

ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ, ВЕНТИЛЯЦИЯ, КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ВОЗДУХА, ГАЗОСНАБЖЕНИЕ И ОСВЕЩЕНИЕ

УДК 697.1

DOI: 10.17673/Vestnik.2017.02.4

И.Г. БЕЛЯКОВ

ОЦЕНКА ТЕПЛОЗАЩИТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗДАНИЙ С ПРЕРЫВИСТЫМ ОТОПЛЕНИЕМ, УТЕПЛЕННЫХ БЕСПЕСЧАНЫМ КРУПНОПОРИСТЫМ КЕРАМЗИТОБЕТОНОМ

EVALUATION OF HEAT PROTECTION CHARACTERISTICS OF BUILDINGS WITH INTERMITTENT HEATING INSULATED WITH SANDLESS COARSE-POROUS EXPANDED CLAY CONCRETE

Рассматривается математическое моделирование процесса нестационарной теплопередачи через ограждающие конструкции, эксплуатируемые в условиях прерывистого отопления. Получена аналитическая зависимость для определения максимально допустимой толщины теплоизоляционного слоя, обеспечивающей требуемое значение времени нагрева. На основе изложенной методики представлены результаты расчета различных вариантов наружных стен. Приведен сравнительный анализ времени нагрева строительных ограждающих конструкций, утепленных беспесчаным крупнопористым керамзитобетоном.

Mathematical modeling of process of nonstationary heat transfer through walling exploited in intermittent heating conditions is viewed. Analytical dependence is revealed for finding of maximum permissible thickness of heat insulation layer providing required heating time. Based on this procedure the results of calculation of outer walls different variants are presented. Comparative analysis of heating time of walling insulated with sandless coarse-porous expanded clay concrete.

Ключевые слова: беспесчаный керамзитобетон, прерывистое отопление, сопротивление теплопередаче, пароизоляция

Keywords: sandless expanded clay concrete, intermittent heating, heat transfer resistance, vapor barrier

В связи с повышением нормативов по теплозащите ограждающих конструкций зданий и сооружений появилась необходимость в применении эффективных теплоизоляционных материалов [1–6]. На сегодняшний день большое распространение получили теплоизоляционные материалы на основе минеральной или каменной ваты и пенополистирола. Эти материалы обладают низкой плотностью и в большинстве случаев используются с внешней стороны строительной конструкции, так как применение подобных материалов с внутренней стороны ограждения требует установки дополнительного слоя пароизоляции для предотвращения накопления влаги в толще утеплителя.

Достичь высокого уровня теплозащиты можно, как показано в работах [7–10], с помощью керамзитобетона, обладающего при высокой долговечности достаточными прочностными и теплоизоляционными свойствами.

В последние годы в Российской Федерации в качестве стенового материала используют крупнопористый беспесчаный керамзитобетон, имеющий повышенные теплозащитные характеристики [11, 12].

Это легкий бетон, в котором гранулы керамзита скреплены небольшим количеством цементного раствора. При этом пространство между гранулами остается заполненным воздухом, являющимся эффективным теплоизолятором. Технология изготовления указанного материала изложена в статье академика М.Я. Бикбау [13].

Значительный интерес представляет рассмотрение вопроса о возможностях применения беспесчаного крупнопористого керамзитобетона при строительстве зданий и сооружений, эксплуатируемых периодически. К таким зданиям относятся загородные коттеджи, лыжные базы и т.д.

В основном нормативном документе по оценке энергоэффективности зданий – СП 50.13330 «Тепловая защита зданий» здания с прерывистым отоплением исключены из рассмотрения, а уровень их тепловой защиты устанавливается соответствующими классу здания нормами, а при их отсутствии – исходя из санитарно-гигиенических условий эксплуатации. Нормируемое значение сопротивления теплопередаче стен таких зданий следует определять по формуле

$$R_o^{\text{норм}} = \frac{(t_v - t_n)}{\Delta t^n \cdot \alpha_a}, \text{ (M}^2 \cdot \text{C)} / \text{Bт.} \quad (1)$$

Для зданий и сооружений, работающих в режиме прерывистого отопления, как правило, применяются кирпич или керамзитобетон. Термического сопротивления кирпичных стен толщиной $\delta = 250$ мм, 380 мм и стен из керамзитобетонных блоков толщиной $\delta = 190$ мм, 390 мм, как правило, не хватает для обеспечения в таких домах санитарно-гигиенических и комфортных условий по теплозащите.

