

Строительные конструкции, здания и сооружения Structural units, buildings, structures

Научная статья
УДК 692.232:624.016
DOI: 10.14529/build240301

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕРМИЧЕСКОГО РЕЖИМА ВЕРТИКАЛЬНЫХ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЙ

А.И. Гиясов, adham52@mail.ru

Т.В. Аниканова, anik.tv@yandex.ru

*Национальный исследовательский Московский государственный
строительный университет, Москва, Россия*

Аннотация. В энергетическом аудите термического режима конструктивной оболочки зданий решающую роль играет исследование температурных изменений на поверхности и внутри конструкции. Результаты исследования показали, что применяемый современный программный комплекс позволяет с достаточно высокой точностью моделировать поведение ограждающих конструкций при изменении климатических параметров окружающей среды. В работе рассмотрены вопросы влияния изменений наружной температуры воздуха от +10 °С до –50 °С на неоднородные уязвимые части зданий. С помощью моделирования изменений температур в разных точках на поверхности ограждения снаружи, на поверхности внутри и в толще вертикальных и горизонтальных конструкций была установлена математическая зависимость между температурой наружного воздуха и температурой поверхности ограждения в уязвимых частях (опирание балконной плиты, опирание плиты перекрытия, в углах оконного проема). Установлено, что при снижении наружной температуры до –50 °С значения температур на поверхности ограждающей конструкции и внутри изменяются по линейным математическим зависимостям с высоким коэффициентом детерминации. При положительных температурах наружного воздуха изменение температур вертикальной ограждающей конструкции с оконным проемом происходит по степенной зависимости. Для горизонтальных ограждающих элементов зависимость изменения температуры представляется возможным обобщить $y = kx + b$. Результаты исследования предопределяют предпосылки для разработки ряда конструктивных решений уязвимых частей зданий, направленные на повышение теплозащитных качеств ограждающих конструкций.

Ключевые слова: теплозащита, температура ограждающих конструкций, уязвимые части зданий, математическое моделирование, мостик холода, энергоаудит, факторы климата

Благодарности. Работа выполнена в соответствии с планом научно-исследовательских работ кафедры «Архитектурно-строительное проектирование и физика среды» Национального исследовательского Московского государственного строительного университета «Функция, конструкция, среда в архитектуре зданий».

Для цитирования. Гиясов А.И., Аниканова Т.В. Моделирование термического режима вертикальных ограждающих конструкций зданий // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». 2024. Т. 24, № 3. С. 5–14. DOI: 10.14529/build240301

Original article
DOI: 10.14529/build240301

MODELING OF THE THERMAL REGIME OF VERTICAL ENCLOSING STRUCTURES OF BUILDINGS

A.I. Giyasov, adham52@mail.ru

T.V. Anikanova, anik.tv@yandex.ru

Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia

Abstract. In the energy audit of the thermal regime of the structural shell of buildings, the study of temperature changes on the surface and inside the structure plays a crucial role. This study shows that modern software makes it possible to simulate the behavior of enclosing structures with high accuracy when the climatic parameters of the environment change. The paper considers the influence of changes in outdoor the air temperature from +10 °C to –50 °C

© Гиясов А.И., Аниканова Т.В., 2024.

on heterogeneous vulnerable parts of buildings. By modeling temperature changes at different points on the surface of the fence outside, on the surface inside, and in the thickness of vertical and horizontal structures, a mathematical relationship was established between the outdoor air temperature and the surface temperature of the fence in vulnerable parts (support of the balcony, support of the floor slab, in the corners of the window opening). When the outdoor temperature decreases to $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$, the temperatures on the surface and inside the enclosing structure changes according to linear mathematical dependencies. At positive outdoor temperatures, the temperature change of the vertical enclosing structure with a window opening occurs according to a power dependence. For horizontal enclosing elements, it is possible to generalize the dependence of the temperature change. The results give prerequisites for design solutions for vulnerable parts of buildings to improve the thermal protection of enclosing structures.

Keywords: thermal protection, temperature of enclosing structures, vulnerable parts of buildings, mathematical modeling, cold bridge, energy audit, climate factors

Acknowledgments. The work was carried out in accordance with the research plan of the Department of Architectural and Construction Design and Environmental Physics of Moscow State University of Civil Engineering “Function, design, environment in the architecture of buildings.”

