

ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ, ВЕНТИЛЯЦИЯ, КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ВОЗДУХА, ГАЗОСНАБЖЕНИЕ И ОСВЕЩЕНИЕ

УДК 536:21:674.038:699.86

DOI: 10.31675/1607-1859-2019-21-5-127-137

А.Н. КОЗЛОБРОДОВ, Е.А. ИВАНОВА,

Томский государственный архитектурно-строительный университет

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НАГРЕВАТЕЛЬНОГО КАБЕЛЯ НА ТЕПЛОВОЕ СОСТОЯНИЕ ОГРАЖДАЮЩЕЙ КОНСТРУКЦИИ В ОБЛАСТИ НАРУЖНОГО УГЛА

Известно, что теплонапряженные элементы (ТНЭ) оказывают большое влияние на теплотехнические характеристики ограждающих конструкций и способствуют увеличению теплопотерь здания. Основным последствием работы ТНЭ является понижение температуры на внутренней поверхности ограждений, примыкающих к проблемной области. Кроме увеличения теплопотерь здания, ТНЭ повышают вероятность образования конденсата на внутренней поверхности ограждений, что приводит к возникновению плесени. Это одна из причин, которая показывает, что моделирование ТНЭ – очень важный этап проектирования. В статье рассмотрено влияние нагревательного кабеля на теплотехнические свойства многослойных ограждающих конструкций в зоне наружного угла здания. С помощью программного комплекса ANSYS проведено исследование влияния кабеля на процессы теплопереноса в зоне теплонапряженного элемента. Дана количественная оценка теплового состояния типичных фрагментов ограждающих конструкций в экстремальных условиях теплообмена. Предложены мероприятия, с помощью которых можно повысить температуру в области теплонапряженных элементов и понизить их негативное воздействие.

Ключевые слова: теплонапряженные элементы; теплоперенос; тепловые потери; энергоэффективность; нагревательный кабель.

Для цитирования: Козлобродов А.Н., Иванова Е.А. Исследование влияния нагревательного кабеля на тепловое состояние ограждающей конструкции в области наружного угла // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2019. Т. 21. № 5. С. 127–137.

DOI: 10.31675/1607-1859-2019-21-5-127-137

A.N. KOZLOBRODOV, E.A. IVANOVA,

Tomsk State University of Architecture and Building

WALLING THERMAL PROPERTIES INFLUENCED BY HEAT-STRESSED ELEMENTS IN EXTERNAL CORNER AREA

It is known that heat-stressed elements greatly affect the thermal properties of walling and contribute to the heat losses of a building. Heat-stressed elements decrease the temperature on

the inner walling surface adjacent to the external corners. In addition to increasing heat losses, heat-stressed elements increase the condensation on the inner walling surface leading to mold appearance. This is one of the reasons that shows that the modeling of heat-stressed elements is a very important design stage. The article discusses the effect from these elements on thermal properties of multilayer walling in the external corner of a building. Using the ANSYS software package, the influence of heat-stressed elements on the heat transfer processes is modeled in the external corner area. A quantitative assessment of the thermal state of typical walling fragments under extreme heat-transfer conditions is given. The obtained research results can be used to increase the temperature in the area of heat-stressed elements and reduce their negative impact.

Keywords: heat-stressed elements, heat transfer, thermal losses, energy efficiency, heating cable.

For citation: Kozlobrodov A.N., Ivanova E.A. Issledovanie vliyaniya nagrevatel'nogo kabelya na teplovoe sostoyanie ograzhdayushchei konstruktсии v oblasti naruzhnogo ugla [Walling thermal properties influenced by heat-stressed elements in external corner area]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2019. V. 21. No. 5. Pp. 127–137.

DOI: 10.31675/1607-1859-2019-21-5-127-137

Энергосбережение в настоящий момент является одним из приоритетных направлений деятельности любого государства. Поэтому снижение потребления тепловых ресурсов является важнейшей государственной задачей. Один из путей снижения энергопотребления – это увеличение уровня тепловой защиты зданий. Следовательно, большое внимание необходимо уделять энергоэффективным технологиям и энергосберегающим мероприятиям [1–5]. При проведении ремонта или нового строительства использование современных строительных материалов должно стать основной тенденцией [6, 7]. Но на этапе проектирования необходимо производить точные расчеты, чтобы избежать возможного разрыва между проектным и фактическим уровнем энергопотребления [8].

