

УДК

Н.П. УМНЯКОВА, канд. техн. наук (n.umniakova@mail.ru)

Научноисследовательский институт строительной физики НИИСФ РААСН (127238, г. Москва, Локомотивный пр., 21)

Снижение теплотерь поверхности зарadiatorной стенки

Рассмотрен процесс передачи тепла через зарadiatorную стенку при наличии и отсутствии на ее внутренней поверхности экрана из отражательной теплоизоляции. На основе решения балансовых уравнений теплообмена излучением между отопительным прибором и зарadiatorной стенкой получена формула, позволяющая вычислить температуру на поверхности зарadiatorной стенки в зависимости от коэффициента излучения материала поверхности. Это позволило на основе проведенных расчетов оценить эффективность применения экрана из отражательной теплоизоляции на поверхности зарadiatorной стенки при различных конструктивных решениях наружных стен.

Ключевые слова: энергоэффективность, отражательная теплоизоляция, коэффициент излучения, зарadiatorная стенка, термическое сопротивление, потери теплоты.

N.P. UMNYAKOVA, Candidate of Sciences (n.umniakova@mail.ru)
NIISF RAACS (21, Lokomotivny Passage, 127238, Moscow, Russian Federation)

Reduction in Heat Losses of a Behind Radiators Wall Surface

The process of heat transfer through the behind radiator wall at presence or absence of the screen made of heat-reflecting insulation on its inner surface is considered. On the basis of the solution of balance equations of heat exchange of radiation between the heating device and the behind radiator wall, the formula which makes it possible to calculate the temperature on the surface of the behind radiator wall depending on the coefficient of radiation of surface material has been obtained. This makes it possible, on the basis of the conducted calculations, to assess the efficiency of using the screen made of reflecting heat insulation on the surface of the behind radiator wall at various structural decisions of external walls.

Keywords: energy efficiency, reflecting heat insulation, coefficient of radiation, behind radiator wall, thermal resistance, heat losses.

Отопительный прибор является основным элементом, который обеспечивает поступление теплоты от теплоносителя в помещение здания. При выборе отопительных приборов учитывают главным образом их возможности обеспечить благоприятные тепловые комфортные условия в помещении. Обычно их устанавливают у наружных стен под окном (рис. 1). Длина отопительного прибора должна составлять не менее 75% длины светового проема (Рекомендации по применению алюминиевых секционных радиаторов повышенной прочности «FARAL Green HP» и стандартного исполнения «FARAL Green» итальянской фирмы «FARAL S.p.A.» концерна Zehnder Group. М.: ФГУП «НИИ-сантехники», 2004. 37 с.)

Известно, что номинальную плотность теплового потока, Вт/м², для стандартных условий работы отопительного прибора в системе водяного отопления принимают при средней разности температуры $\Delta t_{cp} = 70^\circ\text{C}$ и расходе теплоносителя (воды) в отопительном приборе 360 кг/ч. Стандартная разность температуры при использовании в качестве теплоносителя воды, выбранная за расчетную для сравнения теплотехнических показателей отопительных приборов, определяется по выражению $\Delta t_{cp} = 0,5(105+70)-18 = 69,5^\circ\text{C}$, где температура входящей воды в прибор $t_{вх} = 105^\circ\text{C}$ и выходящей $t_{вых} = 70^\circ\text{C}$, температура воздуха в помещении 18°C . Таким образом, нормируемый температурный напор равен $69,5 \approx 70^\circ\text{C}$ (Сканави А.Н., Махов Л.М. Отопление. М.: АСВ, 2002. 576 с.).

Однако величина теплового потока, проходящего через зарadiatorные участки наружных ограждающих конструкций, не учитывается в теплотехнических расчетах при подсчете общих теплотерь здания [1–5]. В связи с этим была

поставлена задача определить количество теплоты, которое теряется через наружную зарadiatorную стенку.

Для ее решения примем, что площадь нагревающейся поверхности зарadiatorного участка наружной стенки $F_{зар.ст}$ на 10% больше площади теплоотдающей поверхности отопительного прибора $F_{омн}$, т.е. $F_{зар.ст} = 1,1 F_{омн}$.