For citation. Giyasov A.I., Anikanova T.V. Modeling of the thermal regime of the vertical enclosing structures of buildings. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Construction Engineering and Architecture*. 2024;24(3):5–14. (in Russ.). DOI: 10.14529/build240301

Введение

Исследованию и повышению теплозащиты «мостиков холода» в последнее время уделяется большое внимание [1–10]. Несмотря на многочисленное количество фундаментальных работ [11–14], появление современного оборудования и программных комплексов позволяет установить новые закономерности и прогнозировать поведение той или иной ограждающей конструкции в различных условиях. Исследования влияния температурных перепадов на поверхности и внутри конструкции позволят прогнозировать поведение материалов, предотвратить их повреждение. В настоящее время подобные исследования проводятся отечественными и зарубежными авторами [15–21]. К наиболее уязвимым частям здания с точки зрения теплопотерь относятся оконные и балконные проемы, места установки перемычек, сопряжения балконных плит с междуэтажными перекрытиями.

Целью данной работы является исследование изменений температуры на поверхности в разных частях конструкции и внутри ограждения для анализа теплофизических характеристик конструктивной оболочки зданий и прогнозирования их дальнейшего поведения.

Современные программные комплексы позволяют с высокой точностью моделировать теплофизические свойства наружных ограждающих конструкций при различных параметрах окружающей среды. Расчет и анализ изменений температуры в разных частях ограждающих конструкций позволит прогнозировать их термические изменения. В работе будут рассмотрены вопросы влияния изменений наружной температуры воздуха на теплофизические свойства уязвимых частей наружных ограждений зданий с целью определить математические зависимости изменения расчетных значений температур на разных поверхностях конструкции от температуры наружного воздуха. Предполагается, что между температурой наружного воздуха и температурой поверхности ограж-

дения в уязвимых частях (опирание балконной плиты, опирание плиты перекрытия, в углах оконного проема), а также между температурой наружного воздуха и температурой в толще вертикальных и горизонтальных конструкций (несущий слой стены, балконная плита, плита перекрытия) будет наблюдаться определенная корреляция.

Методы

Моделирование и расчет теплотехнических параметров ограждающих конструкций проводился с использованием программного комплекса COMSOL Multiphysics 6.1. В расчетах условно нестационарный режим приведен к стационарному. Температура воздуха внутри помещения $20\text{ }^{\circ}\text{C}$, температура воздуха снаружи изменялась от $+10$ до $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ с интервалом $5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

В качестве объекта для анализа теплотехнических параметров ограждающих конструкций здания и оценки его энергоэффективности был выбран девятиэтажный жилой дом с типовым объемно-планировочным и конструктивным решением. Энергетический аудит термического режима был проведен для элемента стены с окном и места стыка плиты перекрытия и балконной плиты как для наиболее уязвимых мест оболочки здания. В табл. 1 приводятся общая площадь ограждающей оболочки здания и площади уязвимых мест. Процентное соотношение слабых мест ко всей ограждающей оболочке здания составляет 53 %.

Таблица 1
Процентное соотношение уязвимых мест оболочки здания

Наименование	Площадь	
	м ²	%
Ограждающая оболочка здания	8104,62	100
Оконные проемы	1188,0	14,7
Балконные проемы	1801,8	22,2
Узел плиты перекрытия	1306,8	16,1

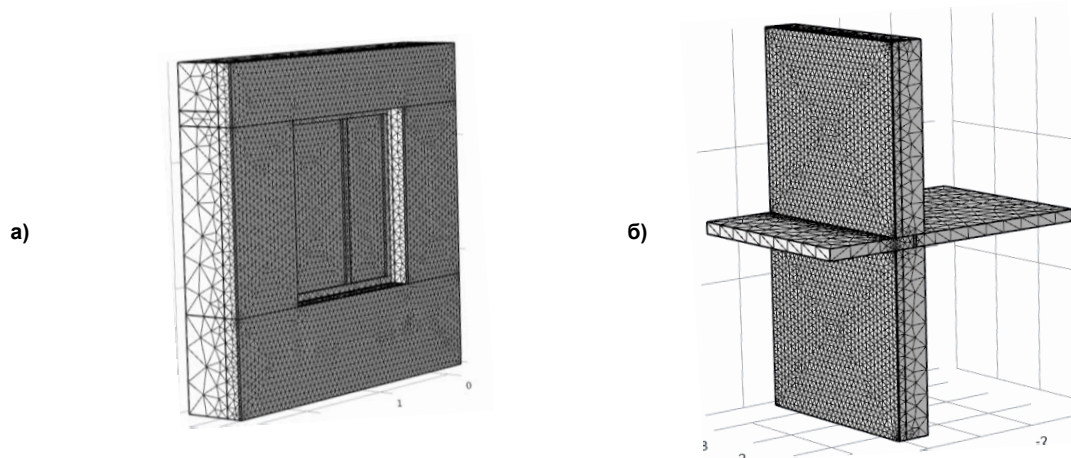


Рис. 1. Модель элементов конструкций с сеткой конечных элементов:
а – оконного проема; б – стены с опиранием плиты перекрытия и балконной плиты

