

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОПРАВКИ К ТЕРМИЧЕСКОМУ СОПРОТИВЛЕНИЮ ПРИ КВАЗИСТАЦИОНАРНОМ РЕЖИМЕ ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ В НАРУЖНЫХ СТЕНАХ, ВЫПОЛНЕННЫХ ИЗ КИРПИЧА

Макаров Р.А., Муреев П.Н., Макаров А.Н.

ГОУ ВПО «Поволжский государственный технологический университет», Йошкар-Ола, Россия (424000, Республика Марий Эл, г. Йошкар-Ола, пл. Ленина, дом 3), e-mail: morrich92@gmail.com

Проведён анализ и перечислены основные недостатки существующих способов определения фактического сопротивления теплопередаче наружных стен. Перечислены причины большой погрешности результатов измерений существующих способов определения сопротивления теплопередаче. Показаны условия стационарного режима теплопередачи в общем случае. Введен параметр отклонения фактического распределения температур от теоретического в толще стенового ограждения. Показана схема лабораторной установки, расположенной в здании постройки 60-х-80-х годов XX века с наружными кирпичными стенами, для определения фактического сопротивления теплопередаче. Разработана методика обработки данных, полученных с датчиков, расположенных в толще наружной стены и на её поверхности, на основе справочного пособия к СНиП «Строительная климатология». Введена дополнительная поправка к определению фактического сопротивления теплопередаче, учитывающая нелинейное распределение температур в толще стенового ограждения. Приведён алгоритм расчёта поправки к термическому сопротивлению при квазистационарном режиме теплопередачи в наружных стенах, выполненных из кирпича.

Ключевые слова: сопротивление теплопередаче, нестационарный режим теплопередачи, стационарный режим теплопередачи, однослойная кирпичная стена, распределение температуры в толще стены.

THE DETERMINATION OF THE THERMAL RESISTANCE CORRECTION OF QUASISTATIONARY HEAT TRANSFER REGIME IN EXTERNAL BRICK WALLS.

Makarov R.A., Mureev P.N., Makarov A.N.

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education «Volga State University of Technology», Yoshkar-Ola, Russia (424000, Yoshkar-Ola, 3 Lenin sq), e-mail: morrich92@gmail.com

The analysis is made and the main disadvantages of the methods of determining the actual thermal resistance of external walls are recited. The reasons of the high error in measurement results of the methods of determining the resistance of heat transfer are enumerated. The conditions of stationary heat transfer are demonstrated in general case. The parameter of the deviation of the actual temperature distribution from the theoretical temperature distribution in the thickness of the wall fence is infused. A diagram of the laboratory setup, which belongs to the brick building of the 60s-80s of the 20th century, is represented to determine the actual thermal resistance. Methods of the information processing, which was got from the sensors in the thickness of the brick wall and on its surface, are developed on basis of data books of SNIP «Building Climatology». The additional amendment is introduced to determine the actual resistance of heat transfer, which includes the non-linear temperature distribution in the thickness of the wall fence. The calculation algorithm for the thermal resistance correction of quasistationary heat transfer regime in external brick walls is provided.

Keywords: thermal resistance, non-stationary heat transfer, stationary heat transfer, single-layer brick wall, temperature distribution in the thickness of the wall

В соответствии с Федеральным законом № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» [5] наружные ограждающие конструкции вновь строящихся и реконструируемых зданий должны удовлетворять требованиям СНиП «Тепловая защита зданий» от 23.02.2003 [3]. Согласно последней редакции СНиП «Тепловая защита зданий»

требуемое сопротивление теплопередаче наружных ограждающих конструкций возросло более чем в 3 раза. При проектировании вновь строящихся зданий требуемое сопротивление теплопередаче наружных ограждающих конструкций обеспечивается за счёт применения эффективных утеплителей с низким коэффициентом теплопроводности. Теплотехнический расчёт таких конструкций не вызывает затруднений, т.к. сопротивление теплопередаче всей конструкции рассчитывалось согласно методике, представленной в СНиП «Тепловая защита зданий».

При длительной эксплуатации зданий (а это относится к большинству реконструируемых зданий) физические характеристики материала могут значительно меняться, что делает невозможным определение коэффициента теплопроводности материала по значениям из таблицы Приложения Т СНиП «Тепловая защита зданий» а, значит, и фактического сопротивления теплопередаче существующей конструкции.

