

А. А. ЧУЛКОВ

## ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОЗАЩИТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ДВУХСЛОЙНЫХ НАРУЖНЫХ СТЕН ЗДАНИЙ С ПРЕРЫВИСТЫМ ОТОПЛЕНИЕМ

STUDY OF THE HEAT-SHIELDING CHARACTERISTICS OF DOUBLE-LAYER EXTERIOR WALLS OF BUILDINGS WITH INTERMITTENT HEATING

Представлено описание теплового режима здания индивидуальной застройки, эксплуатируемого в режиме прерывистого отопления. Разработана методика определения необходимой толщины двухслойных наружных стен, обеспечивающей выполнение санитарно-гигиенических и комфортных условий проживания, а также минимального времени их нагрева в процессе натопки помещения. На основе авторской методики выполнен теплотехнический расчет двухслойной наружной стены каркасного здания, утепленного с помощью вентилируемого фасада. Представлены результаты теплотехнического расчета двухслойной наружной стены здания, эксплуатируемого в условиях прерывистого отопления. Приведен график изменения температуры внутреннего воздуха в зданиях индивидуальной застройки, эксплуатируемых периодически.

The description of the thermal regime of an individual building operated in the intermittent heating mode is presented. A technique has been developed for determining the required thickness of two-layer external walls, which ensures the fulfillment of sanitary-hygienic and comfortable living conditions, as well as the minimum time for their heating in the process of a room's heating. On the basis of the author's methodology, the heat engineering calculation of a two-layer outer wall of a frame building, insulated with a ventilated facade, was carried out. The results of the thermal calculation of the two-layer outer wall of the building, operated under intermittent heating, are presented. The graph shows the change in the temperature of the internal air in individual buildings that are operated periodically.

**Ключевые слова:** прерывистое отопление, толщина изоляции, время нагрева, сопротивление теплопередаче

**Keywords:** intermittent heating, insulation thickness, heating time, heat transfer resistance

Прерывистое отопление широко используется при эксплуатации загородных коттеджей, а также зданий индивидуальной застройки, расположенных в сельской местности. Такие дома используются, как правило, в выходные дни и в отпускной период.

На рис. 1 представлен процесс изменения температуры внутреннего воздуха, а именно четыре стадии эксплуатации здания с прерывистым отоплением.

Дежурное отопление используется в период стадии I ( $0 \leq \tau \leq \tau_1$ ) при температуре внутреннего воздуха  $t_{e1}$ . Процесс натопки помещения осуществляется на II стадии ( $\tau_1 \leq \tau \leq \tau_2$ ). В зависимости от вида системы

управления отопительного котла натоп может осуществляться дистанционно либо в ручном управлении. Стадия характеризуется процессом нестационарной теплопередачи через строительные ограждающие конструкции. Система отопления должна обеспечить расчетный стационарный режим при наличии людей в здании с температурой внутреннего воздуха  $t_{e2}$  на III стадии ( $\tau_2 \leq \tau \leq \tau_3$ ). Остывание помещения происходит на IV стадии ( $\tau_3 \leq \tau \leq \tau_4$ ). Температура внутреннего воздуха в этот период изменяется от  $t_{e2}$  до  $t_{e1}$ .

Методы решения задач нестационарной теплопередачи изложены в работах [1–8].

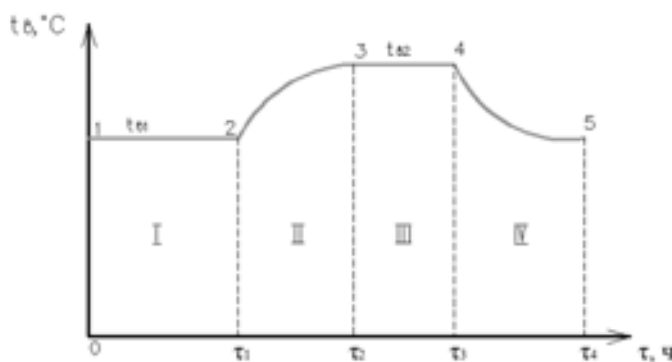


Рис. 1. График изменения температуры внутреннего воздуха в зданиях с прерывистым отоплением

Энергозатраты в процессе нагота помещений, как показали результаты исследований, представленных в работах [9–12], существенно зависят от теплоемкости внутреннего слоя ограждающих конструкций.