Таблица 2

Теплотехнические характеристики материалов

Материал	Средняя плотность, кг/м ³	Коэффициент теплопроводности, Вт/м °С	Удельная теплоемкость, Дж/(кг °С)
Автоклавный газобетон	400	0,096	840
Утеплитель – пенополиуретан	145	0,036	920
Сложный раствор	1000	0,26	880
Железобетон	2400	1,52	1130
Стеклопакет	2500	0,76	840
Оконное обрамление	1600	0,2	1050

Изменение температур определяли в нескольких точках: на поверхности снаружи, в углах оконного проема снаружи, в несущем слое простенка на удалении 200 мм от внутренней поверхности стены; на поверхности стены внутри, на поверхности перемычки внутри, в углах примыкания плиты к стене, внутри балконной плиты и внутри плиты перекрытия.

На рис. 1 приведены модели стены с оконным проемом и модель стены с опиранием плиты перекрытия и балконной плиты с сеткой конечных элементов.

Размеры исследуемого блока наружной ограждающей конструкции с оконным проемом 3000 × 2800 мм, оконный проем 1500 × 1500 мм располагается по центру. Размеры балконной плиты 3000 × 1500 мм, плита перекрытия 3000 × 3000 мм. В табл. 2 приведены используемые материалы и их теплотехнические характеристики.

Результаты и обсуждения

Графический результат расчета температур на поверхности стены с окном при температуре наружного воздуха –10 °С представлен на рис. 2.

В работе [22] проводится сравнительный термический анализ вертикальных ограждающих конструкций под воздействием повышенных температур, были установлены критические температуры

наружной поверхности конструкции, при которых внутренняя поверхность ограждения перегревается, что приводит к снижению комфортных условий в помещении. Критические температуры наружной поверхности конструкции изменялись от +30 до +50 °С, расчетные температуры были в несущем слое на удалении 200 мм от внутренней поверхности стены и на поверхности стены внутри.

В табл. 3 представлены изменения расчетных значений температур на разных поверхностях конструкции и внутри в зависимости от температуры наружного воздуха. Наружная температура воздуха изменялась от +10 до –50 °С, температура воздуха внутри помещения была постоянной и составляла +20 °С.

Из представленных расчетных данных (см. табл. 3) видно, что во всех рассмотренных случаях при изменении температуры наружного воздуха от +10 до –50 °С на поверхности или внутри конструкции температура изменяется по прямолинейной зависимости (в общем виде уравнение можно представить в виде: $y = kx + b$). Величина достоверности аппроксимации во всех рассмотренных случаях имеет высокое значение (R^2 изменяется от 0,9917 до 1). Расчетные значения температур на разных поверхностях и внутри конструкции при положительных температурах поверхности ограждения снаружи изменяются

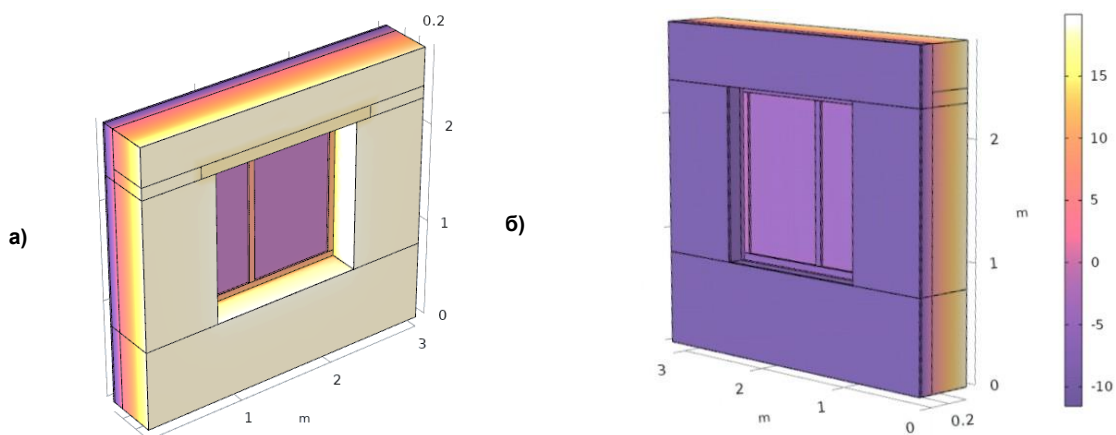


Рис. 2. Графический результат расчета внутренней (а) и наружной (б) поверхностей стены с оконным проемом

Таблица 3
Изменения расчетных значений температур на разных поверхностях конструкции (оконный проем) в зависимости от температуры наружного воздуха

