

УДК 621.1.016

ББК 31.31

М-80

*Морозова Наталья Евгеньевна, кандидат технических наук, доцент кафедры городского строительства и хозяйства Ростовского государственного строительного университета;*

*Блягоз Хазрет Рамазанович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры общей и неорганической химии Майкопского государственного технологического университета, т.: (8772)523003.*

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ В ЗДАНИЯХ  
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ ТЕПЛООВОГО НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ**  
(рецензирована)

*Рассматривается проблема энергосбережения за счет уменьшения потерь тепла через ограждающие конструкции здания. Описанный комплексный метод может быть использован при анализе теплопотерь в здании и оценке эффективности мероприятий по их снижению.*

*Ключевые слова: тепловизор, теплопередача, теплопотери, коэффициент лучистого теплообмена.*

*Morozova Natalia Eugenievna, Candidate of Technical Sciences, assistant professor of the Department of Urban Construction and Management, Rostov State University of Civil Engineering;*

*Blyagoz Khazret Ramazanovich, professor, Doctor of Technical Sciences, Maikop State Technological University.*

**INVESTIGATION OF HEAT TRANSFER PROCESSES IN BUILDINGS USING METHODS  
OF HEAT NON-DESTROYING CONTROL**  
(Reviewed)

*The problem of energy saving by reducing heat loss through the preventing building structures has been considered. The described complex method can be used in the analysis of heat loss in the building and evaluation of the effectiveness of measures to reduce it.*

*Keywords: infrared device, heat transfer, heat loss, coefficient of radiant heat transfer.*

Строительство новых и реконструкции существующих зданий с учетом современных требований к их энергопотреблению возможно только при своевременной и обязательной диагностике реального состояния вновь возводимых, эксплуатируемых и реконструируемых объектов.

Одним из необходимых этапов работ на этом пути является проведение теплового контроля и определение фактических теплотехнических характеристик строительных конструкций в условиях их эксплуатации.

Это особенно актуально, так как исследования показывают, что сверхнормативно теряется до 40% энергии, расходуемой на отопление зданий.

Для исследования процессов теплопередачи через ограждающие конструкции здания и разработки мероприятий, снижающих теплопотери, был выбран объект – 4-х этажное здание гимназии г. Ростова-на-Дону.

Для определения фактического значения термического сопротивления ограждающих конструкций согласно нормативным документам можно использовать два метода: натурные испытания и тепловизионные обследования здания.

При обследовании здания гимназии был использован комплексный подход: использование контактных измерений температуры в эталонных ("реперных") зонах по глади стены и тепловизионный контроль, который позволяет обследовать всё здание, а не отдельные его элементы, и выявить области аномальных температур.

В качестве реперных зон были выбраны зоны без температурных аномалий на поверхности объекта контроля, на которых проводились контактные измерения температуры и тепловых потоков и по ним же был настроен тепловизор. Две реперные зоны были выбраны на наружной стене первого этажа восточного фасада.

На предварительно выбранном участке (реперной зоне) наружной стены были установлены датчики, регистрирующие температуру и тепловые потоки, кроме этого регистрируется температура внутреннего и наружного воздуха.

По результатам измерения температуры и тепловых потоков каждые 2 дня в течение 8 дней проводились предварительные расчеты термического сопротивления  $R_T^p$  реперной зоны с оценкой погрешности определения  $R_T^p$ .

Далее в контексте комплексного обследования для получения удовлетворительных

результатов (суммарная погрешность определения  $R_T^p$ , включая погрешность, обусловленную нестационарностью процесса теплопередачи, не должна превышать 15%) была проведена наружная тепловизионная съемка ограждающих конструкций всего здания и внутренняя съемка в местах установки регистрирующих приборов тепловизором «Иртис 2000 с».

Обработка результатов измерений включала в себя расшифровку информации с регистраторов температуры и тепловых потоков и определение термического сопротивления  $R_T^p$  в реперных зонах.