Толщина воздушной прослойки между поверхностью отопительного прибора (радиатора) и зарadiatorной поверхностью наружной стены имеет малый размер, и величина произведения критерия Грасгофа на критерий Прандтля $Gr \cdot Pr < 1000$. Поэтому конвективную составляющую в данных теплотехнических расчетах можно не учитывать. Также не учитывается составляющая передачи теплоты теплопроводностью, так как воздушная прослойка не является замкнутой. Поэтому передача теплоты между двумя поверхностями будет происходить за счет лучистого теплообмена.

Тогда количество теплоты, падающей от отопительного прибора на поверхность зарadiatorной наружной стенки, будет

$$Q_{омн}^{над} = \frac{C_{омн} C_{зар.ст}}{C_o} \left[\left(\frac{\tau_{омн} + 273}{100} \right)^4 - \left(\frac{\tau_{зар.ст} + 273}{100} \right)^4 \right] F_{омн}, \quad (1)$$

или

$$Q_{омн}^{над} = \alpha_{л} \frac{C_{омн} C_{зар.ст}}{C_o C_{нр}} [(\tau_{омн} - \tau_{зар.ст})] F_{омн}, \quad (2)$$

где $C_{омн}$ и $\tau_{омн}$ – коэффициент излучения, Вт/(м²·°C⁴), и температура, °C, поверхности отопительного прибора; $C_{зар.ст}$ и $\tau_{зар.ст}$ – коэффициент излучения, Вт/(м²·°C), и температура, °C, внутренней поверхности зарadiatorной наружной сте-

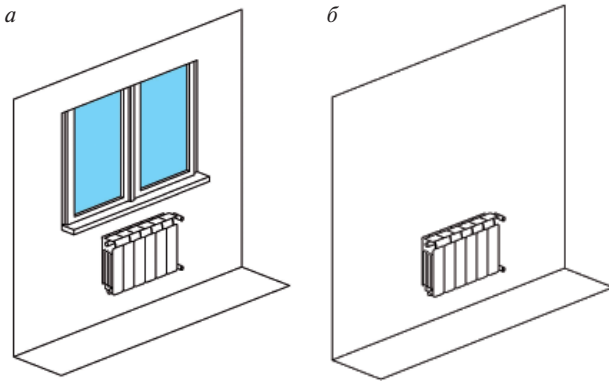


Рис. 1. Расположение отопительного прибора в помещении: а – под оконным проемом; б – около стены

ны; C_o – коэффициент излучения абсолютно черного тела, Вт/(м²·°C⁴).

Количество теплоты, отраженное от поверхности радиаторной стенки к отопительному прибору, будет:

$$Q_{\text{зар.см}}^{\text{отп}} = \frac{C_{\text{зар.см}} C_{\text{омн}}}{C_o} \left[\left(\frac{\tau_{\text{зар.см}} + 273}{100} \right)^4 - \left(\frac{\tau_{\text{омн}} + 273}{100} \right)^4 \right] \left(1 - \frac{C_{\text{зар.см}}}{C_o} \right) F_{\text{зар.см}}, \quad (3)$$

или

$$Q_{\text{зар.см}}^{\text{отп}} = \alpha_{\text{л}} \frac{C_{\text{зар.см}} C_{\text{омн}}}{C_{\text{пр}} C_o} (\tau_{\text{зар.см}} - \tau_{\text{омн}}) \left(1 - \frac{C_{\text{зар.см}}}{C_o} \right) F_{\text{зар.см}}, \quad (4)$$

Количество теплоты, проходящее через наружную радиаторную стенку при разности температур между радиаторной стенкой $\tau_{\text{зар.см}}$ и наружным воздухом t_n , будет

$$Q_{\text{зар.см}} = K (\tau_{\text{зар.см}} - t_n) F_{\text{зар.см}}, \quad (5)$$

где K – коэффициент теплопередачи наружной стены, Вт/(м²·°C); $K = 1/(R_k + R_n)$; R_k – термическое сопротивление наружной стены, м²·°C/Вт; R_n – сопротивление теплообмену у наружной поверхности стены, м²·°C/Вт.

