термоизображении; R_o – сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции, вычисляемое по формуле (3) в каждой точке термоизображения, $(m^2 \cdot °C) / Вт$; 1 – размеры одной точки.

В одной характерной цветовой зоне сопротивление теплопередаче можно определить, выделяя в термоизображении одну точку. В этом случае уравнение (4) будет иметь вид:

$$R_0^r = N / \sum_n^1 \cdot 1 / R_o = R_o. \quad (5)$$

С учетом уравнения (3) выражение (5) можно записать в следующем виде:

7. Как среднее по участкам вычисляется приведенное сопротивление теплопередаче всего наружного ограждения R_0^r по формуле

$$R_0^r = R_{0(1)}^r, R_{0(2)}^r, \dots, R_{0(N)}^r / n, \quad (7)$$

где n – количество участков для термографирования.

ВЫВОДЫ

Предложенная методика может быть использована для решения задач теплотехнического анализа энергоактивной конструкции ограждения производственных зданий текстильной промышленности.

Методика проведения экспериментов разработана на основе необходимости экспериментального обоснования эффективности применения энергоактивных конструкций в наружном ограждении производственных зданий и сравнения результатов испытаний по трем конструктивным схемам.

Определено, что тепловизионная диагностика наружных ограждений по разработанному методу позволяет не только

устанавливать фактический уровень теплозащиты здания, но и дает возможность выявлять неоднородность в теле ограждающей конструкции. Установлено, что данный метод позволяет избежать контактных методов определения теплотехнических характеристик ограждения.

ЛИТЕРАТУРА

1. СП 23-101-2004. Проектирование тепловой защиты зданий. – М., 2004.
2. СНиП 23-02-2003. Тепловая защита зданий. – М., 2003.
3. СП 23 –101–2004 Проектирование тепловой защиты зданий. – М.: Госстрой России, 2004.
4. ГОСТ 26629–85. Метод тепловизионного контроля качества теплоизоляции ограждающих конструкций. – М.: Изд-во стандартов, 1985.
5. СНиП РК 2.04-03–2002. Строительная тепло-техника. – М.: Госстрой России, 2002.
6. ГОСТ 26254–84. Здания и сооружения. Методы определения сопротивления теплопередаче

ограждающих конструкций. Переиздание. – М.: Изд-во стандартов, 1994.

REFERENCES

1. SP 23-101–2004. Proektirovanie teplovoy zashchity zdaniy. – М., 2004.
2. SNiP 23-02–2003. Teplovaya zashchita zdaniy. – М., 2003.
3. SP 23 –101–2004 Proektirovanie teplovoy zashchity zdaniy. – М.: Gosstroy Rossii, 2004.
4. GOST 26629–85. Metod teplovizionnogo kontrolya kachestva teploizolyatsii ograzhdayushchikh konstruktsiy. – М.: Izd-vo standartov, 1985.
5. SNiP RK 2.04-03–2002. Stroitel'naya teplo-tekhnika. – М.: Gosstroy Rossii, 2002.
6. GOST 26254–84. Zdaniya i sooruzheniya. Metody opredeleniya soprotivleniya teploperedache ograzhdayushchikh konstruktsiy. Pereizdanie. – М.: Izd-vo standartov, 1994.

Рекомендована центром научно-аналитической информации. Поступила 22.01.20.