Методика определения удельных энергозатрат и времени нагрева многослойных ограждающих конструкций зданий индивидуальной застройки, эксплуатируемых в условиях прерывистого отопления, изложена в работах [14, 15]. Выполненные ранее исследования показали, что для уменьшения энергоза-

трат более теплоемкие слои следует располагать с наружной стороны, а менее теплоемкие – с внутренней.

Ограждающие конструкции зданий с прерывистым отоплением должны быстро прогреваться, поэтому они должны удовлетворять условию $\tau_n \leq \tau_{\text{пр}}$, где τ_n и $\tau_{\text{пр}}$ – фактическое и требуемое время нагрева стены.

Величину $\tau_{\text{пр}}$ рекомендуется задавать в зависимости от способа управления теплогенератором. При дистанционном управлении – исходя из условий экономии энергии, затраченной на нагрев. При ручном управлении время нагрева должно быть минимальным.

С учетом методики, представленной в [15], время нагрева стены τ_n рассчитывается по формуле

$$\tau_n = 2 \cdot \frac{Q_n}{q_{om}} \cdot A, \text{ с.} \quad (2)$$

Преобразовав формулу (2) для трёхслойной конструкции, получено следующее выражение:

$$\tau_n = \left[\begin{array}{l} 2 \cdot c_1 \cdot \rho_1 \cdot \delta_1 \cdot R_o - c_1 \cdot \rho_1 \cdot \delta_1 \cdot \left(\frac{2}{\alpha_a} + R_1 \right) + 2 \cdot c_2 \cdot \rho_2 \cdot \delta_2 \cdot R_o \cdot \left(R_o - \frac{1}{\alpha_a} - R_1 - R_3 - \frac{1}{\alpha_n} \right) - \\ - c_2 \cdot \rho_2 \cdot \delta_2 \cdot \left(R_o - \frac{1}{\alpha_a} - R_1 - R_3 - \frac{1}{\alpha_n} \right) \cdot \left(\frac{1}{\alpha_a} + R_1 + R_o - R_3 - \frac{1}{\alpha_n} \right) + 2 \cdot c_3 \cdot \rho_3 \cdot \delta_3 \cdot R_o - \\ - c_3 \cdot \rho_3 \cdot \delta_3 \cdot \left(2 \cdot R_o - R_3 - \frac{2}{\alpha_n} \right) \end{array} \right] \cdot \frac{(t_{e2} - t_{e1})}{(t_{e2} - t_n)} \cdot A, \text{ с.} \quad (3)$$

Коэффициент A , учитывающий влияние граничных условий (теплопотерь в окружающую среду), приближенно принят постоянным, равным 1,025 (при условии изменения сопротивления теплопередаче наружной стены от 1,5 до 3,5 (м²·C)/Вт).

Для определения максимально допустимого сопротивления теплопередаче глади наружной стены использована формула (3):

$$R_o = \frac{1}{\alpha_a} - \frac{c_1 \cdot \rho_1 \cdot \delta_1}{c_2 \cdot \rho_2 \cdot \delta_2} + \sqrt{B + \frac{\tau_n \cdot (t_{e2} - t_n)}{c_2 \cdot \rho_2 \cdot \delta_2 \cdot (t_{e2} - t_{e1}) \cdot A} - \frac{c_3 \cdot \rho_3 \cdot \delta_3}{c_2 \cdot \rho_2 \cdot \delta_2} \cdot \left(R_3 + \frac{2}{\alpha_n} \right)}, \text{ (M}^2 \cdot \text{C)} / \text{Bт,} \quad (4)$$

$$\text{где } B = \left(\frac{1}{\alpha_a} - \frac{c_1 \cdot \rho_1 \cdot \delta_1}{c_2 \cdot \rho_2 \cdot \delta_2} \right)^2 + \frac{c_1 \cdot \rho_1 \cdot \delta_1}{c_2 \cdot \rho_2 \cdot \delta_2} \cdot \left(\frac{2}{\alpha_a} + R_1 \right) - \left(\frac{1}{\alpha_a} + R_1 + R_3 + \frac{1}{\alpha_n} \right) \cdot \left(\frac{1}{\alpha_a} + R_{1o} - R_3 - \frac{1}{\alpha_n} \right).$$

Для определения максимально допустимой толщины изоляционного слоя, обеспечивающей требуемое время нагрева, применена формула

$$\delta_{из}^{\text{max}} = \left(R_o - \frac{1}{\alpha_a} - \frac{\delta_1}{\lambda_1} - \frac{\delta_3}{\lambda_3} - \frac{1}{\alpha_n} \right) \cdot \lambda_{из}, \text{ м.} \quad (5)$$

Сопротивление теплопередаче наружной стены должно удовлетворять указанным выше условиям (1) и (4).