Таким образом, количество теплоты, проходящее через радиаторный участок наружной стены площадью $F_{\text{зар.см}}$ от отопительного прибора площадью $F_{\text{омн}}$, согласно уравнению теплового баланса можно представить в следующем виде

$$Q_{\text{зар.см}} = Q_{\text{омн}}^{\text{над}} - Q_{\text{зар.см}}^{\text{отп}}, \quad (6)$$

или

$$K (\tau_{\text{зар.см}} - t_n) F_{\text{зар.см}} = \alpha_{\text{л}} \frac{C_{\text{зар.см}} C_{\text{омн}}}{C_{\text{пр}} C_o} (\tau_{\text{омн}} - \tau_{\text{зар.см}}) - \alpha_{\text{л}} \frac{C_{\text{зар.см}} C_{\text{омн}}}{C_{\text{пр}} C_o} (\tau_{\text{зар.см}} - \tau_{\text{омн}}) \left(1 - \frac{C_{\text{зар.см}}}{C_o} \right) F_{\text{зар.см}}. \quad (7)$$

После ряда преобразований уравнения (7) получим выражение для определения температуры на поверхности радиаторной стенки в зависимости от температуры отопительного прибора, теплозащитных свойств наружной стены и температуры наружного воздуха.

$$\tau_{\text{зар.см}} = \frac{\alpha_{\text{л}} \frac{C_{\text{зар.см}} C_{\text{омн}}}{C_{\text{пр}} C_o} \left[F_{\text{омн}} + \left(1 - \frac{C_{\text{зар.см}}}{C_o} \right) F_{\text{зар.см}} \right] + K t_n F_{\text{зар.см}}}{\alpha_{\text{л}} \frac{C_{\text{зар.см}} C_{\text{омн}}}{C_{\text{пр}} C_o} \left[F_{\text{омн}} + \left(1 - \frac{C_{\text{зар.см}}}{C_o} \right) F_{\text{зар.см}} \right] + K F_{\text{зар.см}}}, \quad (8)$$

где α_n – коэффициент теплопередачи излучением, Вт/(м²·°C). Его величину определяем с учетом приведенного коэффициента излучения $C_{\text{пр}}$ и температурного коэффициента. Для определения последнего воспользуемся графиком на рис. 2.

Для определения температуры на наружной поверхности радиаторной стены воспользуемся формулой:

$$\tau_n = t_n + \frac{\tau_{\text{зар.см}} - t_n}{R_{\text{озар.см}}} R_n. \quad (9)$$

Рассмотрим изменение температур и величину теплопотерь на примере нескольких вариантов конструкций наружной радиаторной стены с различным сопротивлением теплопередаче при наличии и отсутствии на внутренней радиаторной поверхности экрана из алюминиевой фольги. Коэффициент излучения поверхности отопительного прибора – $C_{\text{омн}} = 4,9$ Вт/(м²·°C⁴), штукатурного цементно-песчаного раствора $C_{\text{зар.см}} = 4,6$ Вт/(м²·°C⁴). Коэффициент излучения отражательной теплоизоляции из алюминиевой фольги $C_{\text{ал.фол}} = 0,5$ Вт/(м²·°C⁴), коэффициент излучения абсолютно черного тела $C_{\text{омн}} = 5,76$ Вт/(м²·°C⁴). Приведенный коэффициент излучения определяется по выражению:

$$C_{\text{пр}} = \frac{1}{\frac{1}{C_{\text{омн}}} + \frac{1}{C_{\text{зар.см}}} - \frac{1}{C_o}}.$$

При теплообмене излучением между поверхностями воздушной прослойки, имеющими коэффициент излучения $C_{\text{омн}} = 4,9$ Вт/(м²·°C⁴) и $C_{\text{зар.см}} = 4,6$ Вт/(м²·°C⁴), приведенный коэффициент излучения составит: $C_{\text{пр}} = 4,03$ Вт/(м²·°C⁴); для поверхностей при $C_{\text{омн}} = 4,9$ Вт/(м²·°C⁴) и $C_{\text{ал.фол}} = 0,5$ Вт/(м²·°C⁴), приведенный коэффициент излучения составит $C_{\text{пр}} = 0,86$ Вт/(м²·°C⁴).