№ п/п	Изменение температуры	График	Уравнение зависимости, коэффициент детерминации
1	2	3	4
1	Температура на поверхности стены снаружи в зависимости от температуры наружного воздуха		$y = 0,9936x + 0,1166$ $R^2 = 1$
2	Температура в углах окна снаружи в зависимости от температуры наружного воздуха		$y = 1,0135x + 1,8948$ $R^2 = 0,9981$
3	Температура в несущем слое (200 мм) в зависимости от температуры наружного воздуха		$y = 0,3018x + 14,078$ $R^2 = 0,9953$
4	Температура на поверхности стены внутри в зависимости от температуры наружного воздуха		$y = 0,025x + 19,518$ $R^2 = 0,9917$
5	Температура на поверхности перемычки внутри в зависимости от температуры наружного воздуха		$y = 0,0793x + 18,439$ $R^2 = 0,9993$

Окончание табл. 3

1	2	3	4
6	Температура в несущем слое (200 мм) в зависимости от температуры на поверхности ограждающей конструкции снаружи		$y = 11,401e^{0,0269x}$ $R^2 = 0,9773$
7	Температура на поверхности стены внутри в зависимости от температуры на поверхности ограждающей конструкции снаружи		$y = 2,563x^{0,6383}$ $R^2 = 0,9738$

по степенной или экспоненциальной зависимости в зависимости от расположения расчетных точек. Температура на поверхности ограждающей конструкции изменялась от +30 до +50 °С. Величина достоверности аппроксимации составляет более 0,97. Расчеты показывают, что под воздействием положительных и отрицательных температур изменения температур внутри конструкции происходят по-разному.

Графический результат расчета изменения температур конструкции при температуре наружного воздуха -10 °С представлен на рис. 3.

В табл. 4 приведены результаты расчета изменения температур стены в местах опирания балконной плиты и плиты перекрытия при изменении наружной температуры от 0 до -50 °С, температура воздуха внутри помещения при этом была постоянной и составляла +20 °С.

Из данных, представленных в табл. 4, видно, что во всех рассмотренных случаях при изменении температуры наружного воздуха до -50 °С температуры на поверхности и внутри конструкций изменяются прямолинейно (в общем виде уравнение можно представить в виде: $y = kx + b$). Величина достоверности аппроксимации во всех рассмотренных случаях имеет высокое значение (R^2 изменяется от 0,9796 до 0,9995). Максимальная разность

температур сверху и снизу стыков плиты перекрытия со стеной наблюдалась при 0 °С и составляла 2,17 °С. Для стыков балконной плиты со стеной максимальная разность температур сверху и снизу наблюдается при -40 °С и составила 0,71 °С.

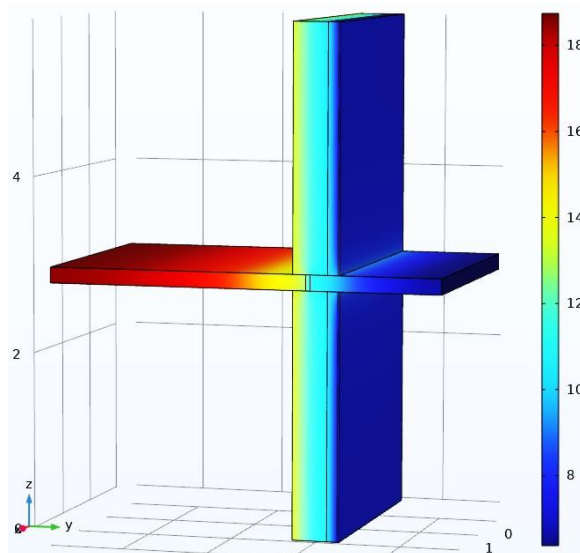
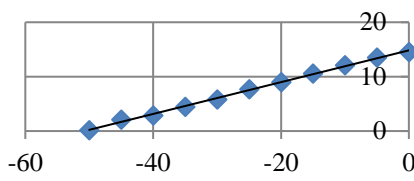
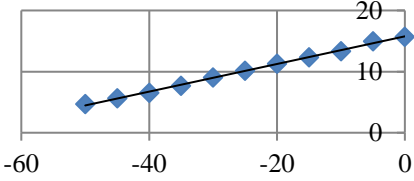
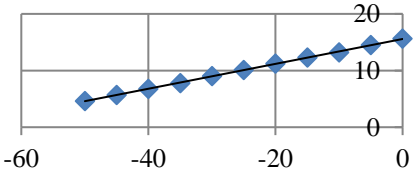
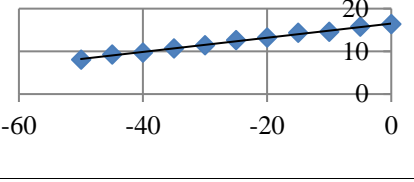
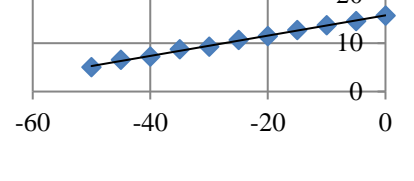
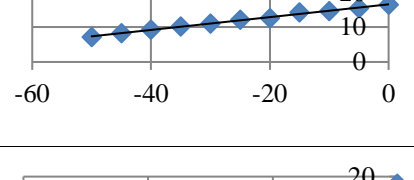
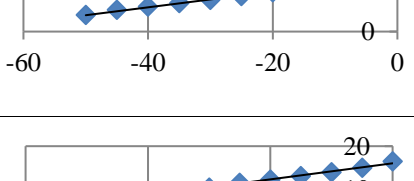
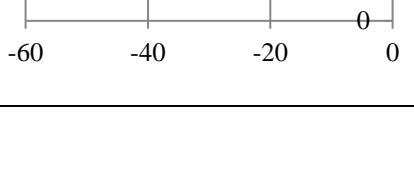


