

ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ, ВЕНТИЛЯЦИЯ, КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ВОЗДУХА, ГАЗОСНАБЖЕНИЕ И ОСВЕЩЕНИЕ



УДК 697.1

DOI: 10.17673/Vestnik.2018.03.5

**Ю. С. ВЫТЧИКОВ
М. Е. САПАРЁВ
В. А. ГОЛИКОВ**

ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕПЛОЗАЩИТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК НАРУЖНЫХ СТЕН ЗАГОРОДНЫХ КОТТЕДЖЕЙ, УТЕПЛЕННЫХ МОНОЛИТНЫМ ПЕНОБЕТОНОМ

OPTIMIZATION OF HEAT-SHIELDING CHARACTERISTICS OF THE EXTERIOR WALLS
OF COUNTRY COTTAGES, INSULATED WITH MONOLITHIC FOAM CONCRETE

Рассмотрены теплозащитные свойства трехслойных наружных стен, утепленных монолитным пенобетоном. Приводится температурный режим в помещениях, эксплуатируемых в условиях прерывистого отопления. Предлагается оптимальная конструкция наружной стены с применением монолитного пенобетона для строительства загородных коттеджей. Для данной конструкции приводятся результаты теплотехнического расчета с применением аналитической зависимости определения сопротивления теплопередаче, обеспечивающего минимальное время прогрева стены. Результаты расчета представлены в табличной форме при заданных времени нагрева и плотности пенобетона. Построена зависимость для определения максимально допустимого сопротивления теплопередаче наружной стены при различной плотности монолитного пенобетона.

Ключевые слова: монолитный пенобетон, прерывистое отопление, время нагрева, наружная стена, сопротивление теплопередаче

При проектировании современных многоквартирных жилых зданий в настоящее время широко используются различные фасадные системы, в которых теплоизоляционный слой располагается с наружной стороны несущей части стены. Использование наружного утепления существенно повышает теплотехническую однородность ограждающих конструкций, создает благоприятный тепловлажностный режим эксплуатации зданий и повышает долговечность стеновых конструктивных материалов.

Однако, как показали результаты исследования, приведенного в работе [1], применение наружного

The heat-shielding properties of three-layer external walls insulated with monolithic foam concrete are considered in the article. The temperature is given in rooms operated in intermittent heating conditions. An optimal exterior wall design is proposed using monolithic foam concrete for the construction of country cottages. For this design, the results of heat engineering calculations are presented using the analytical dependence of determining the heat transfer resistance, which ensures the minimum warm-up time of the wall. The results of the calculation are presented in tabular form for a given heating time and density of foam concrete. Also a relationship is described to determine the maximum allowable resistance to heat transfer of the outer wall at different densities of monolithic foam concrete.

Keywords: monolithic foam concrete, intermittent heating, heating time, external wall, resistance to heat transfer

утепления кирпичных стен зданий, эксплуатируемых в условиях переменного теплового режима, характерного для загородных коттеджей, нецелесообразно из-за высокой инертности кирпичной кладки.

При использовании наружного утепления существенно возрастает время натопа помещений и, как следствие, энергозатраты на нагрев ограждающих конструкций. При проектировании строительных ограждающих конструкций, эксплуатируемых в условиях прерывистого отопления, как это следует из работ [1–4], необходимо учитывать не только их теплозащитные, но и динамические характеристики [5, 6].

На рис. 1 приведен характерный график изменения температуры внутреннего воздуха в отапливаемом загородном коттедже.

Температура внутреннего воздуха $t_{в1}$ в загородном коттедже в период пребывания людей – III период ($\tau_2 \leq \tau \leq \tau_3$) задается в соответствии с нормативными требованиями, приведенными в ГОСТ 30494-2011 «Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях».

Во время отсутствия людей в помещении температура внутреннего воздуха $t_{в2}$ при работе дежурного отопления в период I ($0 \leq \tau \leq \tau_1$) должна обеспечить исключение выпадения конденсата на внутренних поверхностях ограждающих конструкций.

Теплотехнический расчет наружных стен, покрытий и перекрытий в I – IV периодах эксплуатации здания загородного коттеджа выполняется по известной методике, приведенной в СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий».

В настоящее время нет инженерной методики расчета теплового режима ограждающих конструкций, эксплуатируемых в условиях нестационарной теплопередачи – натопа помещения (период II) и охлаждения (период IV).

В практике строительства в последнее время широко используется технология возведения зданий коттеджей с использованием монолитного бетона [7–9]. В качестве теплоизоляционного материала целесообразно использовать монолитный пенобетон малой плотности от 200 до 400 кг/м³.

