

УДК 69 022 : 31.19

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОУСТОЙЧИВОСТИ НАРУЖНЫХ
ОГРАЖДЕНИЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ ТЕПЛОВЫХ ПОТЕРЬ ЗДАНИЯ И
МИКРОКЛИМАТА ЕГО ПОМЕЩЕНИЙ**

Береговой Александр Маркович,

*Пензенский государственный университет архитектуры и строительства,
г.Пенза,*

*доктор технических наук, профессор кафедры «Городское строительство и
архитектура».*

Дерина Мария Александровна,

*Пензенский государственный университет архитектуры и строительства,
г.Пенза,*

соискатель кафедры «Городское строительство и архитектура».

Аннотация

На основании составленной модели дается анализ влияния критериев теплоустойчивости наружных ограждений, изготовленных из различных материалов, на формирование микроклимата помещений и на величину их тепловых потерь. На примерах конкретных конструктивных схем наружных стен показано, что максимальные тепловые потери увеличиваются с ростом величины их тепловой инерции.

Ключевые слова: критерии теплоустойчивости, тепловая инерция, наружные ограждения, тепловые потери.

**MODELING THE THERMAL STABILITY OF EXTERNAL ENCLOSURES
TO ESTIMATE THE HEAT LOSSES OF THE BUILDING AND THE
MICROCLIMATE OF ITS APARTMENTS**

Beregovoy Alexander Markovich,

Penza State University of Architecture and Construction, Penza,

Doctor of Sciences, Professor of the department "Urban Construction and Architecture".

Derina Maria Alexandrovna,

Penza State University of Architecture and Construction, Penza,

Post-graduate student of the department «Urban construction and Architecture».

Abstract

On the basis of the developed model there was given the analysis of the influence of the thermal stability criteria of external enclosures, made of various materials, on the formation of indoor climate and on the heat losses through these structures during the period of sharp cooling. On the examples of construction solutions of the external walls it was shown that the maximum heat losses increase with raising of their thermal lag.

Keywords: criteria of the thermal stability, thermal lag, external enclosures, heat losses.

Введение. Моделирование оптимальной конструкции наружного ограждения здания основывается на анализе критериев, связанных с физико-механическими и теплофизическими свойствами. Эти критерии носят противоречивый характер, поскольку для увеличения прочности требуется материал более высокой плотности, у которого возрастает теплопроводность. Нередко при разработке таких моделей завышается роль критерия прочности, что в определенной мере снижает энергоэффективность наружного ограждения и вызывает увеличение тепловых потерь здания.

Выбор оптимальных теплофизических критериев усложняется тем, что в методике теплотехнического проектирования наружного ограждения фигурирует целый ряд теплоэнергетических параметров, по-разному влияющих на уровень тепловой эффективности этой конструкции. Учитывая важность соблюдения требований ФЦП по энергоэффективности и энергосбережению в строительстве, очевидно, что в реальных условиях эксплуатации здания,

отличающихся нестационарными температурными воздействиями окружающей среды, особую роль должны играть такие теплотехнические показатели ограждающих конструкций, которые позволяют существенно уменьшать расход энергоресурсов на отопление зданий и в то же время поддерживать комфортные условия микроклимата их помещений. Таким образом, одной из причин невысокой энергоэкономичности наружных ограждающих конструкций является слабый учет в практике проектирования специфики их теплообмена с окружающей средой при нестационарных воздействиях температуры наружного воздуха в холодный период года.

Результаты опубликованных теоретических исследований показывают, что уровень теплоизоляции наружных ограждений является недостаточным критерием оценки их теплозащитной способности. А опыт эксплуатации зданий свидетельствует о том, что многие ограждающие конструкции с надежными теплоизоляционными качествами не обладают необходимой теплоустойчивостью для их использования в гражданских зданиях (например, стены типа «сэндвич», а также наружные ограждения с использованием несъемной пенополистирольной опалубки).

В условиях окружающей среды, отличающихся значительными колебаниями температуры и интенсивности солнечной радиации, не менее важным критерием является также теплоаккумулирующая способность ограждения, связанная с ее тепловой инерцией и теплоустойчивостью.