В качестве малотеплоемких конструкционно-теплоизоляционных материалов традиционно используются стеновой брус, легкие бетоны – беспесчаный керамзитобетон, монолитный пенобетон или полистиролбетон и др.

В работах [13, 14] подробно описаны технологии возведения наружных стен из указанных выше материалов.

В настоящее время при строительстве коттеджей широко используются системы наружного утепления фасадов с вентилируемой воздушной прослойкой, обеспечивающие благоприятный микроклимат в отапливаемых помещениях.

На рис. 2 представлена конструкция наружной стены здания коттеджа, утепленной снаружи плитой из базальтовой минваты. В холодное время года в таких зданиях водяные пары, проникающие из помещения наружу, благодаря наличию вентилируемой воздушной прослойки не конденсируются в толще утеплителя. Такая конструкция фасада позволяет стенам круглый год оставаться в сухом состоянии и сохранять высокие теплозащитные качества.

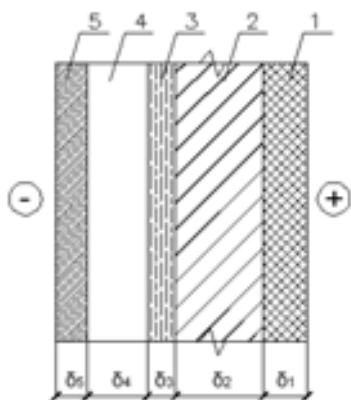


Рис. 2. Конструкция наружной стены

Конструкция наружной стены включает в себя: 1 – стеновой брус ( $\delta_1 = 0,045$  м); 2 – плиты из базальтовой минваты ( $\delta_2$  – по расчету); 3 – ветрозащитную мембрану ( $\delta_3 = 0,005$  м); 4 – вентилируемую воздушную прослойку ( $\delta_4 = 0,05$  м); 5 – пластиковый сайдинг ( $\delta_5 = 0,005$  м).

Требуемая минимальная толщина утеплителя согласно СП 50.13330.2012 определяется исходя из соблюдения санитарно-гигиенических и комфортных условий по формуле

$$R_{o1}^{np} > R_{o1}^{mp}, \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт,} \quad (1)$$

где  $R_{o1}^{np}$  – минимально допустимое значение приведенного сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции, (м<sup>2</sup>·°C)/Вт;  $R_{o1}^{mp}$  – требуемое значение приведенного сопротивления теплопередаче,

исходя из обеспечения санитарно-гигиенических и комфортных условий, (м<sup>2</sup>·°C)/Вт.

Из неравенства (1) получим выражение для определения минимально допустимого значения толщины слоя утеплителя следующего вида:

$$(\delta_2)_{\min} \geq \lambda_2 \cdot \left( \frac{t_{o2} - t_n}{\alpha_o \cdot \Delta t \cdot r} - \frac{1}{\alpha_o} - \frac{\delta_1}{\lambda_1} - \frac{\delta_3}{\lambda_3} - \frac{1}{\alpha_n} \right), \text{ м,} \quad (2)$$

где  $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$  – коэффициенты теплопроводности деревянного бруса, базальтовой минплиты и ветрозащитной мембраны соответственно, Вт/(м·°C);  $\alpha_o, \alpha_n$  – коэффициенты теплоотдачи со стороны внутреннего воздуха и вентилируемой прослойки соответственно, Вт/(м<sup>2</sup>·°C);  $t_n$  – температура наружного воздуха, равная средней температуре наиболее холодной пятидневки, °C;  $\Delta t_n$  – нормируемый перепад температур между внутренним воздухом и внутренней поверхностью стены, °C;  $r$  – коэффициент теплопроводности однородности наружной стены.

В целях упрощения решения задачи термическим сопротивлением и теплоемкостью ветрозащитной мембраны пренебрегаем ввиду малости их значения.

