

Е.В. Щипачева, С.С. Шаумаров

Ташкентский государственный транспортный университет, Ташкент, Узбекистан

ВЛИЯНИЕ ГЕОГРАФИЧЕСКОЙ ШИРОТЫ МЕСТНОСТИ НА ТЕПЛОВУЮ ИНЕРЦИЮ НАРУЖНЫХ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЙ

Требования к сокращению энергетических ресурсов при эксплуатации зданий и выбросу углекислого газа на всех стадиях их возведения определяют необходимость поиска новых подходов к проектированию наружных ограждающих конструкций, обладающих повышенными теплозащитными свойствами. Одним из важнейших параметров теплозащитных свойств наружных ограждений является толщина слоя резких колебаний температур, поскольку именно в его пределах происходит наиболее интенсивное затухание температурных колебаний. В связи с этим представляет определенный интерес исследовать зависимость поведения амплитуд температуры в слое ограждения и динамику изменения толщины слоя резких колебаний температуры от широты местности (при прочих равных условиях). В статье представлены результаты исследований на основании результатов семи метеорологических станций на разных географических широтах, охватывающих практически все широтные области Узбекистана. Расчеты выполнялись для однослойных стеновых конструкций толщиной от 200 до 500 мм с шагом 50 мм при трех различных значениях коэффициента теплоусвоения материалов ограждений, выбранных в широком диапазоне. Также приведены результаты исследования зависимости толщины слоя резких колебаний d в ограждении толщиной δ от широты местности для таких городов, как Термез, Байсун, Санзар, Фергана, Ташкент, Нукус, Акбайтал. На основании выполненных расчетов определена тенденция зависимости слоя резких колебаний от толщины ограждения. Установлено, что абсолютная тепловая инерция материала зависит от его толщины. Анализ результатов показал явную зависимость слоя резких колебаний температуры при прочих равных факторах от широты местности. Этот очевидный результат объясняется особенностями распределения суточного хода температуры воздуха и радиации как функций широты местности: с увеличением широты местности величина слоя резких колебаний увеличивается.

Ключевые слова: наружные ограждающие конструкции, тепловая защита зданий, слой резких колебаний температур, географическая широта, тепловая инерция, тепловой поток.

E.V. Shchipacheva, S.S. Shaumarov

Tashkent State University of Transport, Tashkent, Uzbekistan

INFLUENCE OF THE GEOGRAPHICAL LATITUDE OF THE AREA ON THE THERMAL INERTIA OF THE EXTERNAL ENCLOSING STRUCTURES OF BUILDINGS

Requirements for the reduction of energy resources during the operation of buildings and the emissions of carbon dioxide at all stages of their construction determine the need to search for new approaches to the design of external enclosing structures with increased heat-shielding properties. One of the most important parameters of the heat-shielding properties of external fences is the thickness of the layer of sharp temperature fluctuations, since it is within this layer that the most intense attenuation of temperature fluctuations occurs. In this regard, it was of certain interest to study the dependence of the behavior of the temperature amplitudes in the fencing layer and the dynamics of the change in the thickness of the layer of sharp temperature fluctuations on the latitude of the area (all other things being equal). The article presents the research results based on the data obtained on seven meteorological stations at different geographical latitudes, covering practically all latitudinal regions of Uzbekistan. The calculations were carried out for single-layer wall structures with a thickness of 200 to 500 mm with a step of 50 mm at three different values of the coefficient of heat assimilation of fencing materials, selected in a wide range. The article also presents the results of a study of the dependence of the thickness of the layer of sharp fluctuations d in a fence with a thickness of δ on the latitude of the terrain for such cities as Termez, Baysun, Sanzar, Fergana, Tashkent, Nukus, Akbaital. On the basis of the performed calculations, the tendency of the dependence of the layer of sharp fluctuations on the thickness of the fence was

determined. It was found that the absolute thermal inertia of a material depends on its thickness. Analysis of the results showed a clear dependence of the layer of sharp temperature fluctuations, all other factors being equal, on the latitude of the area. This obvious result is explained by the peculiarities of the distribution of the daily variation of air temperature and radiation as functions of the latitude of the area: with an increase in the latitude of the area, the magnitude of the layer of sharp fluctuations increases.

Keywords: external enclosing structures, thermal protection of buildings, layer of sharp temperature fluctuations, geographical latitude, thermal inertia, heat flow.

Наружные ограждения зданий являются «барьером» между природной и искусственной средами, в связи с этим они испытывают воздействия со стороны каждой из них. Непосредственно контактируя с внутренней средой помещения, ограждающие конструкции могут оказывать значительное влияние на формирование микроклимата. Поэтому в системе «климат – ограждающие конструкции – искусственная среда» должны быть исследованы условия взаимодействия наружных ограждений с климатическими факторами, а также теплофизические свойства ограждающих конструкций, способных обеспечить комфортный микроклимат помещений.