Рис. 3. Графический результат расчета изменения температур конструкции

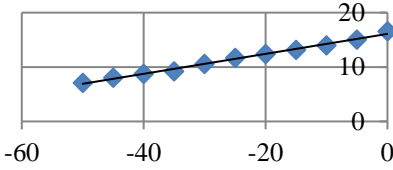
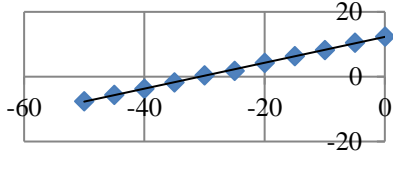
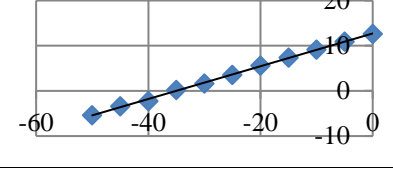
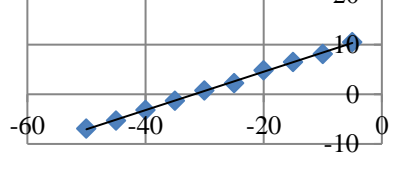
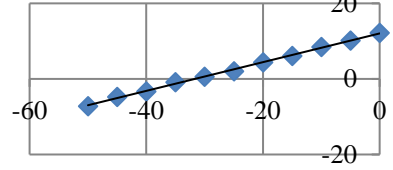
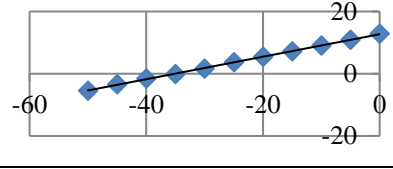
Таблица 4
Изменения расчетных значений температур на разных поверхностях конструкции (опирание плиты перекрытия и балконной плиты) в зависимости от температуры наружного воздуха

№ п/п	Изменение температуры	График	Уравнение зависимости, коэффициент детерминации
1	Температура на поверхности стены снаружи в зависимости от температуры наружного воздуха		$y = 0,3979x + 12,093$ $R^2 = 0,9948$

Продолжение табл. 4

1	2	3	4
2	Температура в несущем слое (200 мм) в зависимости от температуры наружного воздуха		$y = 0,2923x + 14,837$ $R^2 = 0,9978$
3	Температура на поверхности стены внутри над плитой в зависимости от температуры наружного воздуха		$y = 0,226x + 15,766$ $R^2 = 0,9981$
4	Температура на поверхности стены под плитой в зависимости от температуры наружного воздуха		$y = 0,219x + 15,57$ $R^2 = 0,9997$
5	Температура на поверхности плиты внутри снизу в зависимости от температуры наружного воздуха		$y = 0,1659x + 16,505$ $R^2 = 0,9952$
6	Температура на поверхности плиты стык снизу в зависимости от температуры наружного воздуха		$y = 0,2094x + 15,734$ $R^2 = 0,9972$
7	Температура на поверхности плиты перекрытия сверху в зависимости от температуры наружного воздуха		$y = 0,1832x + 16,498$ $R^2 = 0,9955$
8	Температура на поверхности плиты перекрытия стык сверху в зависимости от температуры наружного воздуха		$y = 0,2323x + 16,425$ $R^2 = 0,9796$
9	Температура внутри плиты перекрытия в зависимости от температуры наружного воздуха		$y = 0,1835x + 16,093$ $R^2 = 0,9931$

