

Зависимость теплотехнической однородности наружных стен жилых зданий от их геометрических характеристик и климатических параметров

Рецензия эксперта на статью получена
03.03.2020 [Expert review on the article
received on Mart 3, 2020].

Задача оценки влияния дополнительных потерь теплоты через точечные и линейные неоднородности в конструкциях наружных стен в различных районах строительства для разных групп зданий является весьма актуальной, поскольку подобные подходы к расчёту значительно расширяют возможности по разработке энергосберегающих и одновременно экономически эффективных ограждающих конструкций. Этот вопрос в настоящее время затрагивается в публикациях многих авторов [1–4]. Теоретические предположения такого рода расчётов можно найти, в частности, в такой классической работе, как [5], хотя широкое применение они смогли найти только сейчас, в связи с распространением быстродействующих ЭВМ. В последнее время в нашей стране и за рубежом появляется ряд других работ, например, [6–8], где оценка теплопотребности зданий и теплопотерь через их ограждающие конструкции решается несколько в иной плоскости — в первую очередь с учётом динамического режима и текущих теплопоступлений на основе компьютерного моделирования, однако для инженерных расчётов такие модели пока являются достаточно сложными.

Основными нормативными документами РФ, содержащими методику учёта теплотехнических неоднородностей ограждающих конструкций, являются Свод Правил 50.13330.2012 «Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003 «Тепловая защита зданий»» (с Изм. №1) [СП 50] и Свод Правил 230.1325800.2015 «Конструкции ограждающие зданий. Характеристики теплотехнических неоднородностей» (с Изм. №1) [СП 230].

Оценка влияния дополнительных потерь теплоты через точечные и линейные неоднородности в конструкциях наружных стен в различных районах строительства для разных групп зданий весьма актуальна

Проведём исследование зависимости теплотехнической однородности наружных ограждений жилых зданий от их геометрических характеристик для трёх районов строительства, а именно Москвы, а также Махачкалы и Красноярска, как представителей наиболее северных и южных городов на территории России, поскольку они сильно отличаются по своим климатическим параметрам.

Расчёты проводились для 15 жилых зданий, имеющих различную геометрию и этажность. Их отапливаемый объём находился в пределах от 30 тыс. до 100 тыс. м³. Геометрические параметры (размеры стен, окон, протяжённость линейных и точечных неоднородностей) зданий принимались по существующим строительным чертежам. Целью работы является установление зависимости между коэффициентом теплотехнической однородности наружной стены и геометрическими характеристиками исследуемых объектов, а также количеством градусо-суток отопительного периода для вышеперечисленных городов:

$$ГСОП = (t_B - t_{от})z_{от},$$

где $t_{от}$ и $z_{от}$ — соответственно, средняя температура наружного воздуха за отопительный период [°C] и его продолжительность [сут/год], которые принимаются

УДК 697.1. Научная специальность: 05.23.03.

Зависимость теплотехнической однородности наружных стен жилых зданий от их геометрических характеристик и климатических параметров

О. Д. Самарин, к.т.н., доцент; **М. З. Полякова**, студент магистратуры, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)

Рассмотрена оценка влияния дополнительных потерь теплоты через точечные и линейные элементы в конструкциях наружных стен для группы жилых зданий в различных районах строительства в пределах РФ. Получены корреляционные зависимости для коэффициента теплотехнической однородности от коэффициентов компактности и сплюснутости зданий. Показано, что для исследованной группы объектов данные зависимости являются возрастающими с достаточно высокими коэффициентами корреляции, так как вклад дополнительных теплопотерь через неоднородности при этом растёт, а отапливаемый объём не является значимым фактором. Выявлена взаимосвязь аппроксимирующих коэффициентов этих зависимостей и градусо-суток отопительного периода в районе строительства и обнаружено, что в условиях более сурового климата теплотехническая однородность конструкций ухудшается, поскольку повышается относительная доля тепловой проводимости точечных и линейных элементов.

Ключевые слова: теплотехническая однородность, точечные и линейные элементы, коэффициент компактности, отапливаемый объём, градусо-сутки, корреляция.