За истинное значение термического сопротивления в реперной точке принимается выборочное среднее значение (1)

$$\bar{R}_T^p = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n R_{Ti}^p, \quad (1)$$

$n = 573$  – общее число измерений

До отбраковки получилось  $\bar{R}_T^p = 2.56 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$

Отбраковка значений  $R_{Ti}^p$  производилась при невыполнении условия (2)

$$Gr_i = \frac{|\bar{R}_T^p - R_{Ti}^p|}{S} \leq 2, \quad (2)$$

где  $S$  – выборочное стандартное отклонение для результата отдельного измерения (3)

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\bar{R}_T^p - R_{Ti}^p)^2}{n-1}} = 0,4, \quad (3)$$

Отбраковка начиналась с члена выборки  $R_{Ti}^p$ , который характеризуется максимальным значением  $Gr_i$ , после чего рассчитывались новые значения  $\bar{R}_T^p$ ,  $S$  и  $Gr_i$ . Процедура отбраковки продолжается до тех пор, пока все значения  $R_{Ti}^p$  не будут удовлетворять условию (2). Т.о. было отбраковано 128 первых измерений, при расчете учитывались  $n = 445$  – число измерений, вошедших в выборочную совокупность (отбросили с 1 по 128 измерение)

Т.о. после отбраковки значение термического сопротивления первого реперного участка составило

$$R_T = 2,69 \text{ м}^2\text{°C}/\text{Вт}.$$

Общее термическое сопротивление:

$$R_0 = 2,69 + 0,115 + 0,043 = 2,848 \text{ м}^2\text{°C}/\text{Вт}$$

Значение термического сопротивления второго реперного участка составляет

$$R_T = 2,70 \text{ м}^2\text{°C}/\text{Вт}.$$

Общее термическое сопротивление:

$$R_0 = 2,70 + 0,115 + 0,043 = 2,858 \text{ м}^2\text{°C}/\text{Вт}$$

Суммарная относительная погрешность определения сопротивления теплопередаче в реперной точке составила  $\sqrt{(1+25)} = 5.1\%$

Обработка результатов тепловизионного обследования заключалась в определении температурных полей по поверхности и расчете термических сопротивлений исследуемых участков ограждающих конструкций.

Расчет термического сопротивления  $m$ -го участка ограждающей конструкции  $R_T^m$  проводился по формуле (4)

$$R_T^m = \bar{R}_T^p \frac{\tau_{np} - t_n}{\tau_{nm} - t_n}, \quad (4)$$

где  $\tau_{nm}$  – температура наружной поверхности на участке  $m$ ;  $\tau_{np} = 1,7^\circ\text{C}$  – температура наружной поверхности в реперной зоне;  $t_n = 1^\circ\text{C}$  – температура наружного воздуха;  $R_T^p$  – термическое сопротивление реперной зоны.

Для сравнения с нормируемыми (СНиП 23-02) или проектными значениями вычисляется сопротивление теплопередаче при расчетных температурных условиях (5)

$$R_0^m = R_T^m + 0,115 + 0,043 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт)}, \quad (5)$$

Здесь 0,115 и 0,043 – сопротивления теплоотдаче на внутренней и наружной поверхностях соответственно при расчетных условиях.

Коэффициент теплопередачи ограждения  $K$ , как величина обратная сопротивлению теплопередаче равен плотности теплового потока, проходящего сквозь ограждение, при разности температур сред по разные стороны от него в  $1^\circ\text{C}$ .

Теплопотери за счет теплопередачи (трансмиссионные теплопотери)  $Q_{опр}$ , Вт, рассчитываются через каждое теплоотражающее ограждение (или его часть) отдельно по формуле (6)

$$Q_{i\ddot{a}d} = KA(t_{\ddot{a}} - t_i), \quad (6)$$

При проведении работ по тепловизионному контролю качества ограждающих конструкций жилого дома использована методика приведённая в ГОСТ 26254-84.