На основании вышеперечисленных факторов авторами предложена оптимальная конструкция наружной стены для загородного строительства (рис. 2). Ограждающая конструкция выполнена в виде кладки из керамического кирпича толщиной $\delta = 250$ мм, плотностью $\rho = 1800$ кг/м³; монолитного пенобетона, характеристики которого варьируются в зависимости от плотности; гипсокартона толщиной $\delta = 12,5$ мм, плотностью $\rho = 800$ кг/м³.

Теплофизические характеристики монолитного пенобетона приведены в табл. 1 [10].

Согласно СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий», минимально допустимое значение приведенного сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций можно определить исходя из обеспечения санитарно-гигиенических условий

$$R_0^{np} > R_0^{tr}, \quad (1)$$

где R_0^{np} – приведенное сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции, (м²·°C)/Вт; R_0^{tr} – требуемое сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции исходя из санитарно-гигиенических и комфортных условий, (м²·°C)/Вт.

Исходя из неравенства (1) получим выражение для определения минимальной величины толщины монолитного пенобетона:

$$\delta_2^{\min} = \lambda_2 \left(\frac{t_{в1} - t_n}{r \cdot \alpha_{в'} \cdot \Delta t_n} - \frac{1}{\alpha_{в}} - \frac{\delta_1}{\lambda_1} - \frac{\delta_3}{\lambda_3} - \frac{1}{\alpha_n} \right), \text{ м}, \quad (2)$$

где r – коэффициент теплотехнической однородности наружной стены; $\alpha_{в'}$, α_n – коэффициенты теплоотдачи от стены внутренней и наружной поверхности, Вт/(м²·°C); Δt_n – нормативный перепад между внутренним воздухом и внутренней поверхностью наружной стены, °C.

Максимально допустимое сопротивление теплопередаче глади наружной стены можно определить исходя из обеспечения минимально допустимого времени прогрета τ_n согласно [8] по формуле

$$R_n = \left(B + \sqrt{ \frac{B^2 + D_1 \left(\frac{2}{\alpha_{в'}} + R_1 \right) - \left(\frac{1}{\alpha_{в'}} + R_1 + R_3 + \frac{1}{\alpha_n} \right) \left(\frac{1}{\alpha_{в'}} + R_1 - R_3 - \frac{1}{\alpha_n} \right) + \frac{\tau_n (t_{в2} - t_n)}{c_2 \rho_2 \lambda_2 (t_{в2} - t_n) A} - D_2 \left(R_1 + \frac{2}{\alpha_{в'}} \right) } \right), \quad (3)$$

где $B = \frac{1}{\alpha_{в'}} - \frac{c_1 \rho_1 \lambda_1}{c_2 \rho_2 \lambda_2}$; $A = \frac{1 + 2\phi}{1 + \phi}$; $D_1 = \frac{c_1 \rho_1 \lambda_1}{c_2 \rho_2 \lambda_2}$; $D_2 = \frac{c_3 \rho_3 \lambda_3}{c_2 \rho_2 \lambda_2}$;

$\phi = \frac{R_n}{R_n + R_k}$ – безразмерный критерий граничных условий;

$R_n = 1/\alpha_{в'}$ – термическое сопротивление критерия теплопередачи с наружной поверхности стены, (м²·°C)/Вт; R_k – термическое сопротивление конструкции наружной стены, (м²·°C)/Вт.

Максимально допустимая толщина монолитного пенобетона определяется по формуле

$$\delta_2^{\max} = \lambda_2 \left(R_0^{\max} - \frac{1}{\alpha_{в'}} - \frac{\delta_1}{\lambda_1} - \frac{\delta_3}{\lambda_3} - \frac{1}{\alpha_n} \right), \text{ м}. \quad (4)$$

Таким образом, толщина монолитного пенобетона должна выбираться исходя из указанного неравенства:

$$\delta_2^{\min} \leq \delta_2 \leq \delta_2^{\max} \quad (5)$$

Таблица 1
Теплофизические характеристики монолитного пенобетона

Показатель	Плотность ρ , кг/м ³		
	200	300	400
Коэффициент теплопередачи λ , Вт/(м·°C)	0,078	0,094	0,117
Теплоемкость c , кДЖ/(кг·°C)	0,84	0,84	0,84

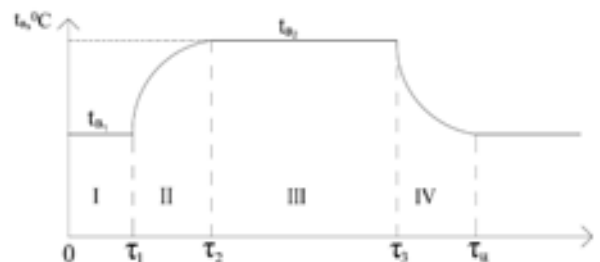


Рис. 1. График изменения температуры внутреннего воздуха в загородном коттедже

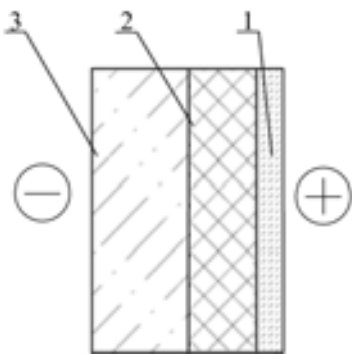


Рис. 2. Конструкция наружной стены, утепленной монолитным пенобетоном:

1 – гипсокартон: $\delta_1 = 0,0125$ м; $\gamma_1 = 800$ кг/м³; $\lambda_1 = 0,19$ Вт/(м·°С); $c_1 = 0,84$ кДж/(кг·°С); 2 – теплоизоляционный слой из монолитного пенобетона; 3 – кладка из керамического кирпича на цементно-песчаном растворе: $\delta_3 = 0,25$ м; $\rho_3 = 1800$ кг/м³; $\lambda_3 = 0,70$ Вт/(м·°С); $c_3 = 0,88$ кДж/(кг·°С)

Используя формулы (2)–(4), был выполнен теплотехнический расчет наружной стены. Результаты расчета сведены в табл. 2.

По результатам теплотехнического расчета построена зависимость для определения максимально допустимого сопротивления теплопередаче наружной стены при различной плотности монолитного пенобетона (рис. 3).

Из рис. 3 следует, что при заданном времени нагрева наружной стены максимально допустимое значение сопротивления теплопередаче повышается с уменьшением плотности, что приводит к снижению затрат тепловой энергии на отопление коттеджа.

Вывод. В результате исследования получены аналитические зависимости для определения сопротивления теплопередаче и толщины теплоизоляционного слоя, обеспечивающего требуемое время нагрева и, как следствие, благоприятные санитарно-гигиенические и комфортные условия проживания.

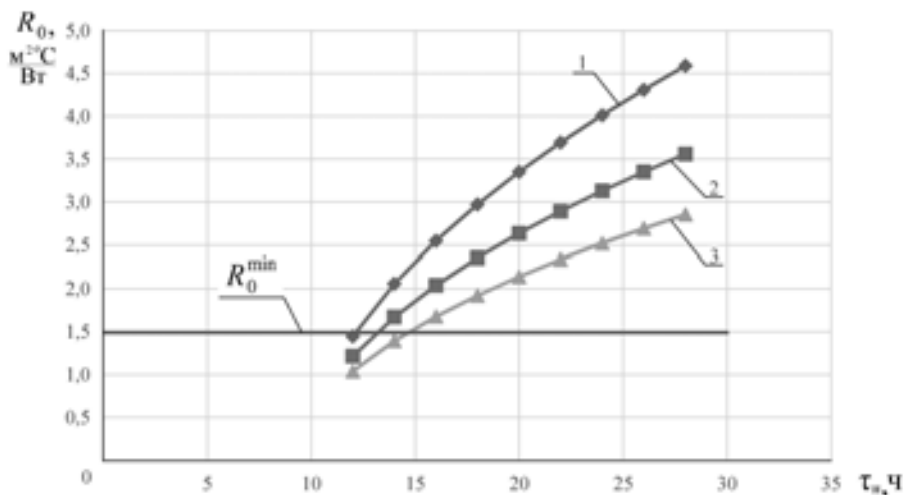


Рис. 3. Зависимость сопротивления теплопередаче наружной стены при различной плотности монолитного пенобетона от требуемого времени нагрева: 1 – при плотности 200 кг/м³; 2 – при плотности 300 кг/м³; 3 – при плотности 400 кг/м³

Результаты теплотехнического расчета наружной стены

Таблица 2

Время нагрева $\tau_n, \text{ч}$	Требуемое сопротивление теплопередаче $R_0^{mp}, (\text{м}^2 \cdot \text{°С})/\text{Вт}$			Максимально допустимая толщина теплоизоляционного слоя $\delta_{из}^{max}, \text{м}$		
	$\rho_2 = 200 \text{ кг/м}^3$	$\rho_2 = 300 \text{ кг/м}^3$	$\rho_2 = 400 \text{ кг/м}^3$	$\rho_2 = 200 \text{ кг/м}^3$	$\rho_2 = 300 \text{ кг/м}^3$	$\rho_2 = 400 \text{ кг/м}^3$
12	1,448	1,216	1,042	0,082	0,060	0,054
14	2,060	1,673	1,395	0,140	0,103	0,095
16	2,552	2,041	1,679	0,187	0,137	0,128
18	2,975	2,357	1,924	0,227	0,167	0,157
20	3,353	2,639	2,142	0,263	0,193	0,183
22	3,697	2,895	2,340	0,296	0,218	0,206
24	4,015	3,132	2,524	0,326	0,240	0,227
26	4,312	3,354	2,695	0,354	0,261	0,247
28	4,592	3,562	2,857	0,381	0,280	0,266