UDC 697.1. The number of scientific speciality: 05.23.03.

Dependence of thermal uniformity of external walls of residential buildings on their geometric characteristics and climatic parameters

O. D. Samarin, PhD, Associate Professor; **M. Z. Polyakova**, post-graduate student, National Research University Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU)

The paper considers the assessment of the effect of additional heat losses through point and linear elements in external wall structures for a group of residential buildings in various construction areas within the Russian Federation. Correlation dependences for the coefficient of thermal uniformity on the coefficients of compactness and flatness of buildings are obtained. It is shown that for the studied group of objects, these dependencies are increasing with sufficiently high correlation coefficients, since the contribution of additional heat losses through inhomogeneities increases, and the heated volume is not a significant factor. The relationship between the approximating coefficients of these dependencies and the degree-day of the heating period in the construction area was revealed. It was found that in a more severe climate, the thermal uniformity of structures deteriorates, since the relative share of the thermal conductivity of point and linear elements increases.

Key words: thermal uniformity, point and linear elements, coefficients of compactness, heated volume, degree-day, correlation.

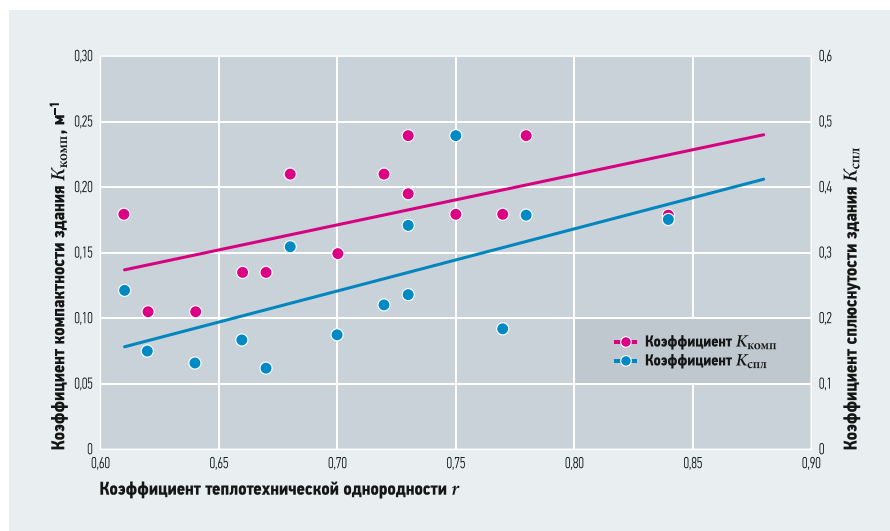


Рис. 1. Взаимозависимость коэффициента теплотехнической однородности и коэффициентов компактности и сплюснутости здания

по СП 131.13330.2012 «Строительная климатология. Актуализированная редакция СНиП 23-01-99*»; t_v — средняя температура внутреннего воздуха в здании по ГОСТ 30494-2011 «Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях». В качестве геометрических параметров зданий приняты:

- расчётный показатель коэффициента компактности здания $[m^{-1}]$, определяемый как $K_{комп} = A_{сум}/V_{от}$, где $A_{сум}$ — общая площадь внутренних поверхностей наружных ограждающих конструкций; $V_{от}$ — отапливаемый объём здания, равный объёму, ограниченному внутренними поверхностями наружных ограждений здания, m^3 ;
- коэффициент сплюснутости $K_{спл}$ [9,10], то есть отношение суммы площадей пола над подвалом и покрытия (или чердачного перекрытия) к сумме площадей фасадов (стен с окнами).

В табл. 1 в качестве примера приведены данные вычислений по методике Приложения Е СП 50 для одного из исследованных зданий в городе Москве. Его отапливаемый объём равен $87782 m^3$, коэффициент сплюснутости — 0,151, а коэффициент компактности — 0,17.