Основная часть

В Российской Федерации на практике используется способ определения качества объектов по анализу их сопротивления теплопередаче - см. ГОСТ 26254-84. «Здания и сооружения. Методы определения сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций». Введен постановлением Государственного комитета СССР по делам строительства от 02 августа 1984 года №127, УДК 624.01.001.006.354. Изложенный здесь способ заключается в измерении плотности теплового потока через контролируемое ограждение и температуры сред около ее поверхностей в течение не менее 15 суток при достижении в контролируемом ограждении стационарного или близкого ему теплового режима. Достижение данного режима определяется по поведению измеряемой температуры наружной и внутренней поверхности ограждения [1].

Данный метод прост и нагляден, однако имеет недостаток, который ограничивает область его применения и значительно снижает точность получаемых результатов. Метод применим только при условии стационарности процесса теплопередачи через контролируемое сооружение (т.е. только при условии постоянства теплового потока, входящего в сооружение) на одной поверхности и выходящего из сооружения на другой поверхности.

На практике при тепловом контроле сооружений с реальным изменением во времени температуры сред это условие соблюдается крайне редко. Несоблюдение условия постоянства плотности теплового потока приводит к появлению больших ошибок в определении сопротивления теплопередаче – до 300-500% [2].

Согласно ГОСТ 26254-84 в наружных ограждающих конструкциях стационарный процесс теплопередачи в зависимости от их тепловой инерции устанавливается через 1,5-7,5 суток. Однако на практике при контроле строительных конструкций разница температуры

наружного воздуха в ночное и дневное время, может достигать 10-15 градусов. Это вызывает нестационарные процессы теплопередачи в исследуемых конструкциях и делает метод неприменимым [2].

В методике, изложенной в [2], фактическое сопротивление теплопередаче определяют на временных интервалах с квазистационарным режимом теплопередачи. Условия квазистационарности режима теплопередачи, критерий квазистационарности режима теплопередачи θ^{\max} и поправку термического сопротивления ΔR , вызванную нестационарностью теплопередачи, определяют путем теоретического анализа и аналитического решения линейного нестационарного уравнения теплопередачи с граничными условиями 1-го рода, описывающих нестационарный процесс теплопередачи в исследуемом участке элемента конструкции. Введение критерия квазистационарности режима теплопередачи было взято за основу методики. Недостатком методики [2] является неопределённость выбора допустимой погрешности при определении квазистационарного режима теплопередачи (в [2] это критерий квазистационарности режима теплопередачи θ^{\max}). В зависимости от этой допустимой погрешности меняется значение поправки термического сопротивления ΔR . Таким образом, различным значениям допустимой погрешности соответствуют различные значения поправки ΔR , что вызывает неудобство при расчёте толщины утеплителя в теплотехническом расчёте, т.к. не ясно, какое значение погрешности принимать.

В Справочном пособии к СНиП «Строительная климатология» [4] изложены методы расчёта климатических параметров (температура воздуха наиболее холодных суток, наиболее холодной пятидневки, продолжительность и средняя температура отопительного периода и т.д.). Данная методика будет положена в основу предлагаемых ниже расчётов.

Для анализа будем выделять промежутки времени $t_{\text{стац}}$, в период которых амплитуда колебаний температуры наружного воздуха не более 2 °С и длительность которых не менее времени тепловой инерции стены. Для стены из силикатного кирпича время тепловой инерции составляет примерно 24 часа [2]. После обработки данных за несколько лет критерии выбора обрабатываемого интервала будут уточнены на основе сходимости получаемых результатов.

Как отмечалось выше, определить, является ли режим теплопередачи в исследуемый промежуток времени близким к стационарному или нет, посредством измерения величины теплового потока на внутренней и наружной поверхности невозможно. Режим теплопередачи будем считать близким к стационарному, если распределение температуры в толще стены линейное, т.е. тепловое состояние наружной стены не меняется или меняется незначительно.

Для получения данных о температуре и влажности внутреннего и наружного воздуха, температур внутренней и наружной поверхности, температур в толще стены в 5 точках, расположенных через равные расстояния, разработана лабораторная установка, которая представляет собой совокупность датчиков, адаптера и центра управления (рис. 1). Установка расположена в общежитии № 6 ПГТУ в городе Йошкар-Ола.