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Вытчиков Ю.С., Сапарёв М.Е., Чулков А.А. Оптимизация выбора уровня теплозащиты ограждающих конструкций зданий, эксплуатируемых в условиях прерывистого отопления // Промышленное и гражданское строительство. 2017. № 3. С. 90–93.
2. Вытчиков Ю.С., Вытчиков А.Ю., Беляков И.Г. Прилепский А.С. Оценка теплозащитных характеристик кладок из пустотелых керамзитобетонных камней // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Естественные науки и техносферная безопасность: сборник статей. Самара, 2017. С. 146–150.
3. Вытчиков Ю.С., Беляков И.Г., Сапарёв М.Е. Математическое моделирование процесса нестационарной теплопередачи через строительные ограждающие конструкции в условиях прерывистого отопления // Международный научно-исследовательский журнал. 2016. № 6(48). С. 42–48.
4. Вытчиков Ю.С., Сапарёв М.Е., Чулков А.А. Тепло-технический расчет перекрытий над неотапливаемым подвалом здания коттеджа, эксплуатируемого в условиях прерывистого отопления // Градостроительство и архитектура. 2017. Т.7, № 2. С. 27–31. DOI: 10.17673/Vestnik.2017.02.5.
5. Малявина Е.Г., Асатов Р.Р. Влияние теплового режима наружных ограждающих конструкций на нагрузку системы отопления при прерывистой подаче теплоты // Асадемия. Архитектура и строительство. 2010. №3. С. 324–327.
6. Панферов В.И., Анисимова Е.Ю. Анализ возможности экономии тепловой энергии при прерывистом режиме отопления // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2008. №12 (112). С. 30–37.
7. Гайдуков А.А. Целесообразность применения пенобетона в России // Аллея науки. 2017. Т. 4, № 10. С. 438–446.
8. Савенков А.И., Горбач П.С., Шербин С.А. Монолитные дома из пенобетона // Сборник научных трудов Ангарского государственного технического университета. 2008. Т. 1, № 1. С. 030–036.
9. Сергеев А.С., Сухоробров Д.Г., Пириева С.Ю. Применение пенобетона в малоэтажном строительстве // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова. Белгород, 2015. С. 2513–2517.
10. Семенов Б.А. Нестационарная теплопередача и эффективность теплозащиты ограждающих конструкций зданий. Саратов: Саратов. гос. техн. ун-т, 1996. 176 с.

Об авторах:

ВЫТЧИКОВ Юрий Серафимович

кандидат технических наук, профессор кафедры общей и прикладной физики и химии Самарский государственный технический университет Академия строительства и архитектуры 443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194 E-mail: git.2008@mail.ru

САПАРЕВ Михаил Евгеньевич

кандидат технических наук, доцент кафедры теплогазоснабжения и вентиляции Самарский государственный технический университет Академия строительства и архитектуры 443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194 E-mail: msx072007@yandex.ru

ГОЛИКОВ Владислав Андреевич

аспирант кафедры общей и прикладной физики и химии Самарский государственный технический университет Академия строительства и архитектуры 443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194 E-mail: vladislavgol@rambler.ru

YUTCHIKOV Yury S.

PhD in Engineering Science, Professor of the General and Applied Physics and Chemistry Chair Samara State Technical University Academy of Architecture and Civil Engineering 443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 194 E-mail: git.2008@mail.ru

SAPAREV Mikhail Ye.

PhD in Engineering Science, Associate Professor of the Heat and Gas Supply and Ventilation Chair Samara State Technical University Academy of Architecture and Civil Engineering 443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 194 E-mail: msx072007@yandex.ru

GOLIKOV Vladislav A.

Postgraduate Student of the General and Applied Physics and Chemistry Chair Samara State Technical University Academy of Architecture and Civil Engineering 443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 194 E-mail: vladislavgol@rambler.ru

Для цитирования: Вытчиков Ю.С., Сапарёв М.Е., Голиков В.А. Оптимизация теплозащитных характеристик наружных стен загородных коттеджей, утепленных монолитным пенобетоном // Градостроительство и архитектура. 2018. Т.8, №3. С. 22–25. DOI: 10.17673/Vestnik.2018.03.5.

For citation: Vytchikov Yu.S., Saparev M.Ye., Golikov V.A. Optimization of Heat-shielding Characteristics of the Exterior Walls of Country Cottages Insulated with Monolithic Foam Concrete // Urban Construction and Architecture. 2018. V.8, №3. Pp. 22–25. DOI: 10.17673/Vestnik.2018.03.5.