В последние несколько лет серьезные усилия и ресурсы были вложены в разработку и реализацию новых энергоэффективных конструкций. Оболочка здания – это физическая граница между внешней средой и его внутренней частью, и при правильном использовании она может эффективно снизить потребность в энергии. Тем не менее прогнозирование теплового поведения здания является сложным вопросом, поскольку на него влияет множество различных параметров, таких как тип ограждающих конструкций, форма здания, его ориентация, а также климатические данные региона и т. д. [9].

Большой опыт строительства сооружений с многослойными наружными ограждениями показывает, что при принятых проектных решениях в соответствии с нормативными требованиями теплотехнические свойства наружных ограждений под влиянием внешних и внутренних факторов не соответствуют действующим нормам [10]. Такое несоответствие происходит из-за так называемых теплонапряженных элементов (ТНЭ) [11]. ТНЭ – это области сопряжения конструктивных элементов ограждающей конструкции с пониженным термическим сопротивлением, которые возникают вследствие теплотехнической неоднородности.

Одним из наиболее характерных ТНЭ является наружный угол здания, который возникает вследствие архитектурно-конструктивных особенностей. ТНЭ данного типа характеризуются тем, что площадь внутренней тепловоспринимающей поверхности ограждающей конструкции меньше, чем площадь теплоотдающей наружной.

Как следствие это приводит к тому, что в области углов происходит более интенсивная передача тепла, которая в таких конструкциях характеризуется двух- или трехмерными тепловыми потоками, в связи с чем через такой строительный элемент на единицу площади поверхности проходит больше теплоты, чем через другие ограждающие конструкции здания.

Оценка влияния геометрических параметров угла здания на характер передачи теплоты и распространения температуры изучена в работе [12]. Для оценки влияния этих факторов авторами был выполнен расчет температурных полей и найдены температуры наружных углов с шагом 15° , также введен коэффициент, характеризующий зависимость температуры внутренней поверхности угла от его геометрии.

В работе [13] авторы показывают, что происходит значительное снижение термического сопротивления теплопередаче в зоне ограждений, примыкающих к наружному углу.

Кроме увеличения тепловых потерь, ТНЭ повышают вероятность образования конденсата на внутренней поверхности ограждений, что приводит к возникновению плесени. В связи с этим необходимо принимать меры по устранению ТНЭ.

В работе [14] автор предлагает простейшие конструктивные мероприятия для снижения разности температур в углу и в прилегающей области на внутренней поверхности стены, связанные с дополнительной изоляцией угловой зоны путем скругления. Также убрать негативное влияние ТНЭ можно с помощью нагревательного кабеля, проложенного в углу ограждающей конструкции [15].

В настоящей работе моделирование теплового состояния элемента наружного ограждения проводится с помощью программного комплекса ANSYS Workbench [16, 17] для фрагментов домов, построенных по различным технологиям: кирпичное домостроение, технологии монолитного домостроения со съемной опалубкой из керамзитобетона с вертикальными утепляющими вставками и несъемной опалубкой по технологии VELOX. В качестве элементов конструкции было выбрано 3 типа угловых фрагментов (рис. 1).

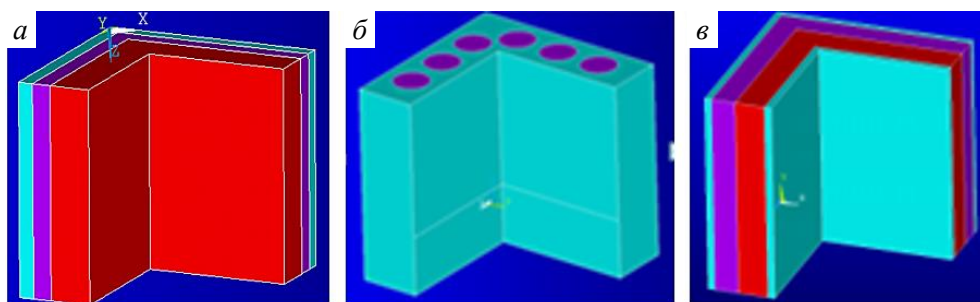


Рис. 1. Варианты угловых фрагментов

В представленных фрагментах рассматривается стационарный пространственный теплоперенос в декартовой системе координат. Процесс теплопереноса описывается системой нелинейных стационарных трехмерных уравнений теплопроводности. Количество уравнений равно числу всех входящих в нее элементов (n) с соответствующими граничными условиями [19].