Характеристика здания общежития №6 ПГТУ: год постройки – 1975, число этажей – 9, объём здания – 26708 м³, общая площадь – 6335,9 м², наружные стены из силикатного кирпича толщиной 640 мм, оштукатуренные с внутренней и наружной стороны цементно-песчаным раствором толщиной 20 мм.

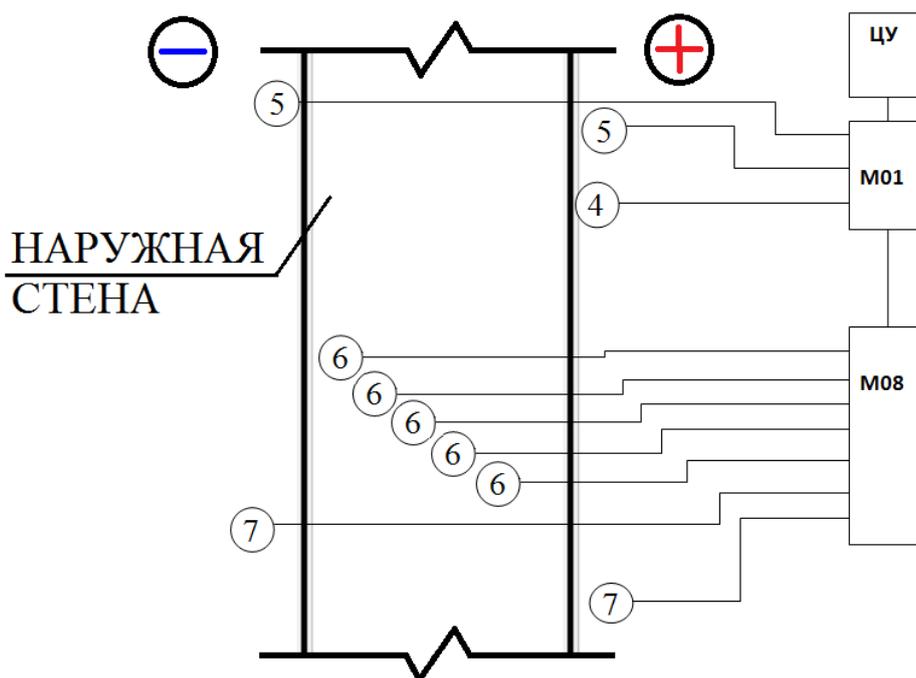


Рис. 1. Схема установки для определения сопротивления теплопередаче

1. Датчики температуры и влажности материала, 5 шт. Расположены в толще ограждающей конструкции через 110 мм
2. Датчики температуры и влажности воздуха в помещении
3. Датчики температуры и влажности наружного воздуха
4. Датчик температуры внутренней поверхности
5. Датчик температуры наружной поверхности
6. Датчик теплового потока
7. Адаптер
8. Центр управления.

Информация с датчиков поступает через адаптер в центр управления, а затем на ПК. Шаг измерений – 1 мин.

Данные с установки обрабатываются согласно пунктам 2.9-2.11 методики, представленной в [4]. При проектировании и расчёте строительных конструкции обеспеченность характеристик материалов принимают 0,92 или 0,98 в зависимости от ответственности рассчитываемой конструкции. На первом этапе обрабатывается выборка температур внутренней и наружной поверхностей, а также по толщине стены. Данные в каждой выборке располагаются в убывающем порядке (по абсолютной величине) с присвоением каждой величине порядкового номера. Температуры округляются до 0,1 °С, для каждого значения определяется средний порядковый номер m_{cp} . Интегральную обеспеченность P рассчитывают по формуле [4]:

$$P = 1 - \frac{m_{cp} - 0.3}{n + 0.4}, \quad (1)$$

где m_{cp} – средний порядковый номер, n – число членов ряда, равное количеству данных в выборке. На основе полученных данных строят интегральные кривые распределения температур внутренней и наружной поверхности ограждения, теплового потока и температур измеряемых точек в толще наружной стены на сетке ассиметричной частоты: по оси ординат – логарифмическая шкала температуры внутренней и наружной поверхности, по оси абсцисс – двойная логарифмическая шкала обеспеченности. С кривых снимаются значения температур и теплового потока с обеспеченностью 0,92 и 0,98. С учётом принятых выше критериев отбора обрабатываемых промежутков будем считать режим теплопередачи в этих промежутках близким к стационарному или квазистационарным. Тогда можно принять, что тепловой поток, проходящий через наружную стену, будет также близким к постоянному во всех точках наружной стены.