Используя формулы (1) и (5), был выполнен теплофизический расчет наружных стен, утепленных беспесчаным керамзитобетоном. Рассмотрены ограждающие конструкции, выполненные в

виде кладок из силикатного и керамического кирпича толщиной $\delta = 250$ мм, 380 мм, плотностью $\rho_3 = 1800$ кг/м³, пустотелых и полнотелых керамзитобетонных блоков толщиной $\delta = 190$ мм, 390 мм, плотностью $\rho_3 = 1000$ кг/м³, 1200 кг/м³.

Расположение слоев в конструкции представлено на рис. 1.

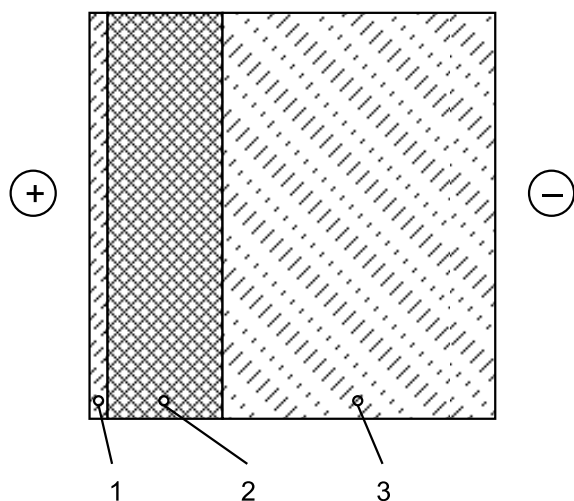


Рис. 1. Конструкция наружной стены, утепленной с внутренней стороны беспесчаным керамзитобетоном:

- 1 – гипсокартон
($\delta_1=0,0125$ м; $\rho_1=800$ кг/м³; $\lambda_1=0,19$ Вт/(м·°C); $c_1=0,84$ кДж/кг·гр);
- 2 – беспесчаный керамзитобетон
(δ_2 – расчетная, м; $\rho_2=300$ кг/м³; $\lambda_2=0,105$ Вт/(м·°C); $c_2=0,84$);
- 3 – кладка на цементно-песчаном растворе

По результатам расчета вычислено оптимальное время нагрева τ_n . Для определения возможности накопления влаги в конструкции проведен анализ влажностного режима рассмотренных конструкций методом безразмерных характеристик [16]. Результаты расчетов сведены в табл. 1.

По результатам расчетов построены зависимости максимально допустимой и минимальной толщины теплоизоляционного слоя от времени нагрева, построена область решения задачи оптимизации выбора слоя утепления в зависимости от величины требуемого сопротивления и времени прогрева. Выполненные зависимости представлены на рис. 2.

Выводы:

1. В результате исследования получена аналитическая зависимость для определения максимально допустимой толщины теплоизоляционного слоя, обеспечивающей требуемое значение времени нагрева.
2. Выполнен теплотехнический расчет ряда исполнений наружных стен, утепленных беспесчаным керамзитобетоном, который показал, что минимальное время нагрева обеспечивается конструкциями из керамзитобетонных блоков толщиной 190 мм и уте-

Таблица 1

Результаты расчетов наружных стен

Вид слоя кладки	Толщина слоя, м		Время нагрева наружной стены τ_n , ч	Необходимость в слое пароизоляции
	кладка δ_3	беспесчаный керамзитобетон δ_2		
Из силикатного кирпича на цементно-песчаном растворе	0,25	0,127	13,9	+
	0,38	0,109	24	+
Из керамического кирпича на цементно-песчаном растворе	0,25	0,124	14,48	+
	0,38	0,104	25,34	-
Из пустотелых керамзитобетонных блоков на цементно-песчаном растворе плотностью $\rho_3=1000$ (716) кг/м ³	0,19	0,084	9,33	+
	0,39	0,004	22,02	-
Из пустотелых керамзитобетонных блоков на цементно-песчаном растворе плотностью $\rho_3=1200$ (860) кг/м ³	0,19	0,099	9,61	+
	0,39	0,033	22,92	-
Из полнотелых керамзитобетонных блоков на цементно-песчаном растворе плотностью $\rho_3=1000$ кг/м ³	0,19	0,101	10,32	+
	0,39	0,037	25,66	-