Коэффициент теплопередачи излучением между поверхностями отопительного прибора и радиаторной стенки при отсутствии экрана из алюминиевой фольги будет.

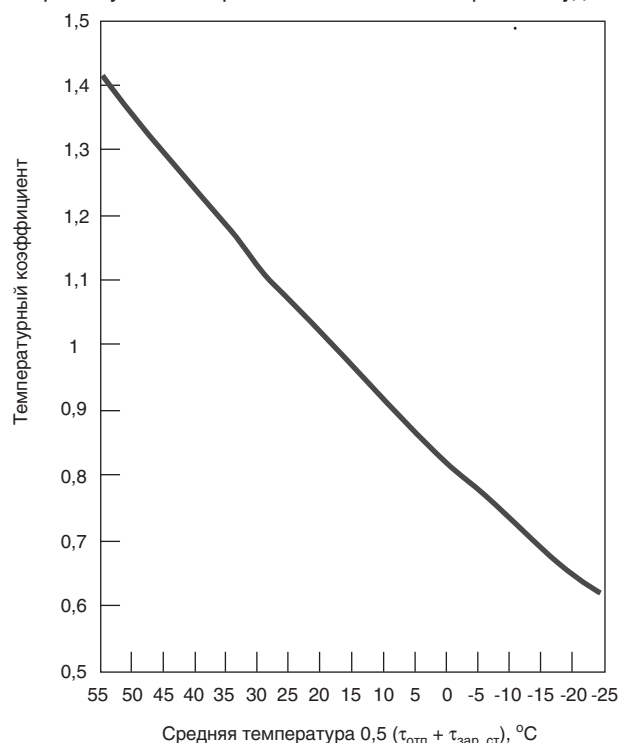


Рис. 2. Зависимость температурного коэффициента от средней температуры

Таблица 1

Теплотехнические характеристики	Теплотехнические показатели для наружной радиаторной стенки при $t_{от} = 70^{\circ}\text{C}$, $t_{в} = 20^{\circ}\text{C}$, $t_{н} = -26^{\circ}\text{C}$							
	Сопротивление теплопередаче радиаторной стенки из обыкновенного глиняного кирпича толщиной 0,51 м равно $R_{0,зар.ст} = 0,672 \text{ м}^2\cdot^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$		Сопротивление теплопередаче радиаторной стенки из щелевого кирпича толщиной 0,51 м равно $R_{0,зар.ст} = 0,922 \text{ м}^2\cdot^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$		Сопротивление теплопередаче радиаторной стенки из обыкновенного глиняного кирпича толщиной 0,51 м, утепленного минеральной ватой толщиной 5 см, равно $R_{0,зар.ст} = 1,8 \text{ м}^2\cdot^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$		Сопротивление теплопередаче радиаторной стенки из обыкновенного глиняного кирпича толщиной 0,51 м, утепленного минеральной ватой толщиной 10 см, равно $R_{0,зар.ст} = 2,925 \text{ м}^2\cdot^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$	
	при устройстве экрана из алюминиевой фольги	при отсутствии экрана из алюминиевой фольги	при устройстве экрана из алюминиевой фольги	при отсутствии экрана из алюминиевой фольги	при устройстве экрана из алюминиевой фольги	при отсутствии экрана из алюминиевой фольги	при устройстве экрана из алюминиевой фольги	при отсутствии экрана из алюминиевой фольги
Температура на внутренней поверхности радиаторной стенки, $^{\circ}\text{C}$	13,5	51,38	21,09	55,79	36,63	62,1	46,32	64,99
Температура на наружной поверхности радиаторной стенки, $^{\circ}\text{C}$	-23,47	-21,05	-23,8	-22,18	-24,5	-23,9	-24,94	-24,66
Величина теплового потока, $\text{Вт}/\text{м}^2$	58,8	115,1	51,07	86,64	34,69	48,8	24,72	31,1