Аналогичным образом были проведены расчёты и для остальных объектов, результаты которых позволили установить взаимосвязь между величиной r и такими параметрами, как $V_{от}$, $K_{комп}$ и $K_{спл}$. Так же, как и в работах [9,10], относящихся к общественным зданиям, были построены соответствующие поля корреляции, и на них обозначались линии тренда.

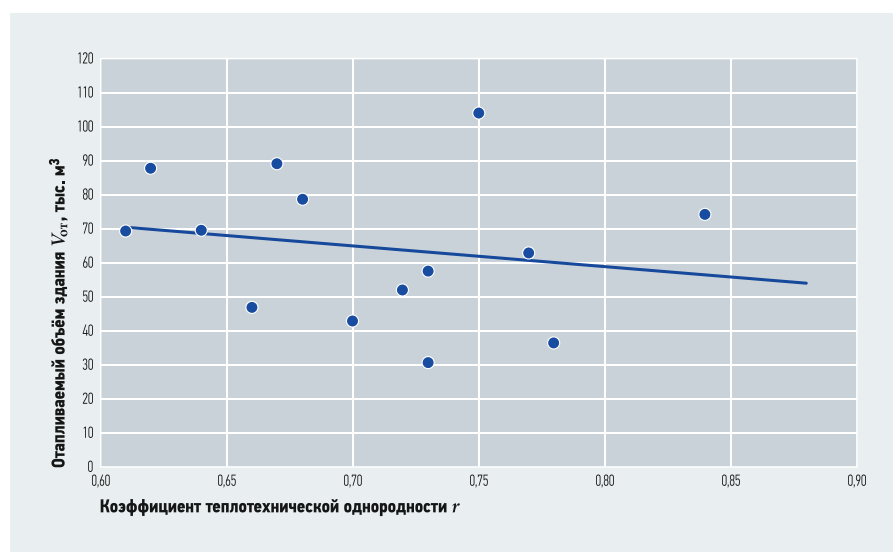


Рис. 2. Зависимость коэффициента теплотехнической однородности от отапливаемого объёма

Сводная таблица тепловых потоков через теплопроводные включения и узлы

табл. 1

Вид неоднородности	Суммарная протяжённость линейных элементов, м	Удельная длина l_j $[m/m^2]$ или кол-во точечных элементов n_k , шт/ m^2	Значение величины доп. теплового потока ψ_j $[Вт/(м·К)]$ или χ_{k1} , Вт/К (по СП 230)	Доп. потери теплоты через узлы (произведение значений в кол. 3 и 4), Вт/ $(м^2·К)$
1	2	3	4	5
Тарельчатые дюбели, шт.	—	6	0,005	0,030
Оконные откосы, м	12499	0,9761	0,104	0,102
Углы вогнутые / выпуклые, м	372,52 / 0	0,0291 / 0,0	−0,26 / 0,085	−0,008 / 0,0
Примыкание к фундаменту / к кровле, м	134,4 / 134,4	0,0105 / 0,0105	0,086 / 0,086	0,001 / 0,001
$\Delta K = \sum(\psi_j l_j) + \sum(\chi_{k1} n_k)$ — сумма по кол. 5, то есть общая удельная тепловая проводимость точечных и линейных элементов, Вт/ $(м^2·К)$				0,126
Требуемое сопротивление стены теплопередаче по величине ГСОП $R_{пр}$, $m^2·К/Вт$				2,99
Требуемый коэффициент теплопередачи стены $K = 1/R_{пр}$, Вт/ $(м^2·К)$				0,33
Удельная тепловая проводимость по глади стены $U_{тр} = K - \Delta K$, Вт/ $(м^2·К)$				0,208
Коэффициент теплотехнической однородности $r = U_{тр}/K$				0,62

Это говорит о том, что отопляемый объём для рассматриваемой группы зданий практически никак не влияет на величину теплотехнической однородности. Данный результат подтверждает выводы, сделанные ранее в работах [9,10].