Для определения требуемого значения времени нагрева двухслойных наружных стен необходимо получить аналитическое решение задачи относительно минимально допустимой толщины слоя утеплителя.

Время нагрева многослойной наружной стены определяется по формуле

$$\tau_n = 2 \cdot \frac{Q_n}{q_2} \cdot A, \text{ с,} \quad (3)$$

где  $Q_n$  – количество тепла, затрачиваемое на нагрев многослойной стены, Дж/м<sup>2</sup>;  $q_2$  – удельный тепловой поток, передаваемый от отопительных приборов на расчетном режиме, Вт/м<sup>2</sup>;

$A = \frac{1 + 2 \cdot \varphi}{1 + \varphi}$  – безразмерный коэффициент;

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

$R_n = \frac{1}{\alpha_n}$  – термическое сопротивление процесса теплоотдачи, (м<sup>2</sup>·°C)/Вт;

$R_k = \frac{\delta}{\lambda}$  – термическое сопротивление наружной стены, (м<sup>2</sup>·°C)/Вт;

где  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности материала, Вт/(м·°C).

Из формулы (3) получим выражение для нахождения сопротивления теплопередаче глади наружной стены  $R_o^{vc}$ , обеспечивающего необходимое время ее нагрева. При этом применим аналитические зависимости, полученные в работе [11], для определения величин  $Q_n$  и  $q_2$ .

В результате преобразований получим алгебраическое уравнение второго порядка для нахождения  $R_o^{vc}$  вида:

$$\left\{ \left( R_{O_{\max}}^{вс\lambda} \right)^2 + R_{O_{\max}}^{вс\lambda} \cdot \left( \frac{2 \cdot c_1 \cdot \rho_1 \cdot \delta_1}{c_2 \cdot \rho_2 \cdot \lambda_2} - \frac{2 \cdot \delta_1}{\alpha_g} - \frac{2 \cdot \delta_1}{\lambda_1} \right) - \frac{c_1 \cdot \rho_1 \cdot \delta_1}{c_2 \cdot \rho_2 \cdot \lambda_2} \cdot \left( \frac{2}{\alpha_g} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} \right) + \right. \\ \left. + \left( \frac{1}{\alpha_g} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{1}{\alpha_n} \right) \cdot \left( \frac{1}{\alpha_g} - \frac{1}{\alpha_n} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} \right) - \frac{\tau_n \cdot (t_{g2} - t_n)}{A \cdot (t_{g2} - t_{g1}) \cdot c_2 \cdot \rho_2 \cdot \lambda_2} = 0 \right\}. \quad (4)$$

В результате решения алгебраического уравнения (4) получим выражение для определения максимально допустимого значения сопротивления теплопередаче глади наружной стены, обеспечивающего необходимое время ее нагрева:

$$R_{O_{\max}}^{вс\lambda} = \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{1}{\alpha_g} - \frac{c_1 \cdot \rho_1 \cdot \delta_1}{c_2 \cdot \rho_2 \cdot \delta_2} + \sqrt{\left( \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{1}{\alpha_g} - \frac{c_1 \cdot \rho_1 \cdot \delta_1}{c_2 \cdot \rho_2 \cdot \delta_2} \right)^2} + B, \text{ (М}^2 \cdot \text{°C)}/\text{Вт}, \quad (5)$$

$$B = \frac{c_1 \cdot \rho_1 \cdot \delta_1}{c_2 \cdot \rho_2 \cdot \lambda_2} \cdot \left( \frac{2}{\alpha_g} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} \right) - \left( \frac{1}{\alpha_g} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{1}{\alpha_n} \right) \cdot \left( \frac{1}{\alpha_g} - \frac{1}{\alpha_n} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} \right) + \\ + \frac{\tau_n \cdot (t_{g2} - t_n)}{A \cdot (t_{g2} - t_{g1}) \cdot c_2 \cdot \rho_2 \cdot \lambda_2}.$$

По значению величины  $R_{O_{\max}}^{вс\lambda}$  находим максимально допустимое значение толщины теплоизоляционного материала по формуле

$$(\delta_2)_{\max} = \lambda_2 \cdot \left( R_{O_{\max}}^{вс\lambda} - \frac{1}{\alpha_g} - \frac{\delta_1}{\lambda_1} - \frac{1}{\alpha_n} \right), \text{ м}. \quad (6)$$

В качестве примера выполним теплотехнический расчет наружной стены, конструкция которой приведена на рис. 2.