Теплопотери здания при расчете по укрупненным показателям определяются по формуле (7):

$$Q = 1.163 \cdot q0 \cdot V_{зд} \cdot (t_{\ddot{a}} - t_n), \quad \text{Вт}, \quad (7)$$

где 1,163 – коэффициент перевода из килокалорий  $\cdot$  ч в ватты;  $q0 = 0,33$  ккал/м<sup>3</sup> $\cdot$ ч $\cdot$ °C – ориентировочные удельные расходы тепла на отопление и вентиляцию, принимаются по справочным данным для школ;  $V_{зд}$  – отапливаемая кубатура здания, м<sup>3</sup>;  $t_{\ddot{a}}$  и  $t_n$  – внутренняя и наружная температура воздуха для расчетного периода, °C;  $Q = 1.163 \cdot 0.33 \cdot 16730 \cdot (20 - (-22)) = 269673,88 \text{ Вт}$

Реальные теплопотери, рассчитанные по каждому помещению, с учетом их размеров, полученных сопротивлений теплопередаче в реперных зонах, а также значениям температурных полей, полученных в результате тепловизионного обследования составили  $Q = 507779.4 \text{ Вт}$ .

Расчет показал, что реальные теплопотери превышают допустимые.

В качестве энергосберегающего мероприятия предложено теплоизолировать за приборные участки наружной стены материалами с низким (около 0,05 Вт/м<sup>2</sup>°C) коэффициентом теплопроводности (например, алюминиевой фольгой). Теплоизоляцию желательно располагать ближе к наружной поверхности стены. Размер утепленного участка стены должен превосходить проекцию прибора на стену с каждой стороны как минимум на толщину прибора.

Был проведен эксперимент по определению влияния отражающих экранов на увеличение термического сопротивления наружной стены и уменьшения теплопотерь здания. В одном из помещений школы были установлены самопишущие измерители температуры и теплового потока ИС-201 и сняты показания в течение 8 дней до установки отражающих экранов и после их установки.

Как показывают проведенные расчеты, установив теплоотражающий экран, изготовленный из отражающего материала «Пенофол» за радиатор отопления, можно повысить термическое сопротивление на 7,23-9,57 % на участке стены расположенной за радиатором, а расчету по определению теплопотерь для данного помещения показывают уменьшение теплопотерь на 4,58%.

Теплопотери после установки экранов составили 494673 Вт, что дает экономию тепла на 2,58% и соответственно позволяет рассчитать снижение затрат на теплоснабжение объекта (8)

$$B = \Delta G_{\text{в}} \cdot T_{\text{в}} = 46 \cdot 1035,36 = 47626,56 \text{ руб./год}, \quad (8)$$

$$\Delta G_{\text{в}} = 13101 \cdot 171 \cdot 24 \cdot 0,860 \text{ ккал} = 46261810,32 \text{ ккал} = 46 \text{ гкал}$$

где  $T_{\text{в}} = 1035,36$  руб./гкал – тариф за теплоснабжение за 2011 год с учетом НДС.

Теплотехнические возможности любой системы водяного отопления во многом определяются отопительным (нагревательным) прибором. Тепловой поток от теплоносителя передается в помещение через стенку именно отопительного прибора. Коэффициент теплопередачи стенки прибора зависит от многих факторов, которые разделяют на основные и второстепенные. Среди второстепенных факторов всегда называют окраску приборов. При этом среди этих качественных оценок приводятся данные, что окраска прибора может повысить теплопередачу отопительного прибора.

Лучистый теплообмен происходит между поверхностями, обращенными в помещение, наружными поверхностями различных зданий, поверхностями земли и неба. Важен лучистый теплообмен между внутренними поверхностями ограждений помещения и поверхностью отопительного прибора. Во всех этих случаях лучепрозрачной средой, пропускающей тепловые волны, является воздух.

Каждая поверхность тела в зависимости от своей температуры излучает энергию в виде волн различной длины. Видимые световые лучи имеют длину волны от 0,4 до 0,8 мк, а инфракрасные-тепловые – от 0,8 до 800 мк. Это излучение называется собственным. В соответствии с законом Планка при значениях температуры, имеющих место в помещениях, подавляющая часть энергии излучается в узком диапазоне длин волн, поэтому собственное излучение поверхностей в помещениях может считаться монохроматическим.