При решении задачи считаются заданными геометрические размеры элементов ограждающей конструкции и их теплофизические характеристики, которые в общем случае могут зависеть от температуры. Задаются температуры наружного t_{ext} и внутреннего t_{int} воздуха, коэффициенты теплоотдачи на наружной α_{ext} и внутренней α_{int} поверхностях.

В соответствии с нормативными документами температуры наружного и внутреннего воздуха принимаются соответственно равными -39 и $+23$ °С, а коэффициенты теплоотдачи наружных и внутренних сторон соответственно $\alpha_{ext} = 23$ Вт/(м²·°С) и $\alpha_{int} = 8,7$ Вт/(м²·°С). Кроме того, для учета применения нагревательного кабеля необходимо задать мощность его тепловыделения, которая в расчетах варьировалась в диапазоне от 1000 до 5000 Вт/м³.

Характеристика ограждающей конструкции

Наименование слоя	Толщина δ , м	Коэффициент теплопроводности λ , Вт/(м·°С)
Стена из кирпича		
Облицовочный кирпич	0,12	0,81
Утеплитель	0,15	0,06
Рядовой кирпич	0,38	0,93
Стена из керамзитобетона		
Керамзитобетон	0,5	0,52
Утепляющие вставки	0,3	0,04
Стена по технологии VELOX		
ЩЦП	0,035	0,12
Утеплитель	0,15	0,04
Бетон	0,15	2,04

Целью численных экспериментов является определение влияния нагревательного кабеля, расположенного в углу рассматриваемых фрагментов конструкции, на характер изменения температурного поля, поля плотности теплового потока и градиента температуры.

Для того чтобы оценить влияние нагревательного кабеля, проложенного во внутреннем углу анализируемых угловых фрагментов ограждающей конструкции, расчеты проводились с тепловыделяющим кабелем и без него. На рис. 2 показаны термограммы для углового фрагмента, представленного на рис. 1, а, при $q_v = 0$ (а) и $q_v = 2000$ Вт/м³ (б).

Визуальный анализ представленных термограмм, полученных при одинаковой цветовой градации, показывает, что в случае (а) в области угла четко прослеживается полоса другой цветовой тональности, соответствующей более низким значениям температуры, чем в основной части углового фрагмента.

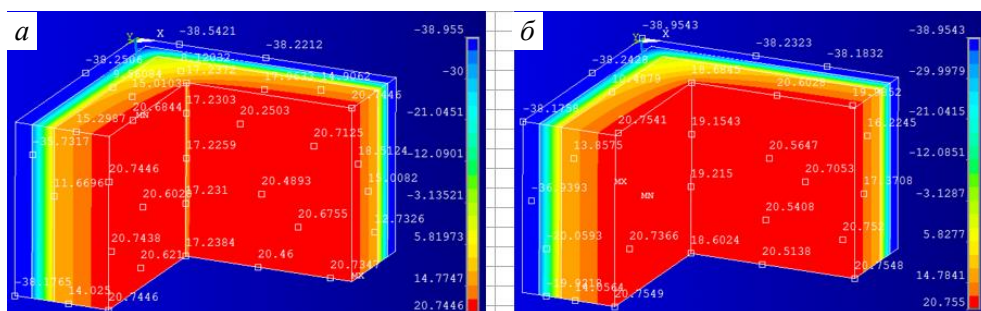


Рис. 2. Термограммы температурных полей

Это говорит о том, что подключение нагревательного кабеля с заданной мощностью тепловыделения приводит к повышению температуры угла и общему выравниванию температуры всего фрагмента.

Рис. 3 иллюстрирует пространственное распределение полей плотности теплового потока для углового фрагмента, представленного на рис. 1, а, при той же мощности тепловыделения $q_v = 0$ (а) и $q_v = 2000$ Вт/м³ (б). Анализируя изображения полей плотности, представленных в виде изоповерхностей, можно утверждать, что подключение нагревательного кабеля приводит к более равномерному распределению теплового потока (расширение полосы в окрестности угла) и к понижению его максимальных значений.

