

УДК 697.1:536.2:69.022

**О ПОГРЕШНОСТЯХ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕРМИЧЕСКОГО
СОПРОТИВЛЕНИЯ НАРУЖНЫХ СТЕН****Захаревич Э.В., Ковалев А.В., Монич В.В.***Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

В настоящее время проблема экономии тепловой энергии при отоплении различных зданий и сооружений имеет большое значение. При госприемке жилых многоэтажных домов в РБ предполагается осуществлять выборочный контроль качества наружных стен и определять сопротивление теплопередаче. Для жилых домов старой постройки часто возникает необходимость определения зон плохой теплоизоляции наружных стен. Во всех этих случаях необходимо определять локальные или приведенные термические сопротивления наружных стен. Предусмотренная для этого нормативная база /1,2/, с одной стороны, ориентирована на устаревшее оборудование, а с другой стороны, продолжительность определения локального и приведенного сопротивлений теплопередаче в одной из квартир составляет не менее 1...3 суток (в зависимости от тепловой инерции ограждающей конструкции). По данной проблеме во всех развитых странах мира ведется работа по оптимизации нормативной базы для определения основных теплотехнических показателей ограждающих конструкций зданий

Сопротивление теплопередаче — это такой показатель теплотехнического качества ограждающей конструкции (стен), который подсчитывается из следующего выражения /3,4/:

$$R_T = \frac{1}{\alpha_n} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_w}, (1)$$

где R_T — сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции, $(\text{м}^2 \cdot \text{°C})/\text{Вт}$; α_n и α_w — соответственно коэффициент теплоотдачи у внутренней и наружной поверхностей, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$; δ_i — толщина i -го слоя ограждающей конструкции, м; λ_i — коэффициент теплопроводности i -го слоя ограждающей конструкции, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$.

Основным нормативным документом, регламентирующим методы определения сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций, является ГОСТ 26254-84 /1/. По данному ГОСТ основными являются два метода определения сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций (наружных стен): с использованием определения термического сопротивления

внутренней поверхности, с использованием измерения плотностей тепловых потоков, проходящих через ограждение.

Расчетные формулы по первому методу имеют следующий вид:

$$R_{0i} = \frac{t_{ei} - t_{ni}}{t_{ei} - \tau_{ei}} R_{ei}, \quad (2)$$

$$R_{ei} = \frac{1}{\alpha_{ei}} = \frac{1}{\alpha_{ki} + \alpha_{li}}, \quad (3)$$

где R_{ei} и R_{0i} – соответственно сопротивление теплопередаче внутренней поверхности и самой характерной зоны, $(\text{м}^2 \cdot \text{°C})/\text{Вт}$; t_{ei} и t_{ni} – средние за расчетный период температуры соответственно внутреннего и наружного воздуха на расстоянии 100 мм от поверхностей характерной зоны, °C ; α_{ki} и α_{li} – коэффициенты соответственно конвективного и лучистого теплообмена внутренней поверхности характерной зоны, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$; τ_{ei} – средняя за период изменения температура внутренней поверхности характерной зоны, °C .

По второму методу используют формулу из приложения 3 /1/:

$$R_{0\sigma} = \frac{(\bar{t}_e - \bar{t}_n)}{\bar{q}_{изм}} = \frac{\Delta \bar{t}_{изм}}{\bar{q}_{изм}}, \quad (4)$$

где $R_{0\sigma}$ – экспериментальное значение сопротивления теплопередаче, $(\text{м}^2 \cdot \text{°C})/\text{Вт}$; \bar{t}_e и \bar{t}_n – средняя температура соответственно внутреннего и наружного воздуха в периоды испытаний, °C ; $\bar{q}_{изм}$ – измеренная средняя плотность теплового потока, проходящего через ограждение, $\text{Вт}/\text{м}^2$;

В обоих этих методах используются термпары, устанавливаемые в ограждении. Это является одним из основных недостатков, т. к. приходится нарушать целостность конструкции. ГОСТ 26629-85 /2/ предусматривает тепловизионный метод контроля качества теплоизоляционных свойств ограждающих конструкций, однако он больше предназначен для контроля такого показателя качества, как относительное сопротивление теплопередаче, которое определяется отношением сопротивления теплопередаче контролируемого и базового участков. Недостатком является необходимость определения сопротивления теплопередаче базового участка по ГОСТ 26254-84; только после этого определяется относительное сопротивление.

В 1996 г. в Москве изданы ведомственные строительные нормы /5/, согласно которым R_0 может определяться либо через a_e , либо через a_n , т.е. по аналогии с формулой (2). Однако, на наш взгляд, эти нормы недоработаны так, чтобы погрешность определения R_0 была ниже 15...20%. Этот вывод

сделан на основании консультаций с НИИ строительной физики г.Москвы, на основании чего следует, что в настоящее время погрешность определения сопротивления теплопередаче с помощью тепловизионной съемки достигает 30...60%.

Нами предпринята попытка оценить погрешность определения сопротивления теплопередаче наружных стен в соответствии с /5/.

Основная расчетная формула для определения сопротивления теплопередаче имеет вид:

$$R_0 = \frac{t_e - t_n}{\tau_n - t_n} \cdot \frac{1}{\alpha_n}, \quad (5)$$

где R_0 — сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции, (м²·°C)/Вт; t_e и t_n — средние за период измерений значения температур соответственно внутреннего и наружного воздуха, °C; α_n — коэффициент теплоотдачи у наружной поверхности, Вт/(м²·°C); τ_n — средняя за расчетный период значения температуры наружной поверхности ограждающей конструкции, °C.

