



Оценка тепло- технической однородности фасада здания при изменении теплопроводности конструктивного слоя

Рецензия эксперта на статью получена
16.10.2018 [Expert review of the article
received October 16, 2018].

В процессе совершенствования имеющейся нормативной базы в области строительства в России была разработана и с 1 июля 2013 года вступила в действие актуализированная редакция СНиП 23-02-2003 «Тепловая защита зданий» — СП 50.13330.2012 (далее — СП 50) [1–4].

Это обстоятельство заставляет изменить подход к теплотехническому расчёту ограждающих конструкций зданий и выбору их требуемого сопротивления теплопередаче. Главным образом это относится к необходимости определять удельные потери теплоты через линейные теплотехнические неоднородности Ψ_j [Вт/(м·К)] и через точечные неоднородности χ_k [Вт/К]. В наиболее сложных случаях это делается по результатам расчёта двухмерного или даже трёхмерного температурного поля узлов конструкций. Аналогичные предложения, методики и рекомендации имеются также и за рубежом, например, в [5–7].

В работах [8–9] исследовалось влияние изменения толщины утеплителя на суммарные дополнительные теплотери через точечные и линейные элементы кон-

струкции наружной стены общественно-го здания. В то же время зависимость её теплотехнической однородности от выбора материала конструктивных слоёв при одном и том же уровне теплозащиты не рассматривалась.

С целью изучения данного вопроса в предлагаемой работе было принято постоянное нормируемое начальное значение приведённого сопротивления стены теплопередаче $R_{0, \text{пр.нач}}^{\text{пр.нач}}$ [м²·К/Вт] для рассматриваемого района строительства, но с различными вариантами теплопроводности $\lambda_{\text{ст}}$ [Вт/(м·К)] непосредственно самого конструктивного слоя.

Влияние изменения толщины утеплителя на суммарные дополнительные теплотери ранее исследовалось в [8–9]. Однако зависимость теплотехнической однородности наружной стены от выбора материала конструктивных слоёв при одном и том же уровне теплозащиты не рассматривалась

УДК 697.1:628.8

Оценка теплотехнической однородности фасада здания при изменении теплопроводности конструктивного слоя

О. Д. Самарин, к.т.н., доцент; М. А. Димитренко, Н. О. Семичева, студенты бакалавриата, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)

Рассмотрен характер изменения дополнительных теплотер через точечные и линейные элементы конструкции фасадов общественных зданий в зависимости от теплопроводности конструктивного слоя в условиях постоянства общего приведённого сопротивления теплопередаче наружной стены. Показаны результаты расчётов коэффициента теплотехнической однородности стены с учётом изменения удельных теплотер через основные элементы, включая дюбели, оконные откосы, стыки стены с плитами перекрытия с перфорацией в соотношении 3:1, выпуклыми углами и примыканиями стены к цокольному ограждению. Произведён анализ полученных данных, представлена их статистическая обработка и физическая интерпретация полученной зависимости. Приведено сравнение результатов с предыдущими исследованиями авторов, в которых в качестве неоднородностей учитывались только дюбели и оконные откосы. Доказано, что дополнительный учёт углов и стыков стен существенного влияния на общую теплотехническую однородность не оказывает.

Ключевые слова: сопротивление теплопередаче, теплопроводность, теплотехническая однородность, точечные и линейные элементы, дополнительные удельные потери теплоты, утеплитель, конструктивный слой.

UDC 697.1:628.8

Evaluation of thermal uniformity of the facade at changing thermal conductivity of the structural layer

O. D. Samarin, PhD, Assistant Professor; M. A. Dimitrenko, N. O. Semicheva, undergraduate students, National Research Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSI)

The nature of changes in additional heat losses through point and linear elements of the facades of public buildings is considered, depending on the thermal conductivity of the structural layer in the conditions of constancy of the total reduced resistance to heat transfer of the outer wall. The results of calculations of the coefficient of thermal uniformity of the wall are shown with changes of the specific heat using the basic elements, including anchors, window apertures, the junctions of walls with floor slabs with perforation at a ratio of 3:1, convex corners and junctions of walls to ground the fence. The analysis of the received data is made, their statistical processing and physical interpretation of the received dependence is presented. The results are compared with previous studies of the authors, in which only dowels and window slopes were taken into account as non-uniformities. It is proved that the additional account of corners and joints of walls of essential influence on the general thermal uniformity does not render.