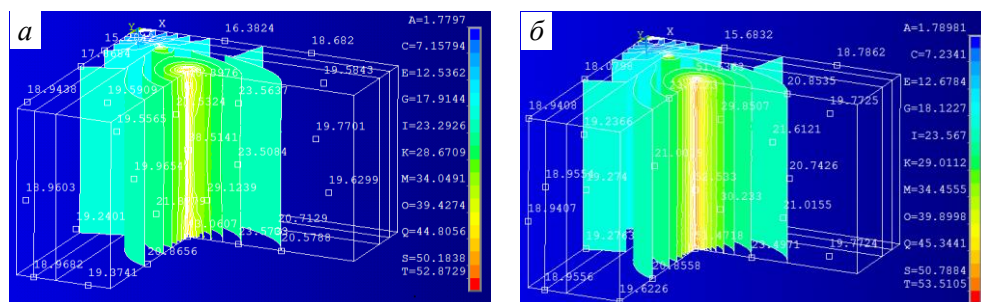
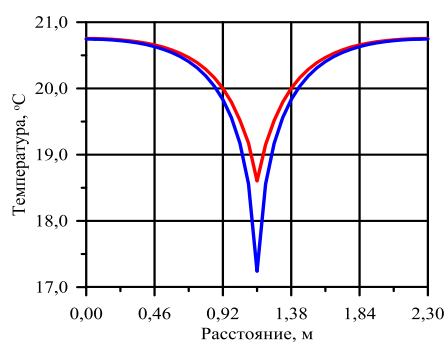


Рис. 3. Поля плотности теплового потока

Особенный интерес представляет поведение как температуры, так и плотности теплового потока на внутренней поверхности углового фрагмента. Зависимость температуры и плотности от расстояния позволит судить не только об изменении температуры или теплового потока, но и определить зону влияния самого угла при заданных условиях теплообмена. Рис. 4, 5 иллюстрируют соответственно распределение температуры и плотности теплового потока в рассматриваемом фрагменте.

Анализ поведения кривых, представленных на рис. 4, показывает, что учет нагревательного кабеля с заданной мощностью тепловыделения позволяет повысить температуру угла с 17,25 °С, соответствующей случаю без кабеля, до 18,71 °С, т. е. температура угла увеличилась почти на 1,5 °С.



— $q_v = 2000 \text{ Вт/м}^3$; — $q_v = 0 \text{ Вт/м}^3$

Рис. 4. Распределение температуры в углу

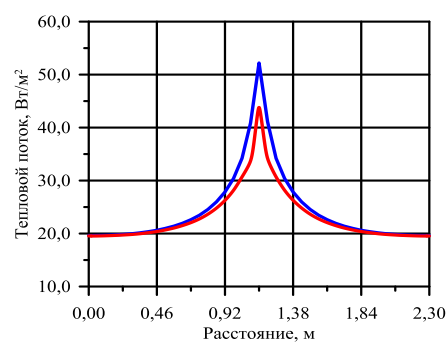


Рис. 5. Распределение теплового потока в углу

Температура точки росы при температуре внутреннего воздуха 23 °C и относительной влажности, изменяющейся от $\phi = 50\%$ до $\phi = 60\%$, находится в диапазоне 11,5–14,3 °C. Этот факт говорит о том, что для такого углового фрагмента применение нагревательного кабеля является излишним.

Кривые, представленные на рис. 5, иллюстрируют изменение плотности теплового потока на внутренней поверхности углового фрагмента. Сравнение их поведения показывает, что присутствие греющего кабеля снижает значение потока на 8,3 Вт/м². При этом и градиент температуры также уменьшается.

Таким образом, применение нагревательного кабеля приводит к выравниванию всех полей, характеризующих процесс теплообмена.

Расчеты, проведенные для второго варианта (рис. 1, б) углового фрагмента наружного ограждения, представленного на рис. 6, позволили выяснить влияние мощности тепловыделения нагревательного кабеля и для этого ТНЭ.

На рис. 6 показана типичная картина поведения температурного поля.

Из представленного рисунка видно, что в области угла наблюдается достаточно узкая зона с пониженными значениями температуры по сравнению с гладью стены более чем на 3 °C. Применение греющего кабеля позволяет устранить такое негативное влияние в ТНЭ такого типа.

Рис. 7 показывает, что применение нагревательного кабеля с мощностью тепловыделения 4000 Вт/м³ решает эту проблему.

