

УДК 721:699.86

*ВЯЗОВА ТАТЬЯНА ОЛЕГОВНА, аспирант,**tatiana.vyazova@gmail.com**ОВСЯННИКОВ СЕРГЕЙ НИКОЛАЕВИЧ, докт. техн. наук, профессор,**ovssn@tsuab.ru**Томский государственный архитектурно-строительный университет,**634003, г. Томск, пл. Соляная, 2*

ВЛИЯНИЕ ОБЪЕМНЫХ ТЕПЛОПРОВОДНЫХ ВКЛЮЧЕНИЙ НА РАСЧЕТ ПРИВЕДЕННОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ТЕПЛОПЕРЕДАЧЕ ОГРАЖДАЮЩЕЙ КОНСТРУКЦИИ*

В современных стандартах теплозащиты рассмотрены основные положения методов расчета приведенного сопротивления теплопередаче, которые учитывают плоские, линейные и точечные теплопроводные включения. В работе дается сравнительный анализ результатов расчета приведенного сопротивления теплопередаче с построением двумерных и трехмерных температурных полей. Анализ результатов различных методов расчета приведенного сопротивления теплопередаче показал, что построение двумерных полей дает существенно заниженную картину распределения температуры и значения приведенного сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции. Трехмерные поля описывают фактический размер теплопроводных включений и, следовательно, дают наиболее полную картину распределения температурных полей и значения приведенного сопротивления теплопередаче. При определении приведенного сопротивления теплопередаче следует учитывать объемные теплопроводные включения, сопротивление которых определяется посредством построения трехмерных температурных полей.

Ключевые слова: теплотери здания; сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции; теплопроводные включения; температурные поля.

*TATIANA O. VYAZOVA, Research Assistant,**tatiana.vyazova@gmail.com**SERGEY N. OVSYANNIKOV, DSc, Professor,**ovssn@tsuab.ru**Tomsk State University of Architecture and Building,**2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia*

THERMALLY CONDUCTIVE INCLUSIONS AFFECTING THE ANALYSIS OF REDUCED THERMAL WALL RESISTANCE

The paper presents the main concepts of the analysis of reduced thermal resistance taking into account flat, linear and point-like conductive inclusions. The paper gives a comparative analysis of the calculation results of reduced thermal resistance and the construction of two- and three-dimensional temperature fields. The analysis of calculating results on the reduced thermal resistance shows that the construction of two-dimensional fields gives rather

* Исследование выполнено при финансовой поддержке по проекту Министерства образования и науки Российской Федерации.

an underestimated picture of the temperature distribution and the reduced thermal resistance. Three-dimensional fields describe the actual size of thermally conductive inclusions and provide the most complete picture of the temperature field distribution and reduced thermal resistance. Thermally conductive inclusions should be taken into account in the analysis of reduced resistance which is acquired by the construction of three-dimensional temperature fields.

Keywords: heat loss; wall thermal resistance; thermally conductive inclusions; temperature fields.

Определение приведенного сопротивления теплопередаче ведется согласно СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий». В данном своде правил представлены основные положения методики расчета на основе определения двухмерных температурных полей и приведены примеры их выполнения.

В соответствии с Приложением Е СП 50.13330.2012 расчет приведенного сопротивления теплопередаче основан на представлении фрагмента теплозащитной оболочки здания в виде набора элементов, каждый из которых влияет на тепловые потери через фрагмент.

Сам расчет можно разделить на следующие основные этапы:

- деление теплозащитной оболочки здания на фрагменты;
- расчет удельных потерь теплоты через каждый фрагмент;
- определение количества фрагментов каждого типа;
- расчет приведенного сопротивления теплопередаче.

Приведенное сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции рассчитывается по формуле, приведенной в СП:

$$R_0^{\text{пр}} = \frac{1}{\frac{1}{R_0^{\text{усл}}} + \sum l_j \Psi_j + \sum n_k \chi_k} = \frac{1}{\sum a_i U_i + \sum l_j \Psi_j + \sum n_k \chi_k}, \quad (1)$$

где l_j , n_k – геометрические характеристики элементов, определяемые для конкретного проекта, м/м², 1/м²; Ψ_j , χ_k – удельные потери теплоты через элементы, Вт/(м²·°C), Вт/°C; $R_0^{\text{усл}}$ – осредненное по площади условное сопротивление теплопередаче фрагмента теплозащитной оболочки здания либо выделенной ограждающей конструкции, м²·°C/Вт; U_i – коэффициент теплопередачи однородной i -й части фрагмента теплозащитной оболочки здания (удельные потери теплоты через плоский элемент i -го вида), Вт/(м²·°C); a_i – площадь плоского элемента конструкции i -го вида, приходящаяся на 1 м² фрагмента теплозащитной оболочки здания, или выделенной ограждающей конструкции, м²/м².