Key words: thermal resistance, thermal conductivity, thermal uniformity, point and linear elements, additional specific heat loss, insulation, structural layer.

Используемые в качестве исходных данных коэффициенты Ψ_j и χ_k были приняты по СП 230.1325800.2015 «Конструкции ограждающие зданий. Характеристики теплотехнических неоднородностей» (далее — СП 230), где они указываются в таблицах в зависимости от определённых свойств самих ограждений, особенно теплопроводности материалов конструктивного и теплоизоляционного слоёв, сопротивления теплопередаче и некоторых других. Следовательно, при изменении этих величин значения Ψ_j и χ_k тоже в общем случае окажутся переменными.

Заметим ещё, что, поскольку в соответствии с СП 230 значения Ψ_j и χ_k в некоторой степени связаны ещё с термическим сопротивлением слоя утеплителя $R_{ут}$ [м²·К/Вт], а оно до расчёта, вообще говоря, точно неизвестно, при расчётах необходимо использовать метод последовательных приближений. Для этого выбирался ориентировочный начальный уровень коэффициента теплотехнической однородности $r_{нач}$. После этого вычислялось условное сопротивление теплопередаче по глади стены без учёта теплотехнических неоднородностей $R_{0,усл.нач}$ [м²·К/Вт], с помощью которого была определена толщина утеплителя $d_{ут}$ [м] и величина $R_{ут}$, что позволяет уточнить Ψ_j и χ_k .

Затем уже пересчитывалось приведённое сопротивление стены $R_{0,пр}$ [м²·К/Вт], по методике СП 50, а также коэффициент однородности r .

После этого в качестве $r_{нач}$ принимается вычисленная величина r , а вместо $R_{0,пр.нач}$ — вычисленное $R_{0,пр}$, и вычисления повторяются. Такой перерасчёт в некоторых случаях необходимо проводить несколько раз до достижения необходимой точности, оцениваемой по совпадению



Рис. 1. Зависимость величины коэффициента однородности от коэффициента теплопроводности конструктивного слоя для наружной стены здания с учётом всех линейных элементов

значений между последовательными приближениями.

В предлагаемой работе вычисления проводились для наружной стены в здании клуба с залом на 550 мест в городе Курске. Длина и количество теплотехнических неоднородностей, приходящиеся на 1 м² поверхности конструкции, и необходимые для расчёта $R_{0,пр}$ определялись по архитектурным чертежам.

В предлагаемой работе вычисления проводились для наружной стены в здании клуба с залом на 550 мест в городе Курске. Длина и количество теплотехнических неоднородностей определялись по чертежам

Характеристики слоёв наружной стены:

1. Раствор цементно-песчаный, толщина $\delta_1 = 0,02$ м, теплопроводность $\lambda_1 = 0,076$ Вт/(м·К).
2. Конструктивный слой — в зависимости от варианта, $\delta_2 = 0,25$ м, $\lambda_2 = \lambda_{ст}$ — значение менялось в пределах от 0,41 до 1,96 Вт/(м·К).
3. Плиты из пенополистирола, $\lambda_3 = \lambda_{ут} = 0,052$ Вт/(м·К), $\delta_3 = \delta_{ут}$ — по расчёту.
4. Раствор сложный (песок, известь, цемент), $\delta_4 = 0,02$ м, $\lambda_4 = 0,07$ Вт/(м·К).

В качестве линейных элементов учитывались оконные откосы, стыки стены с плитами перекрытия с перфорацией в соотношении 3:1, выпуклые углы и примыкания стены к цокольному ограждению, а за точечные были приняты дюбели, предназначенные для крепления теплоизоляции.

Необходимо отметить, что значение $R_{0,пр}$ зависит главным образом от значения Ψ_j , а уровень χ_k оказывается практически постоянным. Это связано с тем, что для дюбелей данный параметр согласно СП 230 зависит только от их геометрических размеров, а они при незначительном изменении толщины утеплителя, происходящем при замене материала конструктивного слоя в условиях $R_{0,пр} = \text{const}$, практически полностью сохраняются.

Результаты расчёта коэффициента r приведены на рис. 1. Их можно обобщить аппроксимирующей формулой (1):

$$r = 0,02\lambda_{ст}^2 - 0,11\lambda_{ст} + 0,84. \quad (1)$$

Коэффициент корреляции при этом составляет около 0,922, так что установленная зависимость является практически достоверной.