Такие же расчёты были проведены и для климатических условий Красноярска и Махачкалы. По их результатам были получены соответствующие корреляционные зависимости, а также средние значения величины r для всей группы исследуемых зданий, что позволило установить его связь с основной характеристикой наружного климата — параметром ГСОП. Соответствующее поле корреляции и линия тренда представлены на рис. 3. Она очень хорошо аппроксимируется зависимостью вида $y = 3,18 \times 10^{-5}x + 0,862$.

На основании вышеизложенного можно сделать вывод, что коэффициент теплотехнической однородности будет иметь меньшее значение в северных городах, соответственно, необходимая толщина утеплителя будет расти быстрее, чем требуемое сопротивление теплопередаче исходя из ГСОП, что можно объяснить тем, что в северных широтах повышается относительная доля тепловой проводимости точечных и линейных элементов в конструкции стены.

Представляет интерес также связь числовых коэффициентов A и B линий тренда для наиболее выраженной корреляции r и $K_{\text{спл}}$ с климатическими параметрами

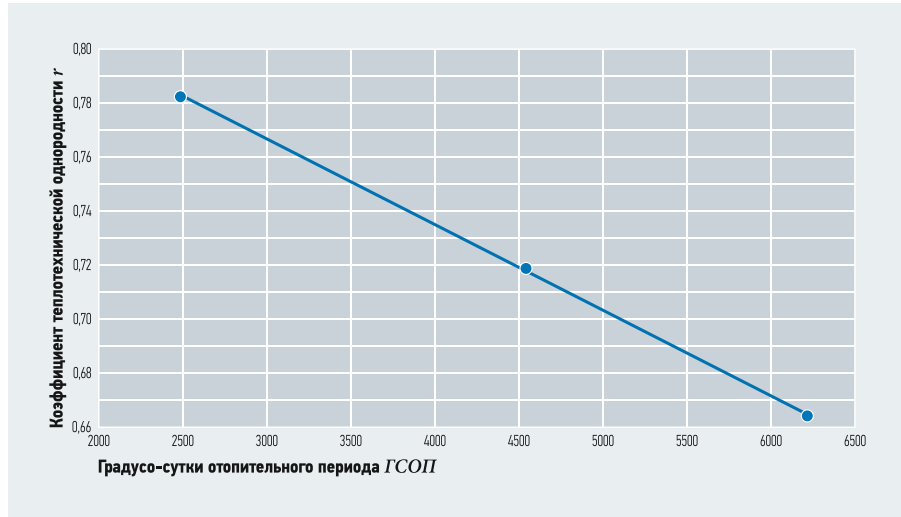


Рис. 3. Средние значения коэффициента теплотехнической однородности в зависимости от ГСОП

рами района строительства, определяемыми величиной ГСОП. В табл. 2 представлены полученные по результатам расчётов значения A и B для климатических условий городов, использованных в работе. Аналогичным образом находим их связь с ГСОП, графически изображённую на рис. 4. Соответствующие уравнения, описывающие эти зависимости: для коэффициента A : $y = -0,0001x + 1,47$; для коэффициента B : $y = 0,0001x - 0,95$.

Коэффициент теплотехнической однородности будет меньше в северных городах. Необходимая толщина утеплителя будет расти быстрее, чем требуемое сопротивление теплопередаче

При этом по сравнению с Москвой связь r и $K_{\text{спл}}$ будет менее значима в более северных районах, откуда следует, что в этом случае коэффициент сплюснутости меньше влияет на величину коэффициента теплотехнической однородности.

Таким образом, в развитие работ [9,10], в которых был сделан вывод о том, что определяющим геометрическим параметром, оказывающим наибольшее влияние на теплотехническую однородность наружных ограждений здания, служит именно коэффициент компактности, можно сделать вывод, что для жилых зданий и коэффициент сплюснутости также заметно влияет на величину r . Полученные зависимости имеют достаточно простой вид и пригодны для оценочных расчётов в практике проектирования. ●

Рис. 4. Параметры корреляционных зависимостей r от $K_{\text{спл}}$ при различных ГСОП

табл. 2

Город	ГСОП	A	B
Москва	4551	0,9501	-0,4237
Махачкала	2491	1,1862	-0,6694
Красноярск	6221	0,756	-0,2432