Окончание табл. 4

1	2	3	4
9	Температура внутри плиты перекрытия в зависимости от температуры наружного воздуха		$y = 0,1835x + 16,093$ $R^2 = 0,9931$
10	Температура на поверхности балконной плиты снизу в зависимости от температуры наружного воздуха		$y = 0,3994x + 12,278$ $R^2 = 0,9992$
11	Температура стыка поверхности балконной плиты со стеной снаружи снизу в зависимости от температуры наружного воздуха		$Y = 0,3626x + 12,71$ $R^2 = 0,9989$
12	Температура внутри балконной плиты в зависимости от температуры наружного воздуха		$y = 0,3863x + 12,267$ $R^2 = 0,9989$
13	Температура на поверхности балконной плиты сверху в зависимости от температуры наружного воздуха		$y = 0,3802x + 12,043$ $R^2 = 0,9981$
14	Температура на поверхности балконной плиты стык сверху в зависимости от температуры наружного воздуха		$y = 0,3613x + 12,695$ $R^2 = 0,9995$

Выводы

С использованием программного комплекса COMSOL Multiphysics 6.1 произведен расчет температур на поверхности и в различных частях ограждающих конструкций. Установлено, что при снижении наружной температуры от 0 до -50°C температуры на поверхности ограждающей конструкции и внутри изменяются по разным математическим зависимостям.

Температуры на поверхности и внутри конструкций изменяются прямолинейно (в общем виде уравнение можно представить в виде: $y = kx + b$). Для плиты перекрытия зависимость изменения температуры в толще конструкции от температуры наружного воздуха можно представить в виде обобщенной формулы $y = 0,1835x + 16,093$, для балконной плиты зависимость изменения тем-

пературы в толще конструкции от температуры наружного воздуха можно представить в виде $y = 0,3863x + 12,267$. Для конструкции с оконным проемом такого обобщения сделать нельзя, так как изменения температур происходят по разным зависимостям (прямолинейной, степенной, экспоненциальной). Зависимость изменения температуры в месте стыка балконной плиты со стеной от температуры наружного воздуха можно представить в виде обобщенной формулы $y = 0,36x + 12,7$. Предлагаемые формулы позволяют прогнозировать температурные изменения в уязвимых частях здания (опирание плиты перекрытия, опирание балконной плиты).

Уточнены изменения температур в уязвимых частях здания в теплый период и в холодный период, показано, что при воздействии отрицатель-

ных температур изменения температур внутри и снаружи конструкции происходят по линейным зависимостям, при воздействии положительных температур наружного воздуха изменения внутри конструкции происходят по более сложным закономерностям.

В результате исследований установленные математические зависимости для выявления раз-

нородности термического поля в уязвимых частях фрагмента наружного ограждения определяют направление рационального конструктивного решения в процессе проектирования зданий с учетом выявления и всестороннего изучения уязвимых частей традиционных и вновь конструируемых наружных ограждений при энергоаудите фасадных конструкций.