Многочисленные исследования в области тепловой защиты зданий, выполненные в различных странах мира, посвящены вопросам конструирования наружных ограждений с целью обеспечения более высокого уровня их теплозащитных свойств, разработке новых теплоизоляционных материалов, уточнению отдельных расчетных положений [1–12]. В то же время вопросам теоретического характера уделяется неоправданно меньшее внимание, что вполне объяснимо неярким практическим значением полученных результатов.

Вместе с тем подчас именно они являются тем материалом, который необходим для развития теоретических методов исследований, способствующих кардинальному изменению подходов к расчету и проектированию, в том числе наружных ограждающих конструкций. Такого рода исследованиям и их результатам посвящена настоящая статья.

Требования к сокращению энергетических ресурсов при эксплуатации зданий и выбросу углекислого газа на всех стадиях их возведения определяют необходимость в поиске новых подходов к проектированию наружных ограждающих конструкций, обладающих повышенными теплозащитными свойствами.

Одним из важнейших параметров теплозащитных свойств наружных ограждений является толщина слоя резких колебаний температур (d), поскольку именно в его пределах происходит наиболее интенсивное затухание температурных колебаний, а слои, расположенные за ним, оказывают гораздо меньшее влияние на величину усвоения тепла внутренней поверхностью ограждающей конструкции, а следовательно, и на колебания ее температуры (рис. 1).

Поскольку в пределах толщи d конструкции происходит интенсивное затухание температурных колебаний, эффективно именно в границах этой толщи размещать слои с наиболее высокими показателями тепловой инерции.

Учитывая, что в условиях сухого жаркого климата необходимо обеспечить теплозащиту как в зимнее, так и в летнее время, а следовательно, рассматривать тепловой поток в двух противоположных направлениях, в условиях Узбекистана такие слои целесообразно размещать с обеих сторон ограждающей конструкции. Отсюда следует необходимость проведения специальных исследований по разработке строительных материалов для наружных слоев ограждающих конструкций, обеспечивающих требуемую тепловую инерцию для условий сухого жаркого климата.

В связи с этим представляло определенный интерес исследовать зависимость поведения амплитуд температуры в слое ограждения от широты местности (при прочих равных условиях), а вместе с тем и динамику изменения толщины слоя резких колебаний температуры.

Основой для таких исследований явилось то, что, как было установлено нами ранее [14], температура в толще ограждающей конструкции $T(t, \delta)$ зависит от суточного хода температуры воздуха и солнечной радиации.

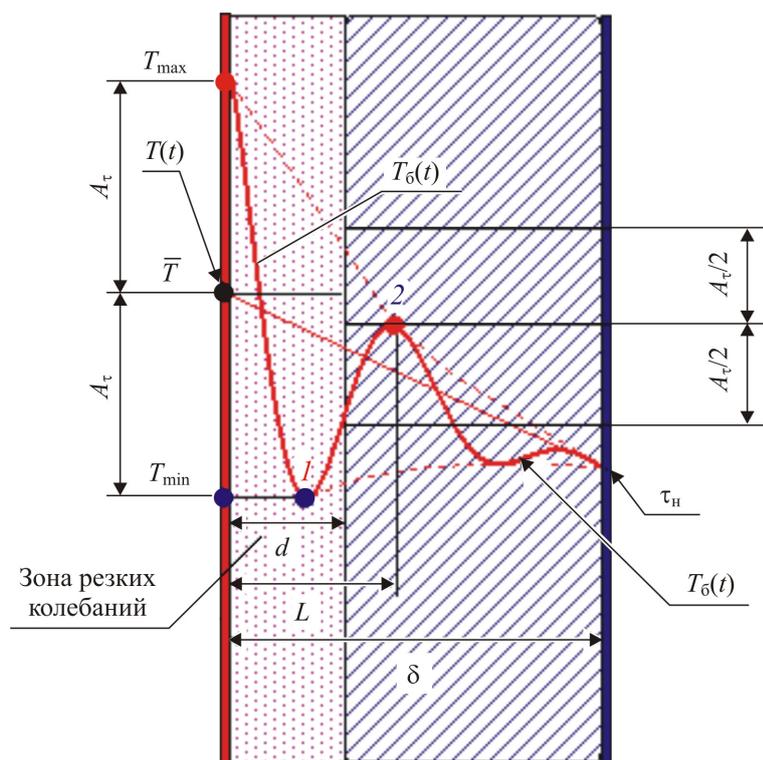


Рис. 1. Схема колебаний температуры в толще ограждения [13]

Обозначения: кривая $T_{\delta}(t)$ – косинусоида затухающих колебаний температуры в толще ограждения. Слой d – зона резких колебаний температуры, которая подвержена наибольшему влиянию колебаний температуры внутренней поверхности $T(t)$; L – длина волны; δ – толщина ограждения; τ_n – температура наружной поверхности; A_{τ} – амплитуда колебаний температуры внутренней поверхности. Точка 1 соответствует минимуму температуры внутренней поверхности T_{\min} , точка 2 – максимуму T_{\max} , \bar{T} – среднее значение температуры внутренней поверхности.