Цель исследования. Целью исследования является анализ критериев теплоустойчивости и теплоаккумулирующей способности наружных ограждающих конструкций, обеспечивающих формирование комфортного микроклимата помещений и снижение тепловых потерь здания.

Материалы и методы. Для оценки параметров микроклимата помещений составлена расчетная модель, основанная на анализе критериев теплоустойчивости наружного ограждения. На этот критерии оказывают непосредственное влияние объемная теплоемкость $C_0 \cdot \gamma$ материала, теплоаккумулирующая способность $Q_{акк}$ и тепловая инерция D конструкции, а

также величина затухания в ней температурных колебаний и Теплоаккумулирующие свойства местных строительных материалов и конструкций, а также влияние тепловой инерции наружных ограждений на формирование теплового режима зданий рассмотрены в работах [1, 2].

В таблице 1 приведены критерии теплоустойчивости однослойного ограждения толщиной 25 см [3], найденные по известным уравнениям строительной теплофизики:

коэффициент теплоусвоения материала конструкции или ее слоя

$$S = \sqrt{(\lambda \cdot C_0 \cdot \gamma \cdot 2\pi / T)}, \quad (1)$$

где λ – коэффициент теплопроводности материала конструкции, Вт/м·°С;

C_0 – удельная теплоемкость, кДж/кг·°С;

γ – плотность материала, кг/м³;

T – период колебания теплового потока, сут.;

$D = R \cdot S$.

$$\nu = 0,9 \cdot e^{(D/2)} \cdot \frac{(S_1 + \alpha_{в}) (S_2 + Y_1) \dots (S_n + Y_{n-1}) (\alpha_{н} + Y_n)}{(S_1 + Y_1) (S_2 + Y_2) \dots (S_n + Y_n) \alpha_{н}} \quad (2)$$

где Y_1 и Y_n – коэффициенты теплоусвоения наружной поверхности отдельных слоев конструкции, Вт/(м²·°С).

Данные таблицы 1 показывают, что все рассмотренные материалы ограждения (кроме п.5) имеют достаточно большую объемную теплоемкость, однако по критериям теплоустойчивости D и ν конструкции из керамзитобетона и кирпичной кладки значительно уступают конструкциям из дерева и арболитобетона. Последние могут обеспечить большее снижение амплитуды колебаний внутренней поверхности в любое время года и меньшее количество поступающего летом тепла в помещения, особенно по сравнению с конструкциями по типу панелей «сэндвич» с утеплителем из пенополистирола.

Что касается слоистых наружных ограждений, то полученные результаты расчета подтверждают целесообразность месторасположения теплоаккумулирующего слоя с внутренней стороны конструкции, что позволяет

ему выполнять несущую функцию и принимать непосредственное участие в формировании стабильного теплового режима помещений в зимнее время. Следующий, теплоизоляционный слой, обеспечивает резкое затухание температурной волны в ограждении, а также требуемое сопротивление теплопередаче конструкции и достаточный прогрев теплоаккумулирующего слоя теплым внутренним воздухом.