На наш взгляд, данный подход приводит к существенной погрешности в расчетах как температурных полей, так и приведенного сопротивления теплопередаче и суммарных теплопотерь по зданию.

Следует отметить, что помимо линейных и точечных теплопроводных включений при оценке энергопотребления здания следует учитывать объемные теплопроводные включения, которые составляют значительную часть теплозащитной оболочки здания [1] (рис. 1).

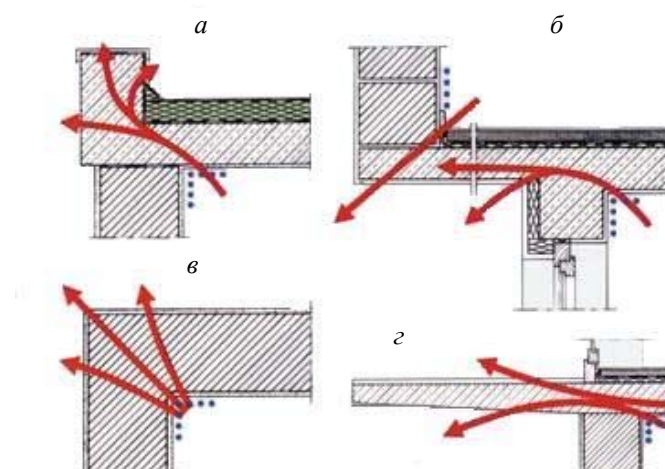


Рис. 1. Виды объемных теплопроводных включений:

а – парапетный узел; *б* – выступающий эркер; *в* – угол здания; *г* – выступающий балкон

К их числу следует отнести: парапетный узел, выступающий эркер, угол здания, выступающий балкон, поскольку тепловой поток происходит не в одной, а в двух или трех плоскостях. Влияние объемных тепловых мостов можно увидеть на термограммах, а также при моделировании температурных полей конструкции в программных комплексах [2]. В качестве примера приведены результаты расчета парапетного узла (рис. 2, 3).

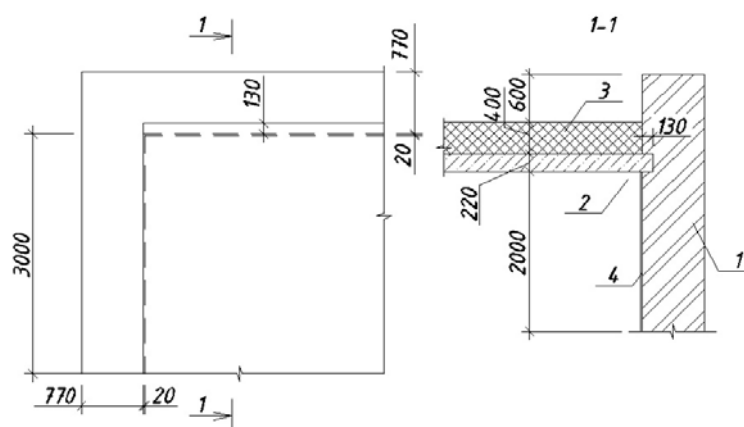


Рис. 2. Расчетный фрагмент парапетного узла:

1 – кирпич керамический – 380 мм; *2* – плита перекрытия – 220 мм; *3* – керамзит – 400 мм; *4* – штукатурный раствор – 20 мм

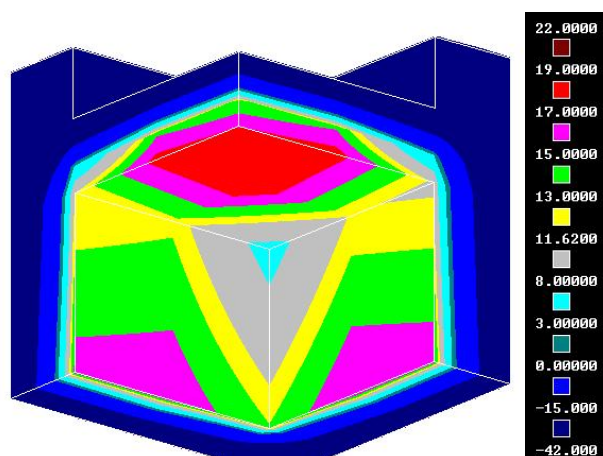


Рис. 3. Распределение температурных полей парапетного узла

Распределение температур по внутренней поверхности угла изменяется от +8 до +19 °С, что требует учета при проектировании и расчете приведенного сопротивления теплопередаче. Для учета влияния объемных теплопроводных включений целесообразно добавить слагаемое в формулу (1), приведенную в СП 50.13330.2012:

$$R_0^{\text{np}} = \frac{1}{\frac{1}{R_0^{\text{np}}} + \sum a_i U_i + \sum l_j \Psi_j + \sum n_k \chi_k}, \quad (2)$$

где R_0^{np} – приведенное сопротивление теплопередаче объемного элемента, рассчитанное трехмерными температурными полями.