Разобьём толщу наружной стены на участки таким образом, чтобы крайние грани этих участков проходили через места измерения температуры в толще стены, т.е. через равные расстояния (примерно 110 мм) (рис. 2).

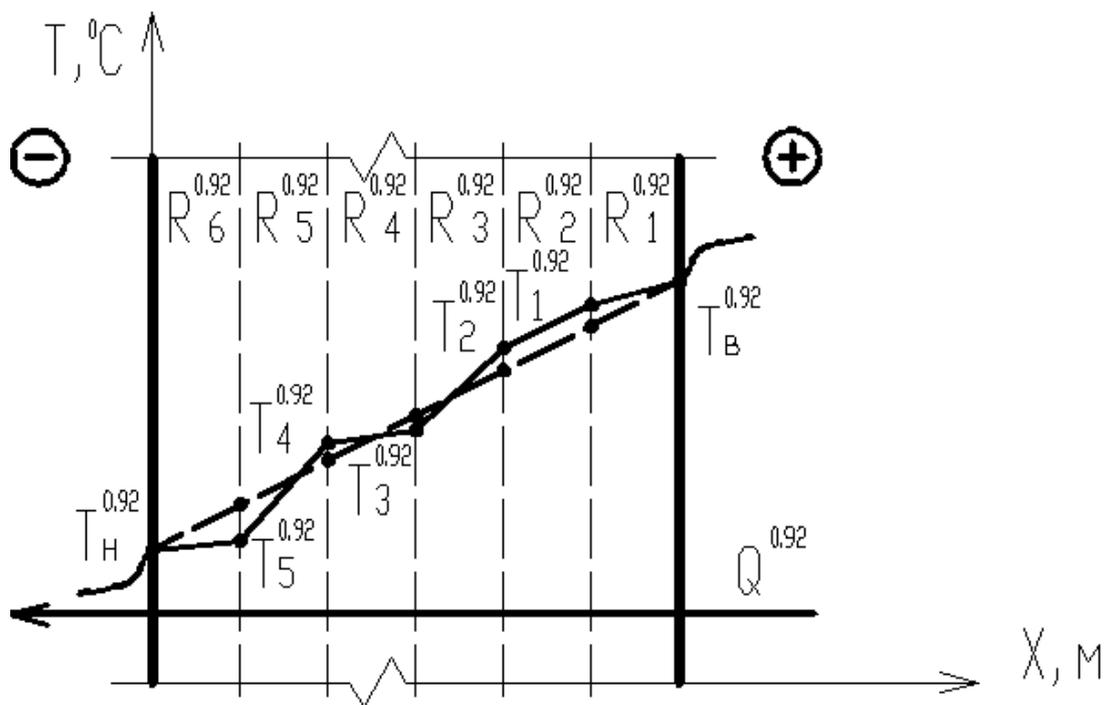


Рис. 2. Фактическое и теоретическое распределение температур в толще наружной стены

Штриховой линией показано теоретическое распределение температур в толще наружной стены, сплошной – фактическое распределение температур в толще наружной стены.

Фактическое сопротивление теплопередаче в случае стационарного режима теплопередачи определяется по формуле:

$$R = \frac{\Delta T}{Q}, \quad (2)$$

где R – сопротивление теплопередаче участка стены, $\frac{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}{\text{Вт}}$,

ΔT – разность температур на внутренней и наружной поверхности, °C ,

Q – тепловой поток, $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$.