В общем виде формула для определения погрешности определения сопротивления теплопередаче имеет вид:

$$\frac{\Delta R_0}{R_0} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial}{\partial x_i} \ln R_0 \right)^2 \Delta x_i^2}, \quad (6)$$

где ΔR_0 — предельная абсолютная погрешность определения сопротивления теплопередаче, (м²·°C)/Вт; Δx_i — предельная абсолютная погрешность i -го фактора.

Используя выражение (6), мы вывели формулу для определения относительной погрешности сопротивления теплопередаче, которая имеет вид:

$$\frac{\Delta R_0}{R_0} = \sqrt{\left(\frac{\Delta t_e}{t_e - t_n} \right)^2 + \left(\frac{1}{\tau_n - t_n} - \frac{1}{t_e - t_n} \right)^2 \Delta t_n^2 + \left(\frac{\Delta \tau_n}{t_n - \tau_n} \right)^2 + \left(\frac{\Delta \alpha_n}{\alpha_n} \right)^2}, \quad (7)$$

где Δt_e и Δt_n — предельная абсолютная погрешность определения температуры соответственно внутреннего и наружного воздуха, °C; $\Delta \alpha_n$ — предельная абсолютная погрешность определения коэффициента теплоотдачи, Вт/(м²·°C), $\Delta \tau_n$ — предельная абсолютная погрешность определения температуры наружной поверхности ограждающей конструкции, °C;

Величины Δt_e и Δt_n можно уменьшить путем многократных измерений так, что значения собираемых, в которые они входят, не будут оказывать су-

щественного влияния на определение погрешности сопротивления теплопередаче.

Упрощенная формула имеет вид:

$$\frac{\Delta R_0}{R_0} = \sqrt{\left(\frac{\Delta \tau_n}{t_n - \tau_n}\right)^2 + \left(\frac{\Delta \alpha_n}{\alpha_n}\right)^2}, \quad (8)$$

Расчеты выполнены для температур наружного воздуха -15 , -5 и $+5^\circ\text{C}$ в предположении, что установился стационарный режим теплопередачи. При этом сопротивление теплопередаче наружной стены принято $2,5 \text{ (м}^2\text{°C)/Вт}$. На основании выполненных расчетов построена номограмма зависимости погрешности определения сопротивления теплопередаче от температуры наружного воздуха и погрешности определения температур наружной поверхности (см. рис. 1).

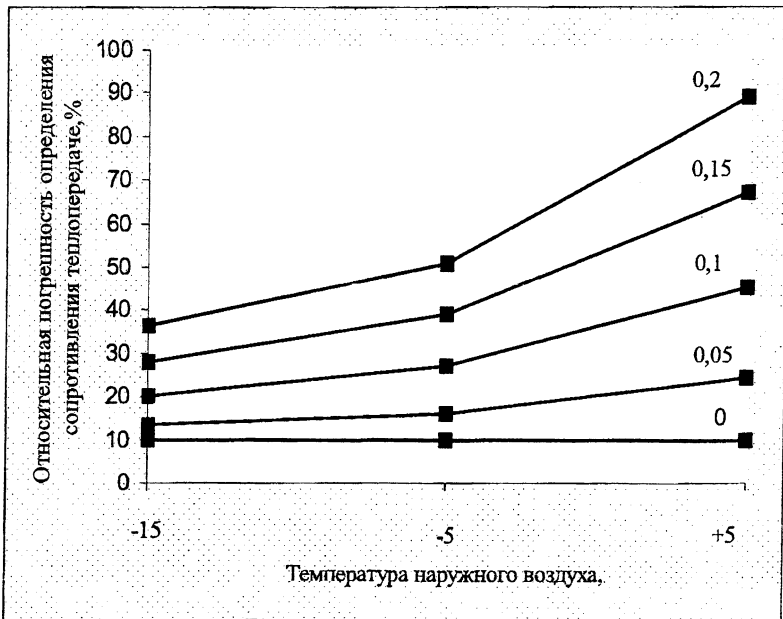


Рис. 1. Зависимость $\Delta R_0/R_0$, % от наружной температуры t_n , °C, и погрешности Δt_n , °C, при $\Delta a_n/a_n$, равной 10%.

На основании проделанных расчетов можно сделать следующие выводы и предложить некоторые рекомендации:

1. Величина погрешности определения сопротивления теплопередаче наружного ограждения в большей степени зависит от точности определения температуры наружной поверхности, чем от точности определения коэффициента теплоотдачи, поэтому рекомендуется, как можно точнее измерять температуру наружной поверхности.

2. Величина погрешности уменьшается с уменьшением температуры наружного воздуха, поэтому измерения рекомендуется проводить при как можно более низких температурах и соответственно при больших разницах внутренней и наружной температур воздуха.

3. Существуют и другие направления, работа над которыми продолжается.

4. Результаты данных расчетов будут использованы при разработке методики определения сопротивления теплопередаче наружных стен с использованием в том числе тепловизионной съемки.

Список использованных источников:

1. ГОСТ 26254-84. Здания и сооружения. Методы определения сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций. – М.: Изд-во стандартов. – 1985. – 24 с.

2. ГОСТ 26629-85. Здания и сооружения. Метод тепловизионного контроля качества теплоизоляции ограждающих конструкций. - М.: Изд-во стандартов. – 1986. – 14 с.

3. СНБ 2.04.01-97. Строительная теплотехника. — Мн.: Минстройархитектуры Республики Беларусь, 1998. — 32 с.

4. Фокин К.Ф. Строительная теплотехника ограждающих частей зданий. ? М.: Стройиздат, 1973. – 287 с.

5. ВСН 43-96. Ведомственные строительные нормы по теплотехническим обследованиям наружных ограждающих конструкций зданий с применением малогабаритных тепловизоров. – М.: Комплекс перспективного развития г. Москвы, 1996. – 19 с.