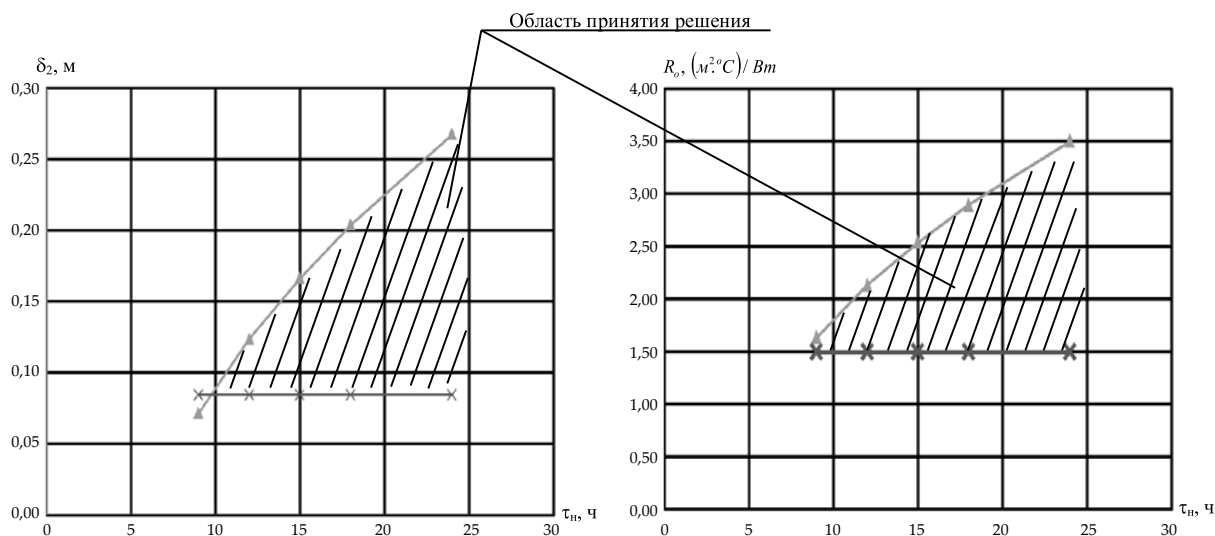


Рис. 2. Зависимость максимально допустимой и минимальной толщины теплоизоляционного слоя и термического сопротивления конструкции стены от времени нагрева

плением из беспесчаного керамзитобетона толщиной 100 мм.

3. Проведен анализ влажностного режима рассмотренных конструкций методом безразмерных характеристик [14], который показал, что в ряде рассмотренных конструкций требуется дополнительная пароизоляция, за исключением кладки керамического кирпича толщиной 380 мм и кладки из керамзитобетонных блоков толщиной 390 мм.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Горин В.М., Токарева С.А., Вытчиков Ю.С. Современные ограждающие конструкции из керамзитобетона для энергоэффективных зданий // Строительные материалы. 2011. № 3. С. 34–36.
2. 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. 15–18.
3. Сапарёв М.Е., Вытчиков Ю.С. Повышение теплозащитных характеристик керамзитобетонных ограждающих конструкций с помощью экранной тепловой изоляции // Строительные материалы. 2013. № 11. С. 12–15.
4. Недосеко И.В., Ишматов Ф.И., Алиев Р.Р. Применение конструкционно-теплоизоляционного керамзитобетона в несущих и ограждающих конструкциях зданий жилищно-гражданского назначения // Строительные материалы. 2011. № 7. С. 14–17.
5. Комиссаренко Б.С. Перспективы развития производства керамзита и керамзитобетона с учетом современных задач стройиндустрии // Строительные материалы. 2000. № 6. С. 22–23.
6. Баженов Ю.М., Король Е.А., Ерофеев В.Т., Митина Е.А. Ограждающие конструкции с использованием бетонов низкой теплопроводности. Основы теории, методы расчета и технологическое проектирование. М.: АСВ, 2008. 320 с.
7. Комиссаренко Б.С. Керамзитобетон для эффективных ограждающих конструкций: автореф. дис. ... доктора технических наук. Самара, 1985. 36 с.
8. Береговой А.М. Ограждающие конструкции с повышенными теплозащитными качествами. 2-е изд., перераб. и доп. М.: АСВ, 1999. 312 с.
9. Гагарин В.Г. Макроэкономические аспекты обоснования энергосберегающих мероприятий при повышении теплозащиты ограждающих конструкций зданий // Строительные материалы. 2010. № 3. С. 8–16.
10. Вытчиков Ю.С., Горин В.М., Токарева С.А. Исследование теплофизических характеристик стеновых камней из беспесчаного керамзитобетона // Строительные материалы. 2011. № 8. С. 42–43.
11. Беляков И.Г., Вытчиков Ю.С., Горин В.М., Токарева С.А. Стандарт некоммерческой организации «Союз производителей керамзита и керамзитобетона» СТО НО «СПКиК» 001-2015 «Керамзитобетонные ограждающие конструкции зданий и сооружений» / СГАСУ. Самара, 2015. 177 с.
12. Беляков И.Г., Вытчиков Ю.С., Шиянов Л.П. Стандарт организации СТО 23.08.02-2009 «Камни стеновые из легкого беспесчаного керамзитобетона» / СГАСУ. Самара, 2009. 82 с.
13. Бикбау М.Я., Булатов М.Я., Лаповецкий Б.А. КАПСИМЕТ – новый материал и технология для ограждающих конструкций // Строительные материалы. 1999. № 2. С. 34–35.
14. Вытчиков Ю.С., Беляков И.Г., Сапарёв М.Е. Математическое моделирование процесса нестационар-