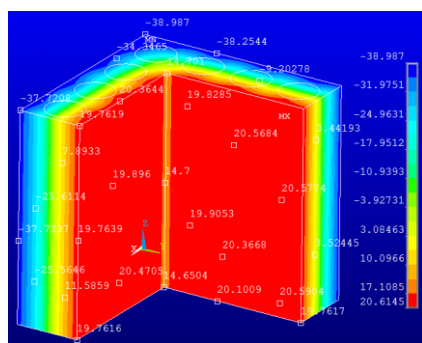


Рис. 6. Температурное поле угла

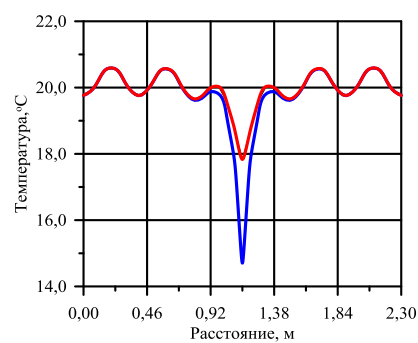


Рис. 7. Распределение температуры угла:

— $q_v = 4000 \text{ Вт/м}^3$;
— $q_v = 0 \text{ Вт/м}^3$

Из представленного рисунка видно, что температура угла повысилась с 14,7 до 17,8 °С, что значительно снижает риск образования конденсата при заданных условиях теплообмена.

Наличие цилиндрических полимерных вставок в конструкции стены приводит к тому, что распределение температуры вдоль углового фрагмента имеет колебательный характер и максимумы горбов соответствуют центрам размещения вставок. Картина имеет симметричный вид ввиду симметричного расположения вставок, и температурные кривые начинают совпадать на расстоянии, примерно равном 0,25 м.

Несомненный интерес представляет распределение вдоль угла плотности теплового потока и градиента температуры. Так как оба параметра являются векторами, то программный комплекс ANSYS позволяет проследить как за поведением каждой компоненты вектора, так и вектора в целом.

На рис. 8, 9 показаны распределения векторов плотности теплового потока и градиента температуры.

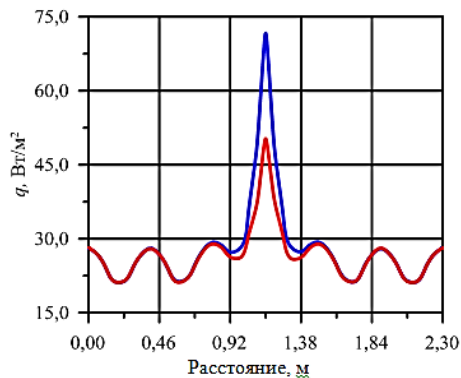


Рис. 8. Распределение теплового потока в угловом фрагменте

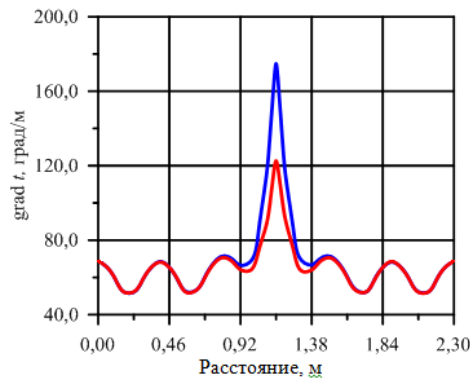


Рис. 9. Распределение градиента температуры в угловом фрагменте

Анализ поведения кривых, представленных на рис. 7, 8, показывает, что распределение обоих векторов, так же как и температура, носит волнообразный характер. При этом максимальные значения этих переменных соответствуют углу фрагмента и уменьшаются с ростом мощности тепловыделения нагревательного кабеля.

Таким образом, становится понятным, что применение греющего кабеля позволяет снизить уровень теплонапряженного состояния.

В настоящее время технология монолитного домостроения с несъемной опалубкой VELOX (рис. 1, в) получила достаточно широкое распространение не только в зарубежных странах, но и в России, в том числе и в Томской области. Несмотря на хорошие теплотехнические характеристики этой ограждающей конструкции, представляется интересным провести численное исследование по оценке влияния греющего кабеля на ее тепловое состояние.