В качестве исходных данных для расчета были приняты следующие значения: температура наружного воздуха  $t_n = -30 \text{ °C}$ ; температура внутреннего воздуха при дежурном отоплении  $t_{g1} = 12 \text{ °C}$ , на расчетном режиме  $t_{g2} = 22 \text{ °C}$ ; теплофизические характеристики деревянного бруса и базальтовой минплиты  $c_1 = 840 \text{ Дж/кг} \cdot \text{°C}$ ,  $\rho_1 = 500 \text{ кг/м}^3$ ,  $\lambda_1 = 0,14 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$ ,

$c_2 = 840 \text{ Дж/кг} \cdot \text{°C}$ ,  $\rho_2 = 80 \text{ кг/м}^3$ ,  $\lambda_1 = 0,042 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$ ; коэффициент теплотехнической однородности наружной стены  $r = 0,8$ ;  $\alpha_g = 8,7 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°C)}$ ,  $\alpha_n = 12 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°C)}$ .

Результаты расчета требуемой толщины теплоизоляции представлены в таблице.

Результаты теплотехнического расчета наружной стены жилого здания

$\tau_n, \text{ ч}$	$R_{O_{\max}}^{\min}, \text{ (М}^2 \cdot \text{°C)}/\text{Вт}$	$\delta_2^{\min}, \text{ м}$	$R_{O_{\max}}^{\max}, \text{ (М}^2 \cdot \text{°C)}/\text{Вт}$	$\delta_2^{\max}, \text{ м}$
10	1,49	0,057	1,57	0,061
11			1,70	0,0676
12			1,83	0,0743
13			1,95	0,0807
14			2,08	0,0874
15			2,21	0,094
16			2,33	0,100

На рис. 3 представлен результат расчета в графическом виде.

Из рис. 3 наглядно видно, что выбор толщины слоя теплоизоляции непосредственно связан со временем нагрева наружной стены, величина которого во многом зависит от способа управления работой индивидуального теплогенератора, установленного в коттедже.

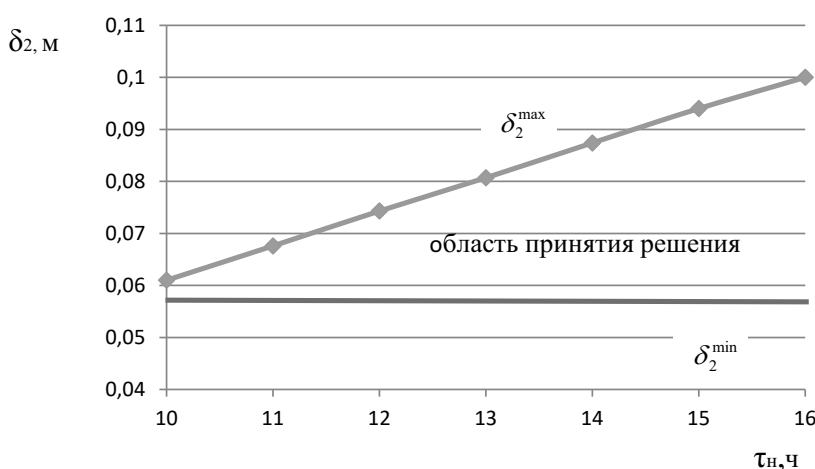


Рис. 3. Зависимость толщины базальтовой минваты от времени нагрева наружной стены

**Выводы.** 1. Представлено описание теплового режима здания индивидуальной застройки, эксплуатируемого в условиях прерывистого отопления.

2. Получена аналитическая зависимость определения максимально допустимого значения сопротивления теплопередаче глади двухслойной наружной стены, исходя из обеспечения требуемого времени ее нагрева.