Для проведения исследований были выбраны семь метеорологических станций на разных географических широтах, охватывающих практически все широтные области Узбекистана. Расчеты выполнялись для однослойных стеновых конструкций толщиной от 200 до 500 мм с шагом 50 мм при трех различных значениях коэффициента теплоусвоения материалов ограждений Y_b , выбранных в широком диапазоне. Результаты расчетов представлены на рис. 2 (а–ж) и в сводной таблице.

Анализ результатов показал явную зависимость слоя резких колебаний температуры при прочих равных факторах от широты местности. Этот очевидный результат объясняется особенностями распределения суточного хода температуры воздуха и радиации как функций широты местности: с увеличением широты местности величина слоя резких колебаний увеличивается. Так, с увеличением широты района строительства от 37° с.ш. до 43° с.ш. толщина слоя резких колебаний температуры возрастает на 16–18 % в зависимости от толщины стенового ограждения.

С практической точки зрения эти различия в величине слоя резких колебаний в пределах широтной зоны Узбекистана незначительны: $|\Delta d_{\max}| = 1,888$ мм между южной и северной метеостанциями.

Тем не менее с теоретической точки зрения это достаточно важный результат, так как демонстрирует изменение тепловой инерции материала в зависимости от того, на какой широте его используют.

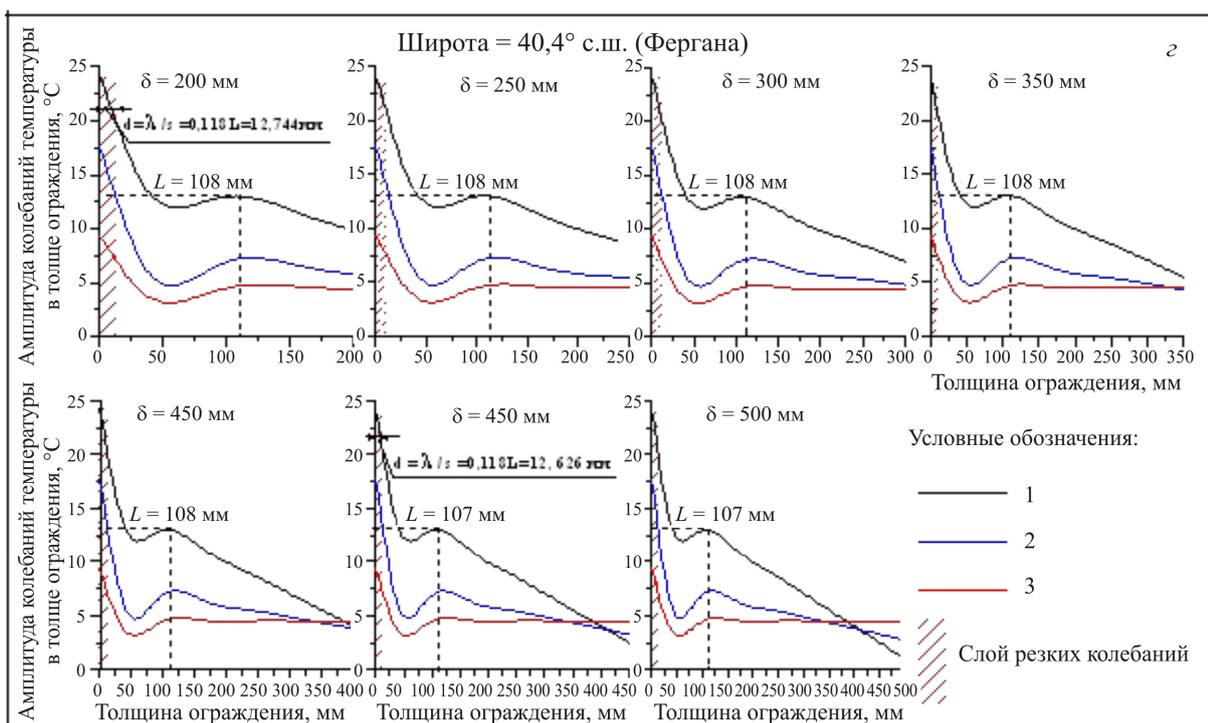
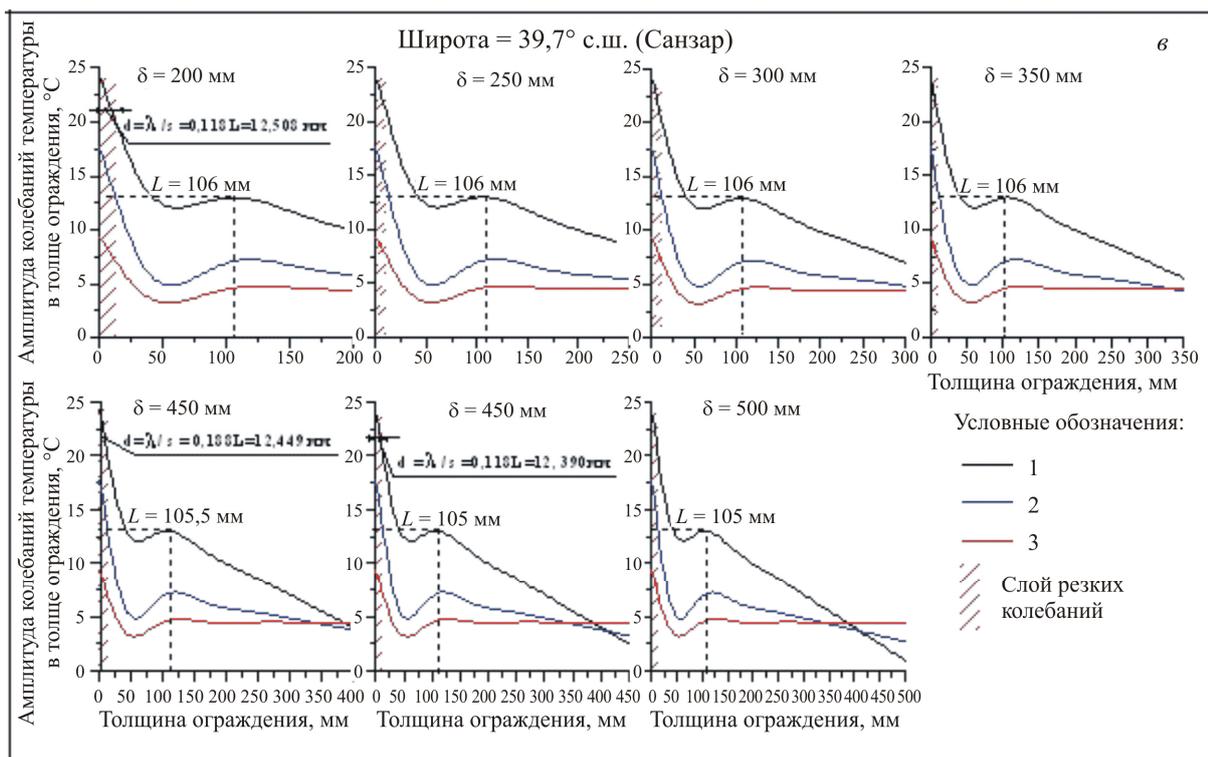