На рис. 10, 11 показаны температурные поля углового фрагмента, выполненного по технологии VELOX, при различной мощности греющего кабеля. Рис. 10 соответствует мощности $q_v = 0$ (без греющего кабеля), а рис. 11 — $q_v = 4000 \text{ Вт/м}^3$.

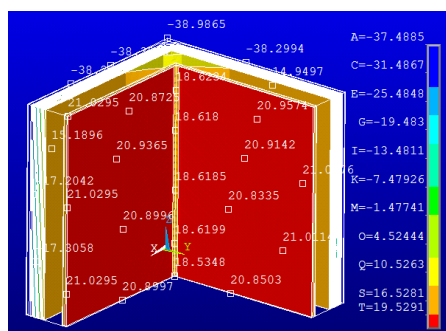


Рис. 10. Термограмма углового фрагмента без кабеля

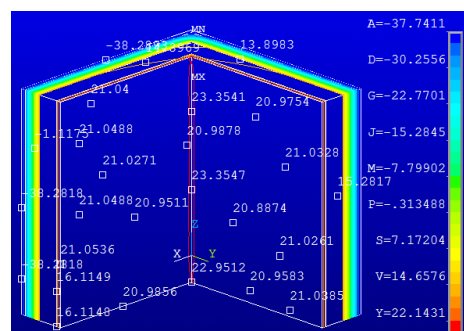


Рис. 11. Термограмма углового фрагмента с кабелем

Представленные рисунки выполнены в разной графической интерпретации и поэтому визуально имеют различный вид.

Из анализа представленных результатов видно, что применение греющего кабеля, так же как и в ранее рассмотренных вариантах угловых фрагментов, приводит к повышению температуры угла. Кроме того, наблюдается незначительное повышение температуры и на глади стены (это хорошо просматривается на этих рисунках).

Для анализа влияния мощности нагревательного кабеля было проведено исследование в некотором диапазоне изменения q_v .

Рис. 12 иллюстрирует поведение температурных кривых вдоль внутренней поверхности углового фрагмента.

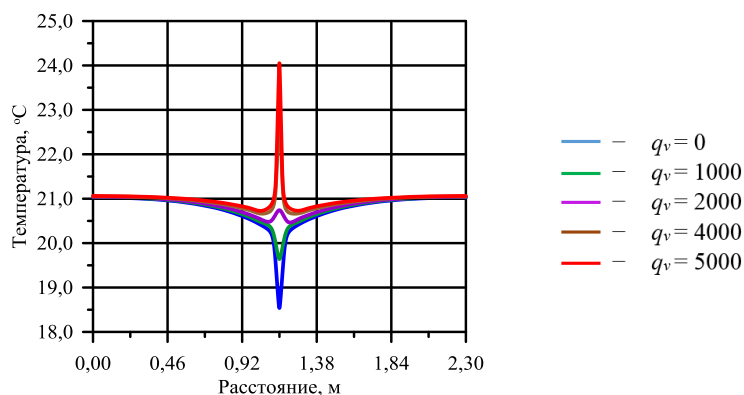


Рис. 12. Распределение температуры в угловом фрагменте при различной мощности нагревательного кабеля

Результаты численного исследования показали, что с помощью изменения мощности тепловыделения можно оказывать существенное влияние на тепловое состояние всей ограждающей конструкции, имеющей теплонапряженный элемент. Варьируя мощность тепловыделения, можно добиться выравнивания температуры по всей внутренней поверхности углового фрагмента, что позволит обеспечить комфортный микроклимат в помещении.