■ Рис. 2. То же, что на рис. 1, но с учётом только дубелей и оконных откосов

Целесообразно сравнить полученные данные с результатами, выявленными авторами ранее в работе [10] с использованием упрощённой методики, когда расчёт производился не для фасада в целом, а для выбранного характерного фрагмента стены, так что в качестве теплотехнических неоднородностей учитывались только дубели и оконные откосы. Соответствующий график представлен на рис. 2. Он достаточно хорошо аппроксимируется формулой (2), для которой коэффициент корреляции составляет около 0,985, то есть даже ещё выше, чем в случае (1):

$$r = 0,03\lambda_{ст}^2 - 0,12\lambda_{ст} + 0,85. \quad (2)$$

Нетрудно заметить, что для рассматриваемого примера существенного статистически значимого расхождения между исследованными вариантами не наблю-

дается. Таким образом, полученные сведения свидетельствуют о том, что основными линейными элементами конструкции фасада, влияющими на изменение приведённого сопротивления стены $R_0^{пр}$ и, следовательно, её коэффициента теплотехнической однородности r , являются оконные откосы.

Это связано с тем, что при большой площади фасада удельная длина остальных линейных элементов, приходящаяся на 1 м² фасада, как правило, незначительна, и поэтому вклад этих элементов в общую неоднородность тоже невелик. В то же время подтверждаются выводы, сделанные в работе [10] относительно общего убывающего характера зависимости r от $\lambda_{ст}$, причём падение r при этом происходит нелинейно, с постепенным замедлением по мере роста $\lambda_{ст}$.

Для рассматриваемого примера существенного статистически значимого расхождения между исследованными вариантами не наблюдается. Итак, основные линейные элементы конструкции фасада, влияющие на изменение приведённого сопротивления стены и её коэффициента теплотехнической однородности, — оконные откосы

Это можно объяснить всё большим искажением температурного поля при увеличении различий в теплопроводности конструктивного и теплоизоляционного слоёв, а также изменениями коэффициентов Ψ_j , которые, по данным СП 230, напрямую зависят от величины $\lambda_{ст}$, испытывая с её увеличением определённое насыщение.

Следовательно, полученные результаты свидетельствуют о том, что в инженерных расчётах для ориентировочной оценки теплотехнической однородности фасадов общественных зданий на этапе принятия основных проектных решений обычно можно пренебречь учётом всех линейных элементов, за исключением оконных откосов. ●

1. Гагарин В.Г., Козлов В.В. Теоретические предпосылки расчёта приведённого сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций // Строительные материалы, 2010. №12. С. 4–12.
2. Гагарин В.Г., Козлов В.В. Требования к теплозащите и энергетической эффективности в проекте актуализированного СНиП «Тепловая защита зданий» // Жилищное строительство, 2011. №8. С. 2–6.
3. Гагарин В.Г., Козлов В.В. О нормировании теплозащиты и требованиях расхода энергии на отопление и вентиляцию в проекте актуализированной редакции СНиП «Тепловая защита зданий» // Вестник ВолгГАСУ. Серия: Строительство и архитектура, 2013. №31-2. С. 468–474.
4. Гагарин В.Г., Дмитриев К.А. Учёт теплотехнических неоднородностей при оценке теплозащиты ограждающих конструкций в РФ и европейских странах // Строительные материалы, 2013. №6. С. 14–16.
5. THERM. Two-Dimensional Building Heat-Transfer Modeling. Web-source: windows.lbl.gov. Access date: Mart 04, 2017.
6. Tae Sup Yun, Yeon Jong Jeong, Tong-Seok Han, Kwang-Soo Youm. Evaluation of thermal conductivity for thermally insulated concretes. Energy and Buildings. 2013. No. 61. Pp. 125–132.
7. Pailho S., Abdurafikov R., Hoang H. Cost analyses of energy-efficient renovations of a Moscow residential district. Sustainable Cities and Society. 2015. Vol. 14. No. 1. Pp. 5–15.
8. Самарин О.Д., Швеченкова И.С. Оценка теплотехнической однородности фасада здания при изменении толщины утеплителя // Журнал С.О.К., 2016. №5. С. 91–92.
9. Самарин О.Д., Швеченкова И.С. Влияние толщины утеплителя на теплотехническую однородность фасадов общественных зданий // Монтажные и специальные работы в строительстве, 2016. №11. С. 22–24.
10. Димитренко М.А., Семичева Н.О. Оценка теплотехнической однородности наружной стены при изменении теплопроводности конструктивного слоя: Сб. докл. конф. «Дни студенческой науки». — М.: Изд-во МИСИ-МГСУ, 2018. С. 202–205. References — see page 95.