3. Приведены результаты теплотехнического расчета наружной стены каркасного здания, утепленного базальтовой минватой, защищенной снаружи пластмассовым сайдингом.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Буцук И.Н., Музыченко Л.Н., Мельникова И.Г. Применение клееной древесины в современном строительстве // Инженерные системы и сооружения. 2016. № 1 (22). С. 143–148.

2. Семенов Б.А. Нестационарная теплопередача и эффективность теплозащиты ограждающих конструкций зданий. Саратов: Саратовский государственный технический университет, 1996. 176 с.

3. Анисимова Е.Ю. Энергоэффективность теплового режима здания при использовании оптимального режима прерывистого отопления // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2012. № 38 (297). С. 55–59.

4. Малявина Е.Г., Асатов Р.Р. Влияние теплового режима наружных ограждающих конструкций на нагрузку системы отопления при прерывистой подаче теплоты // Academia. Архитектура и строительство. 2010. № 3. С. 324–327.

5. Малявина Е.Г., Петров Д.Ю. Сопряженный расчет нестационарного теплового режима водяной системы отопления и здания // Жилищное строительство. 2013. № 6. С. 66–69.

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. Дацюк Т.А., Ивлев Ю.П., Пухкал В.А. Моделирование теплового режима жилых помещений при прерывистом отоплении // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 5. С. 179.

8. Чулков А.А., Вытчиков Ю.С., Кудинов И.В. Исследование динамических характеристик отопительных приборов // Градостроительство и архитектура. 2016. № 4. С. 44–48. DOI: 10.17673/Vestnik.2016.04.8.

9. Vytychikov Y.S., Belyakov I.G., Saparev M.E., Mathematical simulation of nonstationary process of heat transfer through the building cladding structures in conditions of intermittent heating // International research journal. Ekaterinburg, 2016. № 6. Part 2. Pp. 42–48.

10. Вытчиков Ю.С., Чулков А.А., Сапарев М.Е. Теплотехнический расчет перекрытий над неотапливаемым подвалом здания коттеджа, эксплуатируемого в условиях прерывистого отопления // Градостроительство и архитектура. 2017. № 2. С. 27–31.

11. Vytychikov Y., Saparev M., Chulkov A. Analyzing screen heat insulation and its effect on energy consumption while heating building envelopes in conditions of intermittent heating // MATEC Web of Conferences 86, IPICSE-2016.

12. Вытчиков Ю.С., Сапарев 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.

13. Горин В.М., Токарева С.А., Вытчиков Ю.С., Беляков И.Г., Шиянов Л.П. Применение стеновых камней из беспесчаного керамзитобетона в жилищном строительстве // Строительные материалы. 2010. № 2. С. 18–19.

14. Кардашевский А.Г., Рожин В.Н., Местников А.Е., Семенов С.С. Монолитный пенобетон в индивидуальном строительстве // Промышленное и гражданское строительство. 2012. № 1. С. 41–43.

Об авторе:

#### ЧУЛКОВ Александр Анатольевич

научный сотрудник центра «Энергосбережения в строительстве», директор ООО ПМФ «СамВИС» Самарский государственный технический университет Академия строительства и архитектуры 443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194, тел. (846) 242–14–96 E-mail: ch\_aleks01@mail.ru

#### CHULKOV Alexander A.

Researcher CES in construction Samara State Technical University, director of ООО «SamVIS» Academy of Architecture and Civil Engineering 443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 194 E-mail: git.2008@mail.ru

Для цитирования: Чулков А.А. Исследование теплозащитных характеристик двухслойных наружных стен зданий с прерывистым отоплением // Градостроительство и архитектура. 2018. Т. 8, № 4. С. 15–18. DOI: 10.17673/Vestnik.2018.04.3. For citation: Chulkov A.A. Study of the Heat-Shielding Characteristics of Double-Layer Exterior Walls of Buildings with Intermittent Heating // Urban Construction and Architecture. 2018. V. 8, 4. Pp. 15–18. DOI: 10.17673/Vestnik.2018.04.3.