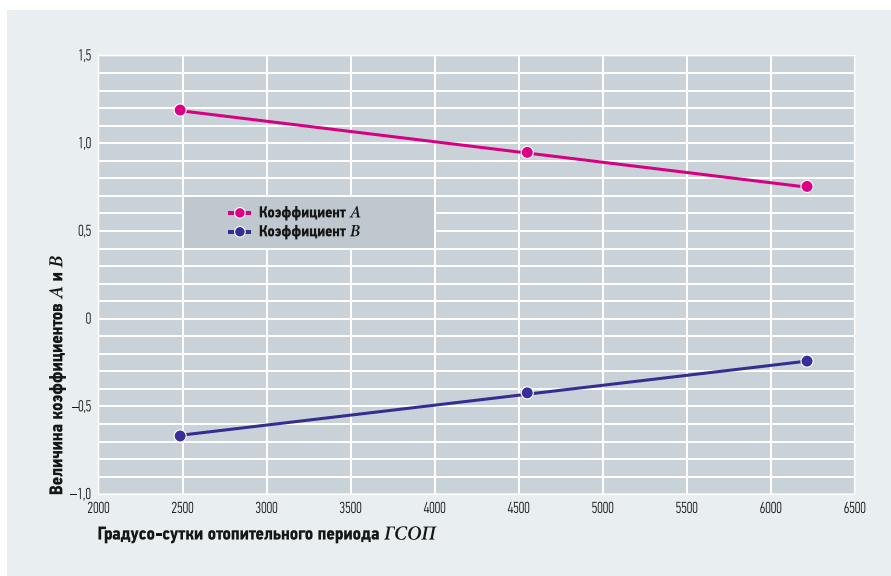


Рис. 4. Взаимосвязь параметров A и B в корреляционных зависимостях r от $K_{\text{спл}}$ и ГСОП

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., Дмитриев К.А. Учёт теплотехнических неоднородностей при оценке теплозащиты ограждающих конструкций в России и европейских странах // Строительные материалы, 2013. №6. С. 14–16.
3. Гагарин В.Г., Пастушков П.П. Об оценке энергетической эффективности энергосберегающих мероприятий // Инженерные системы, 2014. №2. С. 26–29.
4. Винский П.В. Использование СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий» при проектировании общественных зданий // Журнал С.О.К., 2018. №2. С. 84–87.
5. Фокин К.Ф. Строительная теплотехника ограждающих частей здания / Под ред. Ю.А. Табунщикова, В.Г. Гагарина. Изд. 5-е. — М.: АВОК-Пресс, 2006. 256 с.
6. Дорошенко А.В. Имитационная термодинамическая модель здания // БСТ, 2017. №12. С. 42–43.
7. De Rosa M., Bianco V., Scarpa F., Tagliafico L.A. Modeling of energy consumption in buildings: an assessment of static and dynamic models. Russian Journal of Construction Science and Technology. 2016. Vol. 2. No. 1. Pp. 12–24.
8. Horikiri K., Yao Y., Yao J. Modelling conjugate flow and heat transfer in a ventilated room for indoor thermal comfort assessment. Building and Environment. 2014. No. 77. Pp. 135–147.
9. Самарин О.Д., Насонова Е.О. Исследование зависимости теплотехнической однородности наружных ограждений от геометрических характеристик зданий // Жилищное строительство, 2016. №1–2. С. 19–22.
10. Самарин О.Д., Насонова Е.О. Зависимость теплотехнической однородности наружных ограждений от геометрии здания для различных климатических районов // Фасадные системы, 2016. №1. С. 40–42.

References — see page 79.

Dependence of thermal uniformity of external walls of residential buildings on their geometric characteristics and climatic parameters. Pp. 52–54.