Рис. 2. Продолжение

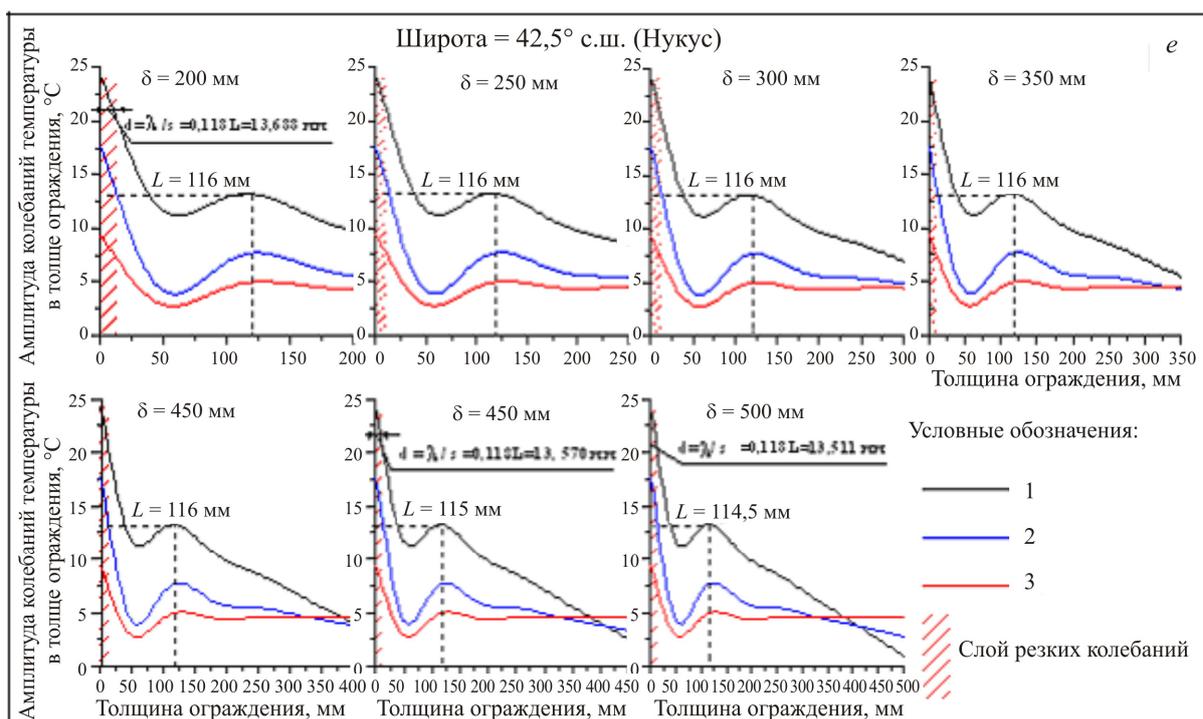
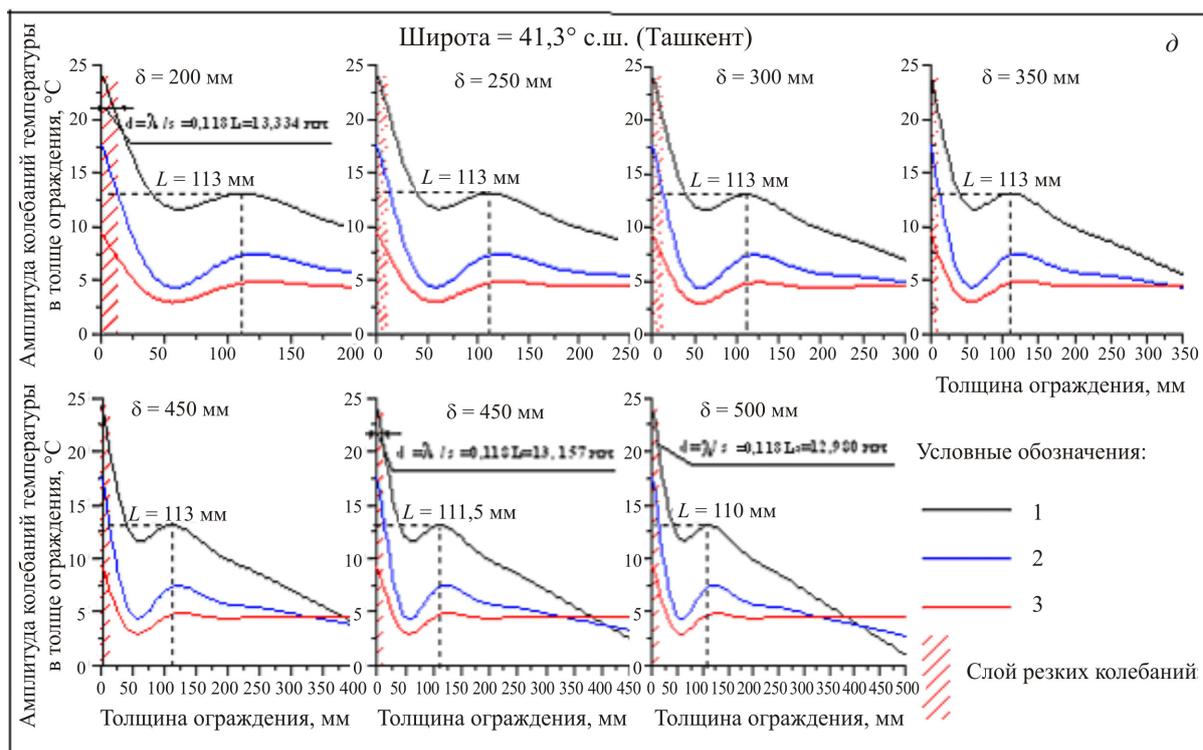