При разделении фасада здания на расчетные области, однородные по характеру температурных полей, границы расчетной области рекомендуется определять по [3]:

- 1) в состав объемных температурных включений входят внутренние стены, перегородки, плиты перекрытий длиной до 5 толщин;
- 2) для наружных стен, содержащих выступающие углы, длина стен должна приниматься по осям симметрии или не менее 5 толщин стены в каждую сторону от внутренней поверхности угла.

При необходимости уменьшения размеров рассчитываемой области следует проводить проверку результатов расчета температурного поля путем сопоставления с расчетом по одномерному температурному полю.

Универсальный метод оценки теплозащитных качеств ограждающих конструкций с теплопроводными включениями основан на применении программ расчета двумерных (плоских) и трехмерных (пространственных) температурных полей.

Был проведен анализ результатов расчета сопротивления теплопередаче наружной ограждающей конструкции панели на жестких ребрах (панели 75-й

серии, панели системы «Каскад» и пр.) в разных программных комплексах. Результаты приведены в таблице [4].

Результаты расчета приведенного сопротивления теплопередаче

Программный комплекс	Двухмерные температурные поля		Трехмерные температурные поля	
	ELCUT	HEAT 2D	HEAT 3D	TEMPER-3D
Приведенное сопротивление $R_0, \text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$	2,17 $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$	2,12 $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$	2,49 $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$	2,57 $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$

Анализируя результаты разных методов расчета приведенного сопротивления теплопередаче, можно сделать вывод, что построение двухмерных полей дает существенно заниженную картину распределения температур и значение сопротивления теплопередаче конструкции. Это происходит из-за того, что при задании конструкции теплопроводных включений двухмерными полями они воспринимаются как бесконечные по длине. Трехмерные же поля описывают их реальные размеры и поэтому дают полную картину распределения температурных полей и более точное значение приведенного сопротивления теплопередаче.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Вязова, Т.О. Теплозащитные характеристики наружных стеновых панелей с теплопроводными включениями / Т.О. Вязова, С.Н. Овсянников // Строительные материалы. – 2013. – № 6. – С. 24–27.
2. Кривошеин, А.Д. К вопросу о расчете приведенного сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций / А.Д. Кривошеин, С.В. Федоров // Инженерно-строительный журнал. – 2010. – № 8. – С. 21–27.
3. Табунщиков, А.Д. Тепловая защита ограждающих конструкций зданий и сооружений / А.Д. Табунщиков, Д.Ю. Хромец, Ю.А. Матросов. – М.: Стройиздат, 1986. – 382 с.
4. Овсянников, С.Н. Сравнительный анализ расчетов двухмерных и трехмерных температурных полей ограждающей конструкции / С.Н. Овсянников, Т.О. Вязова // Сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции «Наука и образование в жизни современного общества». – Тамбов, 2013. – Ч. 8. – С. 90–92.

REFERENCES

1. Ovsyannikov S.N., Vyazova T.O. Teplozashchitnye kharakteristiki naruzhnykh stenovykh paneley s teploprovodnyimi vklyucheniymi [Heat-shielding characteristics of exterior wall panels with thermally conductive inclusions]. *Construction Materials*. 2013. No. 6. Pp. 24–27. (rus)
2. Krivoshein A.D., Fedorov S.V. K voprosu o raschete privedennogo soprotivleniya teploperedache ograzhdajushhih konstrukcij [Towards the analysis of reduced thermal resistance]. *Magazine of Civil Engineering*. 2010. No. 8. Pp. 21–27. (rus)
3. Tabunshnikov A.D., Hromec D.Ju., Matrosov Ju.A. Teplovaja zashhita ograzhdajushhih konstrukcij zdaniy i sooruzhenij [Thermal protection of building walls]. Moscow: Stroyizdat Publ., 1986. 382 p. (rus)
4. Ovsyannikov S.N., Vyazova T.O. Sravnitel'nyj analiz raschetov dvuhmernyh i trehmernyh temperaturnyh polej ograzhdajushhej konstrukcii [Comparative analysis of two- and three-dimensional calculation of temperature fields of wall systems]. *Proc. Int. Sci. Conf. 'Science and Education in Modern Society'*, 2013. Pt. 8. Pp. 90–92. (rus)