Таблица 2

Теплотехнические характеристики	Теплотехнические показатели для наружной стены при $t_{в} = 20^{\circ}\text{C}$, $t_{н} = -26^{\circ}\text{C}$			
	Сопротивление теплопередаче стены из обыкновенного глиняного кирпича толщиной 0,51 м равно $R_{0,зар.ст} = 0,786 \text{ м}^2\cdot^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$	Сопротивление теплопередаче стены из щелевого кирпича толщиной 0,51 м равно $R_{0,зар.ст} = 1,037 \text{ м}^2\cdot^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$	Сопротивление теплопередаче стены из обыкновенного глиняного кирпича толщиной 0,51 м, утепленного минеральной ватой толщиной 5 см, равно $R_{0,зар.ст} = 1,92 \text{ м}^2\cdot^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$	Сопротивление теплопередаче стены из обыкновенного глиняного кирпича толщиной 0,51 м, утепленного минеральной ватой толщиной 10 см, равно $R_{0,зар.ст} = 3,04 \text{ м}^2\cdot^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$
Температура по глади внутренней поверхности стены, $^{\circ}\text{C}$	13,38	14,9	17,26	18,26
Температура по глади наружной поверхности стены, $^{\circ}\text{C}$	-23,48	-24,09	-24,9	-25,36
Величина теплового потока, $\text{Вт}/\text{м}^2$	58,52	47,71	23,95	15,72

$$\alpha_n = \frac{1}{\frac{1}{4,6} + \frac{1}{4,9} - \frac{1}{5,76}} 1,42 = 5,72 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot^{\circ}\text{C}).$$

Коэффициент теплопередачи излучением между поверхностями отопительного прибора и экраном с отражательной теплоизоляцией из алюминиевой фольги на внутренней поверхности радиаторной стенки будет:

$$\alpha_n = \frac{1}{\frac{1}{0,5} + \frac{1}{4,9} - \frac{1}{5,76}} 1,35 = 0,66 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot^{\circ}\text{C}).$$

Примем площадь наружной поверхности нагрева одной секции 0,465 м². Под окном установлен стандартный отопительный прибор из 6 секций, общая площадь наружной поверхности нагрева отопительного прибора составит 0,465×6 = 2,79 м². Поверхность отопительного прибора, обращенная к радиаторной наружной стенке, составляет примерно 1/3 от площади отопительного прибора. Тогда поверхность отопительного прибора составит $F_{омн} = 2,79 \times 1/3 = 0,93 \text{ м}^2$. Поверхность, обогреваемую отопительным прибором, увеличим на 10%, тогда ее величина составит $F_{зар.ст} = 9,3 \times 1,1 = 1,02 \text{ м}^2$.

Теплотехнические расчеты по предложенной методике были выполнены для следующих конструкций:

- наружная стена из обыкновенного глиняного кирпича на цементно-песчаном растворе толщиной 0,51 м. Сопротивление теплопередаче по глади стены $R_0 = 0,786 \text{ м}^2\cdot^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$ и по наружной радиаторной стенке $R_{0,зар.ст} = 0,672 \text{ м}^2\cdot^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$;
- наружная стена из щелевого кирпича на цементно-песчаном растворе толщиной 0,51 м. Сопротивление теплопередаче по глади стены $R_0 = 1,037 \text{ м}^2\cdot^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$ и по наружной радиаторной стенке $R_{0,зар.ст} = 0,922 \text{ м}^2\cdot^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$;
- наружная стена из обыкновенного глиняного кирпича на цементно-песчаном растворе толщиной 0,51 м, утепленная слоем минеральной ваты толщиной 5 см с минеральной штукатуркой. Сопротивление теплопередаче по глади стены $R_0 = 1,92 \text{ м}^2\cdot^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$ и по наружной радиаторной стенке $R_{0,зар.ст} = 1,8 \text{ м}^2\cdot^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$;
- наружная стена из обыкновенного глиняного кирпича на цементно-песчаном растворе толщиной 0,51 м, утепленная слоем минеральной ваты толщиной 10 см с минеральной штукатуркой. Сопротивление теплопередаче по глади стены $R_0 = 3,04 \text{ м}^2\cdot^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$ и по наружной радиаторной стенке $R_{0,зар.ст} = 2,925 \text{ м}^2\cdot^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$.