В случае квазистационарного режима теплопередачи при определении фактического сопротивления теплопередаче выделим две составляющие: сопротивление теплопередаче $R^{0,92}$ и поправка ΔR , вызванная квазистационарностью режима теплопередачи:

$$R_{\text{факт}} = R^{0,92} + \Delta R = \frac{T_{\text{в}}^{0,92} - T_{\text{н}}^{0,92}}{Q^{0,92}} + \Delta R, \quad (3)$$

где $R_{\text{факт}}$ – фактическое сопротивление теплопередаче участка стены, $\frac{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}{\text{Вт}}$,

$T_{\text{в}}^{0,92}$ – температура внутренней поверхности с обеспеченностью 0,92(0,98), °C ,

$T_{\text{н}}^{0,92}$ – температура наружной поверхности с обеспеченностью 0,92(0,98), °C ,

$Q^{0,92}$ – тепловой поток с обеспеченностью 0,92(0,98), $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$,

ΔR – поправка к сопротивлению теплопередаче участка стены, $\frac{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}{\text{Вт}}$,

Принимая режим теплопередачи близким к стационарному, первая составляющая $R^{0,92}$ рассчитывается по формуле (2) с тем отличием, что значения температур внутренней и наружной поверхности и теплового потока принимаются с обеспеченностью 0,92(0,98). Поправка к сопротивлению теплопередаче ΔR учитывает квазистационарность режима теплопередачи, т.е. чем больше режим теплопередачи отличается от стационарного, тем больше величина поправки ΔR . Критерием стационарного режима является линейное распределение температур в толще наружной стены, поэтому величина поправки ΔR зависит от отклонения фактического распределения температур от теоретического (линейного) и теплового потока, проходящего через наружную стену:

$$\Delta R = \sum_{i=1}^6 |R_{\text{ср}} - R_i|, \quad (3)$$

где $R_{\text{ср}} = \frac{R^{0,92}}{6}$ – теоретическое сопротивление теплопередаче i -ого слоя, вычисленное при квазистационарном режиме, $\frac{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}{\text{Вт}}$,

$R_i = \frac{T_{i-1}^{0,92} - T_i^{0,92}}{Q^{0,92}}$ – сопротивление теплопередаче, вычисленное по показания датчиков, $\frac{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}{\text{Вт}}$.

Величина поправки ΔR характеризует, насколько точно выбранные критерии отбора временных промежутков определяют интервалы с режимом теплопередачи близким к стационарному. В случае идеального стационарного режима $\Delta R = 0$.

На практике данная методика реализуется с помощью программного обеспечения, в которое можно закладывать критерии выбора обрабатываемых временных промежутков, величину поправки ΔR в долях от $R^{0,92}$ или абсолютных значениях. Измерения производятся в течение всего отопительного периода, что позволяет найти множество значений $R_{\text{факт}}$ с одинаковыми критериями отбора временных интервалов. На основе полученных значений с помощью методики [4] определяется итоговое значение $R_{\text{факт}}$ с требуемой обеспеченностью, которое рекомендуется принимать в качестве фактического значения сопротивления теплопередаче обследуемой конструкции для теплотехнического расчёта реконструируемых зданий.

Заключение

Описанная методика позволяет определить фактическое сопротивление теплопередаче при квазистационарном режиме теплопередачи. Основным достоинством данной методики является возможность выбора критериев обрабатываемых интервалов и учёт

квазистационарности режима теплопередачи при выбранных критериях путём введения поправки ΔR , вызванной квазистационарностью режима теплопередачи. Это позволяет варьировать точность получаемых результатов путём изменения критериев отбора интервалов с целью получения минимального значения величины поправки ΔR . Данная методика проста в применении и не требует сложных вычислительных операций, что делает её удобной для массового использования при реконструкции зданий с однослойными кирпичными стенами.

Список литературы

1. ГОСТ 26254-84 Здания и сооружения. Методы определения сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций. М.: Изд-во стандартов, 1985.-24 с.
2. Патент РФ № 2010142067/28, 14.10.2010. Зуев В.И., Коршунов О.В., Сенновский Д.В., Троицкий-Марков Р.Т. Способ определения термического сопротивления участка элемента конструкции при нестационарном режиме теплопередачи //Патент России № 2457471. Бюл. № 21.
3. СНиП 23-02–2003 «Тепловая защита зданий». М: Госстрой РФ, 2004.
4. Строительная климатология: Справочное пособие к СНиП. М.: Госстрой СССР, 1989. - 90 с.
5. Федеральный закон «Об энергосбережении и повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» от 23.11.2009 г. № 261-ФЗ;

Рецензенты:

Поздеев А.Г., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой СКиВ ФБГБОУ ВПО ПГТУ, г. Йошкар-Ола;

Алибеков С.Я., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой машиностроения и материаловедения ФБГБОУ ВПО ПГТУ, г. Йошкар-Ола.