Если на поверхность падает лучистая энергия, то, как известно, часть ее поглощается телом, повышая его температуру, часть отражается, а если это лучепрозрачное тело, то часть падающей энергии пропускается сквозь него. Тело, которое поглощает всю падающую на него лучистую энергию, называется абсолютно черным; то, которое частично отражает лучистый поток, – серым; то, которое отражает всю падающую лучистую энергию, – абсолютно белым;

тело, пропускающее всю энергию через себя, – абсолютно прозрачным.

Собственное излучение поверхности абсолютно черного тела  $q$ , Вт/м<sup>2</sup>, по закону Стефана-Больцмана пропорционально четвертой степени абсолютной температуры тела (9):

$$q = C_o \left(\frac{T}{100}\right)^4, \quad (9)$$

где  $C_o$  – коэффициент излучения абсолютно черного тела;  $C_o = 5,67$  Вт/(м<sup>2</sup>·К<sup>4</sup>);  $T$  – температура излучающей поверхности по шкале абсолютных температур, К.

Это означает, что интенсивность излучения резко возрастает с повышением температуры поверхности тела.

Термическое сопротивление внешнему теплообмену,  $R_n$ , которое можно определить как:

$$R_n = \frac{1}{\lambda_n}$$

где  $\lambda_n$  – общий коэффициент теплообмена на наружной поверхности отопительного прибора, характеризующий плотность теплового потока при разности температур  $t_n - t_b = 1^\circ\text{C}$ .

$$\lambda_n = \lambda_k + \lambda_{\tilde{e}}, \quad (10)$$

Коэффициент теплообмена складывается из коэффициентов лучистого, конвективного, теплообмена и теплопроводности слоя воздуха в помещении.

Коэффициент конвективного теплообмена зависит от разности температур, в данном случае между температурой поверхности стенки отопительного прибора и температурой воздуха в помещении.

Следовательно, чем выше температура поверхности отопительного прибора, тем выше коэффициент конвективного теплообмена.

Коэффициент лучистого теплообмена (11) выражает плотность излучения с поверхности отопительного прибора с температурой  $t_i$  через лучепрозрачную среду (воздух) с температурой  $t_b$ :

$$\lambda_{\tilde{e}} = C_{\tilde{e}} \frac{(T_i/100)^4 - (T_b/100)^4}{t_i - t_b} = \tilde{N}_{\tilde{e}} k, \quad (11)$$

где  $C_{\tilde{e}}$  – приведенный коэффициент излучения теплообменивающих поверхностей, Вт/(м<sup>2</sup>·К<sup>4</sup>);  $T_n$ ,  $T_b$  – абсолютная температура теплообменных поверхностей, К;  $k$  – температурный коэффициент

Чем выше излучательная способность краски, тем выше теплоотдача отопительного прибора. Учитывая, что тип краски может достаточно сильно изменять коэффициент теплопередачи (до 20%), необходимо создание специальных эмалей для окраски отопительных приборов. Данные материалы должны быть сертифицированы по теплопроводности, Вт/(м·К), и по приведенному коэффициенту излучения теплообменивающихся поверхностей, Вт/(м<sup>2</sup>·К<sup>4</sup>). Причем на упаковке данной краски должно быть указание на возможность ее использования для окраски отопительных приборов.

#### **Литература:**

1. Малявина Е.Г. Теплотери здания: справочное пособие. - Москва: АВОК-ПРЕСС, 2007.
2. Ллойд Дж. Системы тепловидения: пер. с англ. / под ред. А.И. Горячева. - Москва: Мир, 1978.- С. 416.
3. Ржеганек Я., Яноуш А. Снижение теплотерь в зданиях / под ред. Л.М. Махова; пер. с чешск. В.П. Поддубного. - Москва: Стройиздат, 1988. - 168 с.

#### **References:**

1. Malyavina E.G. Heat losses of a building: a handbook. M.: AVOK-Press, 2007.
2. Lloyd J. Systems of thermal imaging: transl. from English / Ed. A.I. Goryachev. M.: Mir, 1978. P. 416.
3. Rzhaganek Y., Yanoush A. Reducing heat loss in buildings / ed. L.M.Makhov; transl. from the Czech by V.P.Podubny. M.: Stroizdat, 1988. 168 p.