Достоверность полученных в данной работе численных результатов проверялась по законам сохранения теплового баланса, который контролируется программным комплексом, а также по температуре на глади стены, которую при стационарных граничных условиях для рассматриваемой многослойной стенки нетрудно вычислить аналитически. Эта погрешность не превышала 1 %.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гагарин В.Г., Дмитриев К.А. Учет теплотехнических неоднородностей при оценке теплозащиты ограждающих конструкций в России и европейских странах // Строительные материалы. 2013. № 6. С. 14–16.
2. Kotti S., Teli D., James P.A.B. Quantifying Thermal Bridge Effects and Assessing Retrofit Solutions in a Greek Residential Building // Procedia Environmental Sciences. 2017. V. 38. P. 306–313.
3. Самарин О.Д. Техничко-экономическое обоснование термомодернизации жилых зданий в современных условиях // Жилищное строительство. 2016. № 5. С. 31–35.
4. Щукина Т.В. Исследование теплофизических характеристик энергоактивных наружных ограждений // Приволжский научный журнал. 2012. № 4. С. 90–95.
5. Никонова Е.В., Вечтомов П.О., Ладных И.А. Техничко-экономические показатели ограждающих конструкций для малоэтажного строительства // Жилищное строительство. 2018. № 7. С. 47–50.
6. Mourao J., Gomes R., Matias L., Niza S. Combining embodied and operational energy in buildings refurbishment assessment // Energy and Buildings. 2019. V. 197. P. 34–46.
7. Brigger M., Bacher P., Wittchen Kim B. A hybrid modelling method for improving estimates of the average energy-saving potential of a building stock // Energy and Buildings. 2019. V. 199. P. 257–296.
8. Hamburg A., Kalamees T. How well are energy performance objectives being achieved in renovated apartment buildings in Estonia? // Energy and Buildings. 2019. V. 199. P. 332–341.
9. Tzoulis T., Kontoleon K.J. Thermal behavior of concrete walls around all cardinal orientations and optimal thickness of insulation from an economic point of view // Procedia environmental sciences. 2017. V. 38. P. 381–388.
10. Шенс Р.А., Щукина Т.В. Теплозащитные свойства ограждений с учетом прогнозируемых условий эксплуатации // Жилищное строительство. 2015. № 7. С. 29–31.
11. Garay R., Arregi B., Elguezal P. Experimental thermal performance assessment of a prefabricated external insulation system for building retrofitting // Procedia environmental sciences. 2017. V. 38. P. 155–161.
12. Назиров Р.А., Подковырин В.С., Подковырина К.А. Определение температуры внутренней поверхности в наружных углах здания // Известия вузов. Строительство. 2016. № 10–11. С. 106–111.
13. Данилов Н.Д., Шадрин В.Ю., Павлов В.Н. Прогнозирование температурного режима угловых соединений наружных ограждающих конструкций // Промышленное и гражданское строительство. 2010. № 4. С. 20–21.
14. Самарин О.Д. Оценка минимального значения температуры в наружном углу здания при его скруглении // Промышленное и гражданское строительство. 2014. № 8. С. 34–36.
15. Пат. № 145917. Российская Федерация, МПК E04B 2/84 (2006.01). Монолитная наружная стена для малоэтажного здания / Н.А. Цветков, Е.А. Иванова, А.Н. Козлобродов; ФГБОУ ВПО ТГАСУ; опубл. 05.05.2014.
16. Каплун А.Б., Морозов Е.М., Олферьева М.А. ANSYS в руках инженера: Практическое руководство. Москва: Едиториал УРСС, 2003. 272 с.
17. Басов К.А. ANSYS в примерах и задачах. Москва: Компьютер Пресс, 2002. 224 с.
18. Козлобродов А.Н., Иванова Е.А., Головкин А.В. Исследование влияния термовкладышей на тепловое состояние теплонапряженных элементов многослойных ограждающих конструкций // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2018. № 4. С. 155–169.