Рис. 2. Продолжение

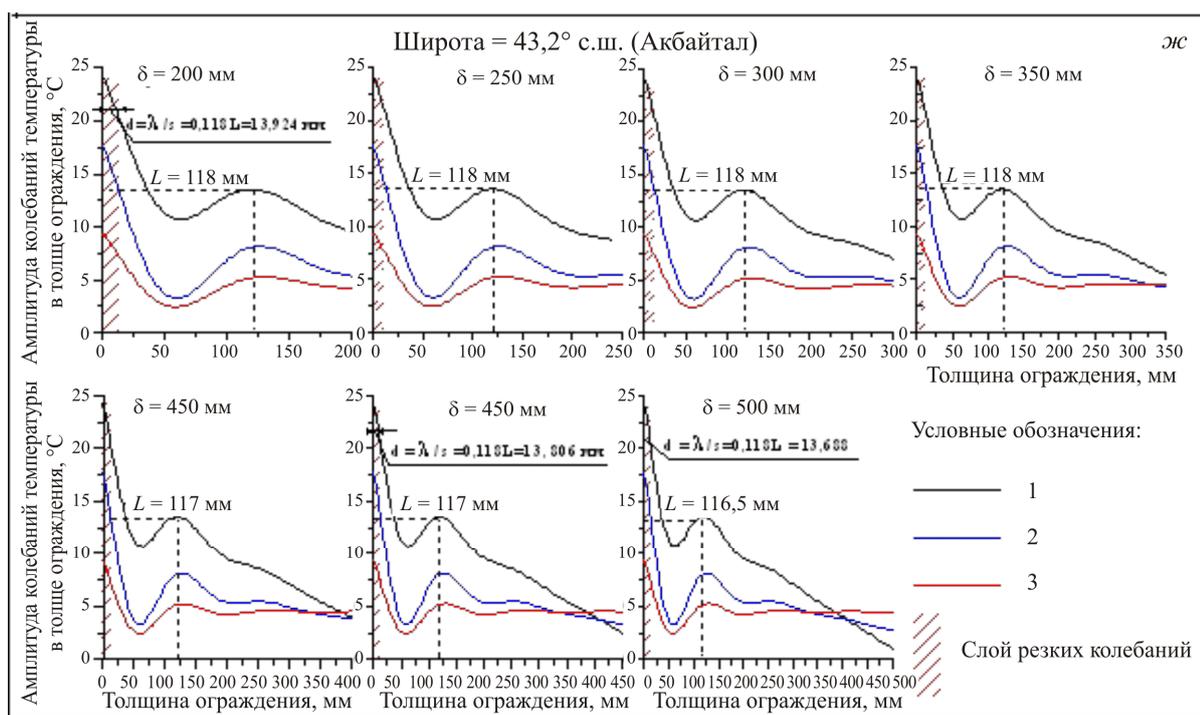


Рис. 2. Окончание

С одной стороны, показатель тепловой инерции D пропорционален числу длин волн, укладываемых в слое ограждения толщиной δ . С другой стороны, как было установлено ранее, он зависит от периода колебаний теплового потока [15]. С уменьшением периода колебаний теплового потока увеличивается показатель тепловой инерции ограждения: с уменьшением длины температурной волны растет число волн, укладываемых в ограждении, а значит, температурные колебания затухают быстрее.

Сводная таблица результатов исследования зависимости толщины слоя резких колебаний d в ограждении толщиной δ от широты местности

Параметры	Толщина ограждения δ , мм						
	200	250	300	350	400	450	500
$\varphi = 37,3^\circ \text{с. ш. (Термез)}$							
L , мм	100	100	100	100	100	100	99,5
d , мм	11,800	11,800	11,800	11,800	11,800	11,800	11,741
$D^* = \delta/L$	2,000	2,500	3,000	3,500	4,000	4,500	5,025
$\varphi = 38,2^\circ \text{с. ш. (Байсун)}$							
L , мм	102	102	102	102	102	101,5	101,5
d , мм	12,036	12,036	12,036	12,036	12,036	11,977	11,977
$D^* = \delta/L$	1,961	2,451	2,941	3,431	3,921	4,433	4,926
$\varphi = 39,7^\circ \text{с. ш. (Санзар)}$							
L , мм	106	106	106	106	105,5	105	105
d , мм	12,508	12,508	12,508	12,508	12,449	12,390	12,390
$D^* = \delta/L$	1,886	2,358	2,830	3,301	3,791	4,285	4,761
$\varphi = 40,4^\circ \text{с. ш. (Фергана)}$							
L , мм	108	108	108	108	108	107	107
d , мм	12,744	12,744	12,744	12,744	12,744	12,626	12,626
$D^* = \delta/L$	1,851	2,315	2,777	3,241	3,704	4,205	4,673
$\varphi = 41,3^\circ \text{с. ш. (Ташкент)}$							
L , мм	113	113	113	113	113	111,5	110
d , мм	13,334	13,334	13,334	13,334	13,334	13,157	12,980
$D^* = \delta/L$	1,770	2,212	2,654	3,097	3,540	4,035	4,545

Окончание таблицы

φ = 42,5°с. ш. (Нукус)							
<i>L</i> , мм	116	116	116	116	116	115	114,5
<i>d</i> , мм	13,688	13,688	13,688	13,688	13,688	13,570	13,511
<i>D</i> [*] = δ/ <i>L</i>	1,724	2,155	2,586	3,017	3,448	3,913	4,367
φ = 43,2°с. ш. (Акбайтал)							
<i>L</i> , мм	118	118	118	118	117	117	116,5
<i>d</i> , мм	13,924	13,924	13,924	13,924	13,806	13,806	16,688
<i>D</i> [*] = δ/ <i>L</i>	1,694	2,118	2,542	2,966	3,419	3,846	4,292

Примечание. Поскольку в расчетах была принята $D = 1$ ($d = 0,118L$), в таблице в качестве характеристики тепловой инерции ограждения приводится относительная величина D^* тепловой инерции, равная количеству волн, укладываемых в ограждении толщиной δ .

Для слоя резких колебаний с $D = 1$ известно [16], что внутри него располагается $1/8,5$ длины волны, т.е. $d = \lambda/s = 0,118L$ (L – длина волны). В свою очередь толщина слоя резких колебаний d уменьшается при сокращении периода колебаний теплового потока P (уменьшения длины волны) и увеличивается с его увеличением. Именно эти свойства и проявились в поведении слоя резких колебаний, вычисленного при прочих равных факторах на различных широтах. Кроме того, выполненные расчеты показали некоторую тенденцию зависимости слоя резких колебаний от толщины ограждения. Однако полученная зависимость в количественном отношении столь незначительна, что делать здесь какие-либо серьезные выводы преждевременно.