Результаты теплотехнических расчетов температур и величины тепловых потоков при наличии и отсутствии экрана

из отражательной теплоизоляции на поверхности радиаторной стенки и по гледи стены приведены в табл.1 и табл. 2.

Из проведенного анализа табл.1 и 2 видно, что использование экрана из алюминиевой фольги на поверхности ограждающей конструкции с $R_{о.з.ар.ст} = 0,672 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ по сравнению аналогичным ограждением без установки экрана из алюминиевой фольги уменьшает величину потерь теплоты уменьшается с 115,1 до 58,8 Вт/м²; при $R_{о.з.ар.ст} = 0,922 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ потери теплоты уменьшаются с 86,64 до 51,07 Вт/м²; при $R_{о.з.ар.ст} = 1,8 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ потери теплоты уменьшаются с 48,8 до 34,69 Вт/м²; при $R_{о.з.ар.ст} = 2,925 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ потери уменьшаются с 31,1 до 24,72 Вт/м².

Таким образом, установлено, что при размещении экрана из алюминиевой фольги на внутренней поверхности радиаторной стенки значительная часть теплового потока, излучаемого радиатором, отражается от экрана внутрь помещения. В результате температура внутренней поверхно-

сти радиаторной стенки понижается, а величина потерь теплоты на этом участке ограждения резко уменьшается.

Сопоставление величин тепловых потерь показало, что теплотопери через радиаторную стенку при отсутствии экрана из алюминиевой фольги в два раза больше, чем по гледи стены.

Анализ полученных результатов расчетов позволяет сделать вывод об эффективности применения отражательной теплоизоляции для снижения тепловых потерь через наружные ограждающие конструкции зданий. При этом следует отметить, что наибольшая эффективность применения отражательной теплоизоляции отмечается при однослойных конструкциях наружных стен. Представляется наиболее целесообразным конструктивным решением использование экрана из алюминиевой фольги на поверхности радиаторной стенки при реконструкции зданий, наружные стеновые ограждения которых были спроектированы по нормам, действующим до 1995–2000 гг.

Список литературы

1. Ахременков А.А., Кузьмин В.А., Цирлин А.М., Цыганков В.М.. Энергетическая эффективность покрытия внутренней поверхности помещений отражательной теплоизоляцией // *Строительные материалы*. 2013. № 12. С. 65–67.
2. Умнякова Н.П. Теплозащита замкнутых воздушных прослоек с отражательной теплоизоляцией // *Жилищное строительство*. 2014. № 1–2. С. 16–20.
3. Гагарин В.Г., Дмитриев К.А. Учет теплотехнических неоднородностей при оценке теплозащиты ограждающих конструкций в России и европейских странах // *Строительные материалы*. 2013. № 6. С. 14–16.
4. Левин Е.В., Окунев А.Ю., Умнякова Н.П., Шубин И.Л. Основы современной строительной термографии. М.: НИИСФ РААСН. 2012. 176 с.
5. Ройфе В.С. К обоснованию выбора неразрушающего метода оценки теплозащитных свойств строительных материалов // *Строительные материалы*. 2013. № 6. С. 22–23.

References

1. Akhremenkov A.A., Kuzmin V.A., Tsirlin A.M. Energy Efficiency of Coating the Inner Surface of Premises with Reflective Heat Insulation. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2013. No. 12, pp. 65–67. (In Russian).
2. Umnyakova N.P.. Heat Protection of Cloused Air Spaces with Reflective Insulation. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2014. No. 1–2, pp. 16–20. (In Russian).
3. Gagarin V.G., Dmitriyev K.A. The accounting of heattechnical not uniformity at an assessment of a heatshielding of protecting designs in Russia and the European countries. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2013. No. 6, pp. 14–16. (In Russian).
4. Levin E.V., Okunev A.Yu., Umnyakova N.P., Choubin I.L. Osnovy sovremennoj stroitel'noj termografii. [Bases of a modern construction termografiya]. Moscow: NIISF RAACS. 2012. 176 p.
5. Royfe V.S. To justification of a choice of a nondestructive method of an assessment of heat-shielding properties of construction materials. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2013. No. 6, pp. 22–23. (In Russian).