Таблица 1 – Критерии теплоустойчивости однослойного ограждения

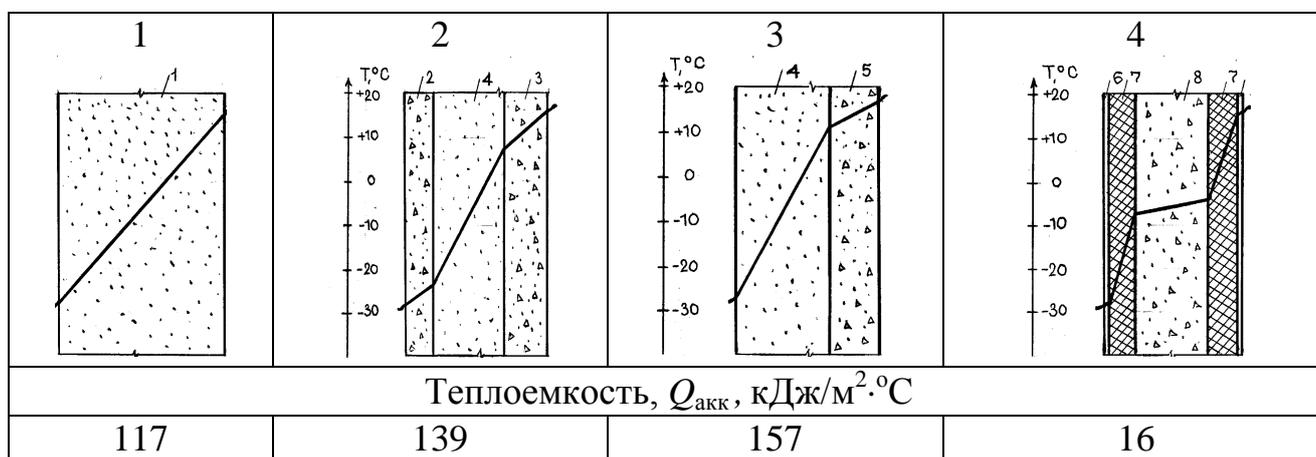
№ № п/п	Материал конструкции	γ , кг/м ³	S , Вт/м ² ·°С	R , м ² ·°С/Вт	$C_0 \cdot \gamma$	D	ν
1	Дерево (сосна поперек волокон)	500	4,54	1,39	1150	6	137,9
2	Арболитобетон	450	2,56	2,27	630	5,82	136,7
3	Керамзитобетон на керамзитовом песке	1000	6,13	0,61	840	3,74	19,1
		1200	7,57	0,48	1008	3,63	16,86
4	Кирпичная кладка из глиняного сплошного кирпича	1800	10,12	0,31	1584	3,14	11,05
5	Пенополистирол	40	0,43	6,1	53,6	2,62	62,4

Теплоустойчивость ограждающих конструкций влияет на амплитуду колебаний температуры внутреннего воздуха $A_{вн}$. Величину $A_{вн}$ можно оценить величиной теплоемкости 1 м² конструкции $Q_{акк}$, кДж/м²·°С.

В таблице 2 показаны четыре конструктивных схемы однослойной и многослойных наружных стеновых ограждений, которые выполнены из составов ячеистого бетона и тяжелого композита, разработанных в Пензенском ГАСУ [3, 4], а также из других материалов. Конструктивная схема №4 представляет собой наружную стену с оставляемой опалубкой из пенополистирола и средним слоем из керамзитобетона.

Рост показателя $Q_{акк}$ ограждающих конструкций обеспечивает снижение показателя $A_{вн}$, то есть повышение теплового комфорта помещений. Из рассмотренных ограждающих конструкций в наибольшей мере этим свойством обладают варианты по схемам №2 и №3 с утеплителем из ячеистого бетона, у которых конструктивные слои со стороны помещения обладают большей плотностью и теплоаккумулирующей способностью материалов, а в наименьшей мере – вариант №4 конструкции с оставляемой опалубкой из пенополистирола и средним слоем из бетона.

Таблица 2 – Конструкции наружных ограждений с линиями распределения температур



Примечание к таблице 2: индексами обозначены конструктивные слои.

Наименование слоев, их толщина δ , мм, плотность материала, γ , кг/м³:

1 – ячеистый бетон, $\delta = 450$; $\gamma = 600$; 2, 3 – керамзитобетон, $\delta = 80$ и 120 , $\gamma = 1200$; 4 – ячеистый бетон, $\delta = 200$, $\gamma = 300$; 5 – тяжелый композит, $\delta = 120$, $\gamma = 4000$; 6 – цементно-песчаная штукатурка, $\delta = 30$, $\gamma = 1700$; 7 – пенополистирол, $\delta = 60$, $\gamma = 40$; 8 – керамзитобетон, $\delta = 180$, $\gamma = 1800$; 9 – листы гипсовые обшивочные, $\delta = 20$, $\gamma = 800$.