Вместе с тем заметим, что по очевидным причинам абсолютная тепловая инерция материала зависит от его толщины. По-видимому, в выбранном диапазоне толщин ограждения эта зависимость проявляется в очень слабой степени или в наших аналитических выражениях не были учтены какие-то параметры. Для более глубокого исследования этого вопроса необходимо получить прямое аналитическое выражение для этой зависимости.

Таким образом, в результате исследований выявлена зависимость толщины слоя резких колебаний температуры ограждающей конструкции от географической широты района строительства, обусловленная особенностями распределения суточного хода температуры воздуха и радиации как функций широты местности. Так, с увеличением широты района строительства от 37°с.ш. до 43°с.ш. толщина слоя резких колебаний температуры возрастает на 16–18 %, что свидетельствует о зависимости тепловой инерции материала от широты местности.

Список литературы

1. Wang N.N., Chang Y.C., Dauber V., Carbon Print Studies for the Energy Conservation Regulations of the UK and China // *Energy and Buildings*. – 2010. – Vol. 42, no. 5. – P. 695–698.
2. New Concepts and Approach for Developing Energy Efficient Buildings: Ideal Specific Heat for Building Internal Thermal Mass / R.L. Zeng, X. Wang, H.F. Di, F. Jiang, Y.P. Zhang // *Energy and Buildings*. – 2011. – Vol. 43, no. 5. – P. 1081–1090.
3. Ghoneim A.A., Klein S.A., Duffie J.A. Analysis of Collector–Storage Building Walls Using Phase Change Materials // *Solar Energy*. – 1991. – vol. 47, no. 1. – P. 237–242.
4. Cheng R, Wang X, Zhang Y. Energy-Efficient Building Envelopes with Phase-Change Materials: New Understanding and Related Research, Department of Building // *Science and Key Laboratory of Eco Planning & Green Building, Ministry of Education, Tsinghua University, Beijing, China, heat transfer engineering*. – 2014. – Vol. 35, no. 11–12. – P. 970–984.
5. Kheiri F. A review on optimization methods applied in energy-efficient building geometry and envelope design // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. – 2018. – Vol. 92. – P. 897–920.
6. Examination of the Energy Efficiency of Wall Building Elements Used in Dwellings / I. Vural, T. Akgül, E. Aydın, F. Aydın // *Acta Physica Polonica Series*. – 2015. – No. 127 (4). – P. 1417–1420.

7. Integrated Life Cycle Energy and Greenhouse Gas Analysis of Exterior Wall Systems for Residential Buildings // *Sustainability*. – 2014. – Vol. 6 (12). – P. 8592–8603
8. Azari, R. Integrated energy and environmental life cycle assessment of office building envelopes / R. Broun, H. Babaizadeh, A. Zakersalehi, G.F. Menzies // *Build. Environ.* – 2014. – Vol. 82. – P. 156–162.
9. Девятникова А., Зайцева М., Мухин С. Анализ теплотехнических свойств наружной стены на основе тепловизионной съемки // *Resources and Technology*. – 2016. – № 13 (3). – С. 30–41.
10. Стерлягов А.Н., Низовцев М.И. Теплотехнические особенности наружных стен малоэтажных зданий // *Ограждающие конструкции зданий, энерго- и ресурсосбережение*. – 2016. – С. 114–123.
11. Горшков А.С., Ливчак В.И. История, эволюция и развитие нормативных требований к ограждающим конструкциям // *Строительство уникальных зданий и сооружений*. – 2015. – № 3. – С. 7–37.
12. Потребительские свойства стеновых изделий из автоклавного газобетона / Н.И. Ватин, А.С. Горшков, С.В. Корниенко, И.И. Песряков // *Строительство уникальных зданий и сооружений*. – 2016. – № 1. – С. 78–101.
13. Барабанщиков Ю.Г. Ограждающие конструкции и материалы. – СПб.: Гос. политехн. ун-т, 2005. – 24 с.
14. Щипачева Е.В. Новые требования к материалам ограждающих конструкций при оценке энергоэффективности зданий // *ACADEMIA. Архитектура и строительство*. – М.: РААСН, 2008. – № 2. – С. 62–63.
15. Тахиров М.К., Щипачева Е.В. К вопросу оптимизации теплотехнических характеристик ограждающих конструкций зданий // *Проблемы механики*. – 2008. – № 1. – С. 14–17.
16. Фокин К.Ф. Строительная теплотехника ограждающих конструкций. – М.: Стройиздат, 1973. – 286 с.