REFERENCES

1. Gagarin V.G., Dmitriev K.A. Uchet teplotekhnicheskikh neodnorodnostey pri ochenke teplozashity ograždaushih konstrukciy v Rossii i evropeyskih stranah [Consideration of heat engineering heterogeneities in the assessment of thermal protection of wallings in Russia and Europe]. *Stroitelnye materialy*. 2013. No. 6. Pp. 14–16. (rus)
2. Kotti S., Teli D., James P.A.B. Quantifying thermal bridge effects and assessing retrofit solutions in a greek residential building. *Procedia Environmental Sciences*. 2017. No. 38. Pp. 306–313.
3. Samarin O.D. Tekniko-ekonomicheskoe obosnovanie termomodernizacii gilyh zdaniy v sovremennykh usloviyakh [Feasibility study for thermal modernization of residential buildings in modern conditions]. *Zylishnoe stroitel'stvo*. 2016. No. 5. Pp. 31–35. (rus)
4. Shukina T.V. Issledovanie teplofizicheskikh karakteristik energoaktivnykh naruznykh ograždeniy [Thermophysical characteristics of energy-active outdoor walling]. *Privolzhskiy nauchnyi zhurnal*. 2012. No. 4. Pp. 90–95. (rus)
5. Nikonova E.V., Vechtomov P.O., Ladnykh I.A. Tehniko-ekonomicheskii pokazateli ograždaushih konstrukciy dly maloetaznogo stroitel'stva [Technical and economic indicators of walling for low-rise construction]. *Zylishnoe stroitel'stvo*. 2018. No. 7. Pp. 47–50. (rus)
6. Mourao J., Gomes R., Matias L., Niza S. Combining embodied and operational energy in buildings refurbishment assessment. *Energy and Buildings*. 2019. No. 197. Pp. 34–46.
7. Brigger M., Bacher P., Wittchen Kim B. A hybrid modelling method for improving estimates of the average energy-saving potential of a building stock. *Energy and Buildings*. 2019. No. 199. Pp. 257–296.
8. Hamburg A., Kalamees T. How well are energy performance objectives being achieved in renovated apartment buildings in Estonia? *Energy and Buildings*. 2019. No. 199. Pp. 332–341.
9. Tzoulis T., Kontoleon K.J. Thermal behavior of concrete walls around all cardinal orientations and optimal thickness of insulation from an economic point of view. *Procedia Environmental Sciences*. 2017. No. 38. Pp. 381–388.
10. Sheps R.A., Shukina T.V. Teplozashitnye svoystva ograždeniy s uchetom prognoziruemyykh usloviy ekspluatatsii [Thermal protective properties of walling in predicted operating conditions]. *Zylishnoe stroitel'stvo*. 2015. No. 7. Pp. 29–31. (rus)
11. Garay R., Arregi B., Elguezal P. Experimental thermal performance assessment of a prefabricated external insulation system for building retrofitting. *Procedia Environmental Sciences*. 2017. No. 38. Pp. 155–161.
12. Nazirov R.A., Podkovyrin V.S., Podkovyrina K.A. Opredelenie temperatury vnutrenney poverhnosti v naruznykh uglakh zdaniy [The inner surface temperature in outer corners of building]. *Izvestiy vuzov. Stroitel'stvo*. 2016. No. 10–11. Pp. 106–111. (rus)
13. Danilov N.D., Shadrin V.U., Pavlov V.N. Prognozirovaniye temperaturnogo rezima uglovyykh soedineniy naruznykh ograždaushih konstrukciy [Prediction of temperature regime of angular joints of walling]. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2010. No. 4. Pp. 20–21. (rus)
14. Samarin O.D. Ocenka minimal'nogo znacheniya temperatury v naruznom uglu zdaniya pri ego skruglenii [Assessment of minimum temperature in the outer rounded corner]. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2014. No. 8. Pp. 34–36. (rus)
15. Cvetkov N.A., Ivanova E.A., Kozlobrodov A.N. Monolitnaya naruznaya stena dly maloetaznogo zdaniya [Monolithic exterior wall for low-rise building]. Patent Russ. Fed. N 145917. 2014. 6 p. (rus)
16. Kaplun A.B., Morozov E.M., Olfer'eva M.A. ANSYS v rukakh inzhenera: Prakticheskoe rukovodstvo [ANSYS in the hands of engineer: practical guide]. Moscow: Editorial URSS, 2003. 272 p. (rus)
17. Basov K.A. ANSYS v primerakh i zadachakh [ANSYS examples and problems]. Moscow: Komp'yuter Press, 2002. 224 p. (rus)
18. Kozlobrodov A.N., Ivanova E.A., Golovko A.V. Issledovanie vliyaniya termovkladyshei na teplovoe sostoyaniye teplonapryazennykh elementov mnogosloynnykh ograždaushih konstrukciy [Influence of thermal liners on thermal state of heat-stressed elements of multi-layer walling]. *Vestnik of Tomsk State University of Architecture and Building*. 2018. No. 1. Pp. 133–139. (rus)

Сведения об авторах

Козлобродов Александр Николаевич, докт. физ.-мат. наук, профессор, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, Россия, площадь Соляная, 2, akozlobrodov@mail.ru

Иванова Елена Александровна, ст. преподаватель, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, Россия, площадь Соляная, 2, energobser_e@mail.ru

Authors Details

Aleksandr N. Kozlobrodov, DSc, Professor, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia akozlobrodov@mail.ru

Elena A. Ivanova, Senior Lecturer, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, energobser_e@mail.ru