Список литературы

1. Шилова Е.А., Шилов С.О., Хакимова В.А. Экспериментальное определение уязвимых мест для образования «мостиков холода» // StudArctic Forum. 2017. Т. 1. № 5. С. 93–98. DOI: 10.15393/j102.art.2017.923
2. Бедов А.И., Гайсин А.М., Габитов А.И., Галеев Р.Г., Салов А.С., Шибиркина М.С. Определение теплотерьер узла сопряжения оконной рамы со стеной при замене устаревшей конструкции оконных блоков на современные // Вестник МГСУ. 2015. № 11. С. 46–57.
3. Ульянов А.А., Голотина И.А. Оптимизация температурных характеристик стен зданий в местах образования «мостиков холода» // Инновации в строительстве – 2018. Материалы Международной научно-практической конференции. 2018. С. 248–251.
4. Плотников В.В., Голенок А.И. Влияние конструктивных решений стыков крупных панелей на энергоэффективность зданий // В сборнике: Инновации в строительстве – 2020. Сборник докладов Международной научно-практической конференции, посвященной 60-летию строительного института ФГБОУ ВО «БГИТУ». Брянск, 2020. С. 235–239.
5. Черкасов А.В., Деревцова К.В., Евсеев А.В. Конструктивные решения проблемы образования мостиков холода в жилых каркасных зданиях // Перспективы науки. 2019. № 11 (122). С. 49–51.
6. Определение теплотерьер наружных ограждений в местах примыкания оконных блоков к кирпичным стенам при реконструкции / А.И. Бедов, А.М. Гайсин, А.И. Габитов и др. // Промышленное и гражданское строительство. 2015. № 12. С. 28–32.
7. Черкасов А., Евсеев А., Веселова П. Современные решения проблемы теплотерьер через оконные проемы // Русский инженер. 2020. № 2 (67). С. 43–44.
8. Шатилов Н.Д. Проблема точечных мостиков холода навесных фасадных систем // Современные технологии в строительстве. Теория и практика. 2021. Т. 2. С. 161–164.
9. Будкин И.А. Технологическое решение по устранению «мостиков холода» в монолитных железобетонных конструкциях // Теория и практика современной науки. 2017. № 8 (26). С. 10–13.
10. Сотникова О.А., Целярицкая М.И., Пашенко Ю.О. Анализ «мостиков холода» с целью выявления недостатков монолитного домостроения в г. Воронеже // Известия Юго-Западного государственного университета. 2022. Т. 26. № 3. С. 21–34.
11. Фокин К.Ф. Строительная теплотехника ограждающих частей зданий. М.: АВОК-ПРЕСС, 2006. 256 с.
12. Богословский В.Н. Строительная теплофизика. СПб.: АВОК Северо-Запад, 2006. 400 с.
13. Ильинский В.М. Строительная теплофизика (ограждающие конструкции и микроклимат зданий). М.: Высшая школа, 1974. 320 с.
14. Гагарин В.Г., Неклюдов А.Ю. Учет теплотехнических неоднородностей ограждений при определении тепловой нагрузки на систему отопления зданий // Жилищное строительство. № 4, 2014. С. 3–7.
15. Гиясов А.И., Мирзоев С.М., Абдулрахман К. Моделирование тепловетровых процессов пристенного слоя ограждающих конструкций зданий при инсоляции // Вестник МГСУ. 2022, Т. 17, № 3. С. 285–297.
16. Dincer I., Rosen M. A. Thermal energy storage. Systems and applications. John Wiley & Sons: Chichester (England). 2002. 599 p.
17. Michael J. A. Experimental Investigations of the Combination of a Heat Pipe with Metal Foam or Foils for Enhancing Heat Transfer during the Melting and Solidification of a Phase Change Material (PCM) for Latent Heat Thermal Energy Storage Applications. [Master of Science Thesis 570]. Connecticut: University of Connecticut Graduate School. 2014. pp. 1–196. http://digitalcommons.uconn.edu/gs_theses/570.
18. Teplofizicheskie svoystva fazoperekhodnykh teploakkumuliruyushchikh materialov v stroitel'stve / I.O. Aymbetova, U.S. Suleymenov, M.A. Kambarov et al. // Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya. 2018. № 12. pp. 9–13. DOI: 10.17513/use.36966.
19. Suresh C., Saha S.K., Hotta T. Kumar Phase change material incorporation techniques in building envelopes for enhancing the building thermal Comfort-A review // Energy and Buildings. 2022. Vol. P. 268.
20. Al-Yasiri Q., Szabó M. Selection of phase change material suitable for building heating applications based on qualitative decision matrix // Energy Conversion and Management: X. 2021. Vol. 12. P. 38–46.

21. Feng, Guohui & Wang, Tianyu & He, Na & Wang, Gang. (2022). A Review of Phase Change Materials. E3S Web of Conferences. P. 356.
22. Гиясов А.И., Карасев Е.В. Термический анализ вертикальных ограждающих конструкций с учетом тепловых воздействий // Вестник МГСУ. 2023. № 7. Т. 18. С. 1039–1054.