Oleg D. Samarin, PhD, Associate Professor; **Marina Z. Polyakova**, post-graduate student, National Research University Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU)

1. V.G. Gagarin, V.V. Kozlov. *Teoreticheskie predposylki rascheta privedennogo soprotivlenija teploperedache ograzhdajushhih konstrukcij* [Theoretical background for calculating the reduced heat transfer resistance of building envelopes]. *Stroitel'nye materialy* ["Construction materials" Magazine]. 2010. No. 12. Pp. 4–12. [In Russian]
2. V.G. Gagarin, K.A. Dmitriev. *Uchet teplotehnicheskikh neodnorodnostej pri ocenke teplozashchity ograzhdajushhih konstrukcij v Rossii i evropejskix stranah* [Consideration of heat engineering heterogeneities in the assessment of thermal protection of building envelopes in Russia and European countries]. *Stroitel'nye materialy* ["Construction Materials" Magazine]. 2013. No. 6. Pp. 14–16. [In Russian]
3. V.G. Gagarin, P.P. Pastushkov. *Ob ocenke jenergeticheskoj jeffektivnosti jenergosberegajushhih meroprijatij* [On the assessment of energy efficiency of energy-saving measures]. *Inzhenernye sistemy: AVOK-Severo-Zapad* [Engineering systems: "Russian Association of Engineers for Heating, Ventilation, Air-Conditioning, Heat Supply and Building Thermal Physics" Non-government Public Organization (ABOK-North-West)]. 2014. No. 2. Pp. 26–29. [In Russian]
4. P.V. Vinskij. *Ispol'zovanie SP 50.13330.2012 "Teplovaja zashhita zdaniy" pri proektirovanii obshhestvennyh zdaniy* [The use of The Code of Practice on Design and Construction (The Code of Practice) No. 50.13330.2012 "Thermal protection of buildings" in the design of public buildings]. *Zhurnal Santehnika, otoplenie, kondicionirovanie (S.O.K.)* [Journal of Plumbing, Heating, Ventilation]. 2018. No. 2. Pp. 84–87. [In Russian]
5. K.F. Fokin. *Stroitel'naja teplotehnika ograzhdajushhih chastej zdaniya* [Construction heat engineering of enclosing parts of the building]. Edited by Ju.A. Tabunshhikov, V.G. Gagarin. 5th edition. Moscow. AVOK-Press [Publishing House of the Russian Association of Engineers for Heating, Ventilation, Air-Conditioning, Heat Supply and Building Thermal Physics ("ABOK-Press")]. 2006. 256 p. [In Russian]
6. A.V. Doroshenko. *Imitacionnaja termodinamicheskaja model' zdaniya* [Simulation thermodynamic model of a building]. *Bjulleten' stroitel'noj tehniki (BST)* ["Bulletin of construction equipment" Magazine]. 2017. No. 12. Pp. 42–43. [In Russian]
7. M. De Rosa, V. Bianco, F. Scarpa, L.A. Tagliafico. Modelling of energy consumption in buildings: an assessment of static and dynamic models. *Russian Journal of Construction Science and Technology*. 2016. Vol. 2. No. 1. Pp. 12–24.
8. K. Horikiri, Y. Yao, J. Yao. Modelling conjugate flow and heat transfer in a ventilated room for indoor thermal comfort assessment. *Building and Environment*. 2014. No. 77. Pp. 135–147.
9. O.D. Samarin, E.O. Nasonova. *Issledovanie zavisimosti teplotehnicheskoj odnorodnosti naruzhnyh ograzhdenij ot geometricheskix harakteristik zdaniy* [The study of the dependence of the thermal engineering uniformity of the external fencing on the geometric characteristics of buildings]. *Zhilishhnoe stroitel'stvo* ["Housing construction"]. 2016. No. 1–2. Pp. 19–22. [In Russian]
10. O.D. Samarin, E.O. Nasonova. *Zavisimost' teplotehnicheskoj odnorodnosti naruzhnyh ograzhdenij ot geometrii zdaniya dlja razlichnyh klimaticheskix rajonov* [The dependence of the thermal engineering uniformity of the external fencing on the geometry of the building for various climatic regions]. *Fasadnye sistemy* ["Facade systems" Magazine]. 2016. No. 1. Pp. 40–42. [In Russian]