ной теплопередачи через строительные ограждающие конструкции в условиях прерывистого отопления // Международный научно-исследовательский журнал. Екатеринбург, 2016. № 6-2 (48). С. 42–48.

15. Investigation of the thermal effect of building envelopes of individual building under intermittent heating / Yu.S. Vytchikov, I.G.. Belyakov, M. Ye. Saparev // Procedia Engineering. 2016. Т. 153. С. 856–861.

Об авторе:

БЕЛЯКОВ Игорь Геннадьевич

заместитель директора центра «Энергосбережение в строительстве»
Самарский государственный технический университет
Архитектурно-строительный институт
443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194
E-mail: igbelyakov@ya.ru

16. Витчиков Ю.С., Беляков И.Г. Исследование влажностного режима строительных ограждающих конструкций с помощью метода безразмерных характеристик // Известия высших учебных заведений. Строительство. 1998. № 3. С. 76–79.

BELYAKOV Igor G.

Deputy Director of the Center of Energy Saving in Construction
Samara State Technical University
Institute of Architecture and Civil Engineering
443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 194
E-mail: igbelyakov@ya.ru

Для цитирования: Беляков И.Г. Оценка теплозащитных характеристик зданий с прерывистым отоплением, утепленных беспесчаным крупнопористым керамзитобетоном // Градостроительство и архитектура. 2017. Т.7, №2. С. 22-26. DOI: 10.17673/Vestnik.2017.02.4.

For citation: Belyakov I.G. Evaluation of heat protection characteristics of buildings with intermittent heating insulated with sandless coarse-porous expanded clay concrete // Urban Construction and Architecture. 2017. V.7, 2. Pp. 22-26. DOI: 10.17673/Vestnik.2017.02.4.

**ПРИГЛАШАЕМ СТРОИТЕЛЬНЫЕ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ КОМПАНИИ!
(РЕКЛАМОДАТЕЛИ)**

Предлагаем разместить информационные и рекламные материалы на страницах нашего издания. Информация о Вашей компании обязательно найдет своих потребителей среди нашей целевой аудитории. По всем вопросам размещения рекламных материалов обращаться в издательский отдел, тел. (846) 242-36-98

**УВАЖАЕМЫЕ ЧИТАТЕЛИ!
ПОДПИСАТЬСЯ НА НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ
«ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА» МОЖНО ПО КАТАЛОГУ АГЕНТСТВА «РОСПЕЧАТЬ»
(ПОДПИСНОЙ ИНДЕКС 70570)**

**С ПОЛНЫМИ ТЕКСТАМИ СТАТЕЙ,
ОПУБЛИКОВАННЫХ В ЖУРНАЛЕ «ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА»,
МОЖНО ОЗНАКОМИТЬСЯ НА ОФИЦИАЛЬНОМ САЙТЕ journal.samgasu.ru**