Evaluation of thermal uniformity of the facade at changing thermal conductivity of the structural layer. Pp. 65–67.

O.D. Samarin, PhD, Assistant Professor; M.A. Dimitrenko, N.O. Semicheva, undergraduate students, National Research Moscow State University of Civil Engineering

1. Gagarin V.G., Kozlov V.V. *Teoreticheskie predposylki rascheta privedennogo soprotivleniya teploperedache ogradhajushhih konstrukcij* [Theoretical reasons for calculation of reduced thermal resistance of building enclosures]. *Stroitel'nye materialy* ["Construction materials" Magazine]. 2010. No. 12. Pp. 4–12.
2. Gagarin V.G., Kozlov V.V. *Trebovaniya k teplozashchite i jenergeticheskoj jeffektivnosti v proekte aktualizirovannogo SNiP "Teplovaja zashchita zdaniy"* [The requirements to the thermal performance and energy efficiency in the project of the actualized SNiP "Thermal performance of the buildings"]. *Zhilishhnoe stroitel'stvo* ["Residential construction" Magazine]. 2011. No. 8. Pp. 2–6.
3. Gagarin V.G., Kozlov V.V. *O normirovanii teplozashchity i trebovaniyah rashoda jenerгии na otoplenie i ventiljaciju v proekte aktualizirovannoj redakcii SNiP "Teplovaja zashchita zdaniy"* [About rationing thermal protection requirements and energy consumption for heating and ventilation in the project version of the updated SNiP "Thermal Protection of Buildings"]. *Vestnik VolgGASU. Serija: Stroitel'stvo i arhitektura* [Proc. of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Construction and architecture]. 2013. No. 31–2. Pp. 468–474.
4. Gagarin V.G., Dmitriev K.A. *Uchet teplotnicheskikh neodnorodnostej pri ocenke teplozashchity ogradhajushhih konstrukcij v Rossii i evropejskih stranah* [Account of thermal non-uniformities during estimation of thermal performance of building enclosures in Russia and European countries]. *Stroitel'nye materialy* ["Construction materials" Magazine]. 2013. No. 6. Pp. 14–16.
5. THERM. Two-Dimensional Building Heat-Transfer Modeling. Web-source: windows.lbl.gov. Access date: Mart 04, 2017.
6. Tae Sup Yun, Yeon Jong Jeong, Tong-Seok Han, Kwang-Soo Youm. Evaluation of thermal conductivity for thermally insulated concretes. *Energy and Buildings*. 2013. No. 61. Pp. 125–132.
7. Paiho S., Abdurafikov R., Hoang H. Cost analyses of energy-efficient renovations of a Moscow residential district. *Sustainable Cities and Society*. 2015. Vol. 14. No. 1. Pp. 5–15.
8. Samarin O.D., Shvechenkova I.S. *Otzenka teplotnicheskoi odnorodnosti fasada zdaniya pri izmenenii tolshhiny uteplitelja* [Assessment of thermal uniformity of the facade of the building when changing the thickness of the insulation]. *Zhurnal Santehnika, otoplenie, kondicionirovanie (S.O.K.)* [Journal of Plumbing, Heating, Ventilation]. 2016. No. 5. Pp. 91–92.
9. Samarin O.D., Shvechenkova I.S. *Vlijanie tolshhiny uteplitelja na teplotnicheskiju odnorodnost' fasadov obshchestvennyh zdaniy* [Effect of insulation thickness on thermal uniformity of facades of public buildings]. *Montazhnye i special'nye raboty v stroitel'stve* ["Installation and special works in construction" Magazine]. 2016. No. 11. Pp. 22–24.
10. Dimitrenko M.A., Semicheva N.O. *Otzenka teplotnicheskoi odnorodnosti naruzhnoj steny pri izmenenii teploprovodnosti konstruktivnogo sloja* [Assessment of thermal uniformity of the outer wall when the thermal conductivity of the structural layer]. *Sb. dokl. konf. "Dni studentcheskoj nauki"* [Proc. of the "Days of student science" conference]. Moscow. *Izd-vo MISI-MGSU* [Publishers of National Research Moscow State University of Civil Engineering]. 2018. Pp. 202–205.