References

1. Shilova E.A., Shilov S.O., Hakimova V.A. Experimental determination of weak points for the formation of “thermal bridges”. *StudArctic Forum*. 2017;1(5):93–98. (In Russ.) DOI: 10.15393/j102.art.2017.923
2. Bedov A.I., Gaysin A.M., Gabitov A.I., Galeev R.G., Salov A.S., Shibirikina M.S. Determination of heat losses of a window frame to the wall joint when replacing the outdated constructions of window blocks with modern ones. *Bulletin of the Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Ser. Construction and Architecture*. 2015;(11):46–57 (In Russ.)
3. Ulyanov A.A., Golotina I.A. [Optimization of temperature characteristics of building walls in places of formation of “cold bridges”]. In: *Innovatsii v stroitel'stve (Bryansk, 22–24 noyabrya 2018 goda)* [Innovations in construction (Bryansk, November 22–24, 2018)]. Bryansk: Bryansk State University of Engineering and Technology, pp. 248–251. (In Russ.)
4. Plotnikov V.V., Golenok A.I. [The influence of structural solutions of joints of large panels on the energy efficiency of buildings]. In: *Innovatsii v stroitel'stve (Bryansk, 25 dekabrya 2020 goda)* [Innovations in construction (Bryansk, December 25, 2020)]. Bryansk: Bryansk State University of Engineering and Technology, pp. 235–239. (In Russ.)
5. Cherkasov A.V., Derevtsova K.V., Evseev A.V. Design solutions of the problem of cold joint formation in residential frame-type buildings. *Prospects of science*. 2019;11(122):49–51. (In Russ.)
6. Bedov A.I., Gaysin A.M., Gabitov A.I., Salov A.S., Samokhodova S.Y. Determination of heat losses of external enclosures at junctions of window blocks to brick walls at reconstruction. *Industrial and Civil Engineering*. 2015;12:28–32. (In Russ.)
7. Cherkasov A., Evseev A., Veselova P. [Modern solutions to the problem of heat loss through window openings]. *Russian Engineer*. 2020;2(67):43–44. (In Russ.)
8. Shatilov N.D. Point thermal bridges problem of suspended facade systems. *Sovremennye tekhnologii v stroitel'stve. Teoriya i praktika* [Modern technologies in construction. Theory and practice]. 2021;2:161–164. (In Russ.)
9. Budkin I.A. Technological solution to eliminate “cold bridges” in monolithic reinforced concrete structures. *Teoriya i praktika sovremennoy nauki* [Theory and practice of modern science]. 2017;8(26):10–13. (In Russ.)
10. Sotnikova O.A., Tselyaritskaya M.I., Pashchenko Yu.O. Analysis of “cold bridges” in order to identify the shortcomings of monolithic housing construction in Voronezh. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta* [Proceedings of the Southwestern State University]. 2022;26(3):21–34. (In Russ.)
11. Fokin K.F. *Stroitel'naya teplotekhnika ograzhdayushchikh chastey zdaniy* [Construction heat engineering of enclosing parts of buildings]. Moscow: AVOC PRESS.; 2006. 256 p. (In Russ.)
12. Bogoslovsky V.N. *Stroitel'naya teplofizika* [Construction thermophysics]. St. Petersburg: AVOK Severo-Zapad.; 2006. 400 p. (In Russ.)
13. Ilyinsky V.M. *Stroitel'naya teplofizika (ograzhdayushchie konstrukcii i mikroklimat zdaniy)* [Building thermophysics (enclosing structures and microclimate of buildings)]. Moscow: High school; 1974. 320 p. (In Russ.)
14. Gagarin V.G., Neklyudov A.Yu. [Accounting for thermal heterogeneities of fences in determining the thermal load on the heating system of buildings]. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2014;4:3–7 (In Russ.)
15. Giyazov A.I., Mirzoev S.M., Abdulrahman K. Modeling thermal and wind processes in the near-wall layer of building envelopes subjected to insolation. *Vestnik MGSU*. 2022;17(3):285–297. (In Russ.)
16. Dincer I., Rosen M. A. Thermal energy storage. Systems and applications. *John Wiley & Sons: Chichester (England)*. 2002. 599 p.
17. Michael J.A. Experimental Investigations of the Combination of a Heat Pipe with Metal Foam or Foils for Enhancing Heat Transfer during the Melting and Solidification of a Phase Change Material (PCM) for Latent Heat Thermal Energy Storage Applications. [Master of Science Thesis 570]. Connecticut: University of Connecticut Graduate School. 2014;1–196. http://digitalcommons.uconn.edu/gs_theses/570.
18. Aymbetova I.O., Suleymenov U.S., Kambarov M.A. et al. Teplofizicheskie svoystva fazoperekhodnykh teploakkumuliruyushchikh materialov v stroitel'stve. *Uspekhi sovremennoy estestvoznaniya*. 2018;12:9–13. DOI: 10.17513/use.36966.
19. Suresh C., Saha S. K., Kumar T. Hotta Phase change material incorporation techniques in building envelopes for enhancing the building thermal Comfort—A review. *Energy and Buildings*. 2022:268.

20. Al-Yasiri Q., Szabó M. Selection of phase change material suitable for building heating applications based on qualitative decision matrix. *Energy Conversion and Management: X*. 2021;12:38–46.

21. Feng, Guohui & Wang, Tianyu & He, Na & Wang, Gang. (2022). A Review of Phase Change Materials. *E3S Web of Conferences*. P. 356.

22. Giyasov A.I., Karasev E.V. [Thermal analysis of vertical enclosing structures taking into account thermal influences]. *Vestnik MGSU*. 2023;7(18):1039–1054. (In Russ.)

Информация об авторах:

Гиясов Адхам Иминжанович, доктор технических наук, профессор кафедры «Архитектурно-строительное проектирование и физика среды», Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, Москва, Россия; adham52@mail.ru

Аниканова Татьяна Викторовна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Архитектурно-строительное проектирование и физика среды», Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, Москва, Россия; anik.tv@yandex.ru

Information about the authors:

Adkham I. Giyasov, Doctor (Tech. Sci.), Professor of the Department of Architectural and Construction Design and Physics of the Environment, Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia; adham52@mail.ru

Tatiana V. Anikanova, PhD (Tech. Sci.), Associate Professor of the Department of Architectural and Construction Design and Physics of the Environment, Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia; anik.tv@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 18.03.2024, принята к публикации 25.03.2024.

The article was submitted 18.03.2024; approved after reviewing 25.03.2024.