References

1. Wang, N. N., Chang, Y. C., and Dauber, V., Carbon Print Studies for the Energy Conservation Regulations of the UK and China, *Energy and Buildings*, vol. 42, no. 5, pp. 695–698, 2010.
2. Zeng, R. L., Wang, X., Di, H. F., Jiang, F., and Zhang, Y. P., New Concepts and Approach for Developing Energy Efficient Buildings: Ideal Specific Heat for Building Internal Thermal Mass, *Energy and Buildings*, 2011, vol. 43, no. 5, pp. 1081–1090.
3. Ghoneim, A. A., Klein, S. A., and Duffie, J. A., Analysis of Collector–Storage Building Walls Using Phase Change Materials, *Solar Energy*, 1991, vol. 47, no. 1, pp. 237–242.
4. Cheng, R, Wang, Kh, Zhang Y. Energy-Efficient Building Envelopes with Phase-Change Materials: New Understanding and Related Research, Department of Building, Science and Key Laboratory of Eco Planning & Green Building, Ministry of Education, Tsinghua University, Beijing, China, heat transfer engineering, 2014, vol. 35, nos. 11–12, pp. 970–984.
5. F. Kheiri, “A review on optimization methods applied in energy-efficient building geometry and envelope design”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2018, vol. 92, pp. 897–920.
6. Vural, I., Akgül T, Aydın E, Aydın F, Examination of the Energy Efficiency of Wall Building Elements Used in Dwellings, *Acta Physica Polonica Series*, 2015, no. 127 (4), pp. 1417–1420.
7. Broun R., Babaizadeh H., Zakersalehi A., Menzies G.F. Integrated Life Cycle Energy and Greenhouse Gas Analysis of Exterior Wall Systems for Residential Buildings, *Sustainability*, 2014, 6 (12), p.p. 8592–8603
8. Azari, R. Integrated energy and environmental life cycle assessment of office building envelopes, *Build. Environ*, 2014, 82, pp. 156–162.
9. Deviatnikova A, Zaitseva M., Mukhin S. Analiz teplotekhnicheskikh svoistv naruzhnoi steny na osnove teplovizionnoi s"emki [Analysis of the thermal properties of the outer wall based on thermal imaging] *Resources and Technology*, 2016, no. 13 (3), pp. 30–41.
10. Sterliagov A.N., Nizovtsev M.I. Teplotekhnicheskije osobennosti naruzhnykh sten maloetazhnykh zdaniy [Thermal engineering features of the exterior walls of low-rise buildings] *Ograzhdaiushchie konstruksii zdaniy, energo- i resur-sosberezhenie*, 2016, pp. 114–123.
11. Gorshkov A.S., Livchak V.I. Istoriia, evoliutsiia i razvitie normativnykh trebovanii k ograzhdaiushchim konstruksiiam [History, evolution and development of regulatory requirements for enclosing structures] *Stroitel'stvo unikal'nykh zdaniy i sooruzhenii*, 2015, no. 3, pp. 7–37.

12. Vatin N.I. Gorshkov A.S., Kornienko S.V., Pesriakov I.I. Potrebitel'skie svoystva stenovykh izdelii iz avtoklav-nogo gazobetona [Consumer properties of autoclaved aerated concrete wall products] *Stroitel'stvo unikal'nykh zdaniy i sooruzhenii*, 2016, no. 1, pp. 78–101.

13. Barabanshchikov Iu.G. Ograzhdaiushchie konstruksii i materialy [Enclosing structures and materials] *Gosudarstvennyi Politekhnicheskii Universitet, Saint Petersburg*, 2005, 24 p.

14. Shchipacheva E.V. Novye trebovaniia k materialam ograzhdaiushchikh konstruksii pri otsenke energoeffektivnosti zdaniy [New requirements for materials of enclosing structures in the assessment of energy efficiency of buildings] *ACADEMIA. Arkhitektura i stroitel'stvo*, 2008, no. 2, pp. 62–63.

15. Takhirov M.K., Shchipacheva E.V. K voprosu optimizatsii teplotekhnicheskikh kharakteristik ograzhdaiushchikh konstruksii zdaniy [On the issue of optimizing the thermal characteristics of building enclosing structures] *Problemy mekhaniki*, 2008, no. 1, pp. 14–17.

16. Fokin K.F. Stroitel'naia teplotekhnika ograzhdaiushchikh konstruksii [Construction heat engineering of enclosing structures]. Moscow, *Stroiizdat*, 1973, 286 p.

Получено 23.03.2021

Об авторах

Щипачева Елена Владимировна – доктор технических наук, профессор кафедры «Строительство зданий и промышленных сооружений, Ташкентского государственного университета транспорта (100167, г. Ташкент, Мирабадский район, ул. Адълходжаева, 1, e-mail: eshipacheva@mail.ru).

Шаумаров Саид Санатович – доктор технических наук, доцент, проректор, Ташкентского государственного университета транспорта (100167, г. Ташкент, Мирабадский район, ул. Адълходжаева, 1, e-mail: shoumarovss@gmail.com).

About the authors

Elena V. Shipacheva (Tashkent, Uzbekistan) – Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Construction of Buildings and Industrial Structures, Tashkent State University of Transport (1, Adylkhodjaev st., Mirabad district, Tashkent, 100167, Uzbekistan, e-mail: eshipacheva@mail.ru).

Said S. Shaumarov (Tashkent, Uzbekistan) – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Vice-Rector, Tashkent State University of Transport (1, Adylkhodjaev st., Mirabad district, Tashkent, 100167, Uzbekistan, e-mail: shoumarovss@gmail.com).