Конструкции стен с использованием ячеистого бетона и тяжелого композита имеют более благоприятные линии распределения температур: зоны низких и отрицательных температур, а, следовательно, и плоскости возможной конденсации, дальше смещены от внутренней поверхности в толщу

конструкций, большой массив ограждений прогреет внутренним теплым воздухом. Линии температур по сечению стен были построены при расчетных значениях температур наружного и внутреннего воздуха соответственно -29°C и $+18^{\circ}\text{C}$.

В схеме с пенополистирольной опалубкой средний слой из керамзитобетона, хотя и обладает большей теплоемкостью, чем ячеистый бетон в схеме №1, но он целиком находится в зоне отрицательных температур и фактически не участвует в теплоаккумуляционном обмене с внутренней воздушной средой.

Расчетная модель, оценивающая влияние на тепловые потери Q такого критерия теплоустойчивости наружного ограждения, как тепловая инерция D , была составлена для нескольких конструкций, имеющих одинаковое термическое сопротивление ($R=3,6 \text{ м}^2\cdot^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$). Расчет выполнен для периода резкого похолодания в климатических условиях центральных регионов России. Основу модели составили уравнения по определению максимальной величины теплотер Q_N^{max} , $\text{Вт}/\text{м}^2$, через эти конструкции [5]. В уравнении (3) первое слагаемое обозначает теплотер в начале периода резкого похолодания, а второе – дополнительные теплотер, зависящие от величины тепловой инерции D .

$$Q_N^{\text{max}} = [(t_{\text{в}} - t_{\text{н}}) \cdot n \cdot F_N \cdot \eta_N / R_{N\text{пр}}] + \Delta Q_N, \quad (3)$$

$$\Delta Q_N = \psi_N \cdot A_{\text{тн}} \cdot n_N \cdot F_N (\Delta Z_{\text{р.п.}} - \Delta Z_N) / \Delta Z_{\text{р.п.}} \cdot R_{N\text{пр}} \quad (4)$$

Расчет показал, что в зависимости от критерия теплоустойчивости D величина Q_N^{max} для некоторых из применяемых в строительстве наружных ограждающих конструкций имеет следующие значения:

- трехслойное ограждение из ДСП и минваты: $D = 0.71, \quad Q_N^{\text{max}} = 14.44;$
- керамзитобетон в пенополистирольной опалубке: $D = 1.18, \quad Q_N^{\text{max}} = 13.45;$
- однослойное ограждение из ячеистого бетона: $D = 2.40, \quad Q_N^{\text{max}} = 10.95.$

Заключение. Наружные ограждающие конструкции из материалов, разработанных в Пензенском ГУАС, способствуют повышению теплового

комфорта помещений, поскольку их конструктивные слои обладают сравнительно большой теплоаккумулирующей способностью.

Максимальные теплотери через наружные стены за период резкого похолодания увеличиваются с ростом величины их тепловой инерции.

Библиографический список:

1. Береговой А.М., Прошин А.П., Береговой В.А. Теплотехническая эффективность использования высоконаполненных композитов в ограждающих конструкциях // Промышленное и гражданское строительство. 1996. №11. С. 42-43.

2. Соломатов В.И., Прошин А.П., Береговой В.А., Береговой А.М. Теплотехнические свойства тяжелых композитов для защиты от радиации // Известия вузов. Строительство. 1998. №9. С. 29-33.

3. Береговой В.А., Прошин А.П., Береговой А.М., Солдатов С.Н. Теплоизоляционный арболит на основе гипсоцементопуццоланового вяжущего и растительного сырья // Современные проблемы строительного материаловедения: VI-е Академические чтения РААСН. Иваново, 2000. С. 63-68.

4. Beregovoi V.A., Proshin A.P., Beregovoi A.M., Soldatov S.N. Heat-conducting properties of small-power-hungry cellular concrete // Asian journal of civil engineering (Building and housing). 2000. No 4. Vol. 1. P. 103-107.

5. Богословский В.Н. Строительная теплофизика. М.: Высшая школа, 1982. 415 с.