

УДК

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

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

Снижение теплопотерь поверхности зарадиаторной стенки

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

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

N.P. UMYAKOVA, 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 «НИИсантехники», 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 воды $t_{\text{вх}} = 105^{\circ}\text{C}$ и выходящей $t_{\text{вых}} = 70^{\circ}\text{C}$, 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 зарадиаторные участки наружных ограждающих конструкций, не учитывается в теплотехнических расчетах при подсчете общих теплопотерь здания [1–5]. В связи с этим была

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

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

Толщина воздушной прослойки между поверхностью отопительного прибора (радиатора) и зарадиаторной поверхностью наружной стены имеет малый размер, и величина произведения критерия Грасгофа на критерий Прандтля $\text{Gr-Pr} < 1000$. 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 зарадиаторной наружной стенки, будет

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

или

$$Q_{\text{омн}}^{\text{пад}} = \alpha_{\text{п}} \frac{C_{\text{омн}} C_{\text{зап.ст}}}{C_o C_{\text{пп}}} [(\tau_{\text{омн}} - \tau_{\text{зап.ст}})] F_{\text{омн}}, \quad (2)$$

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

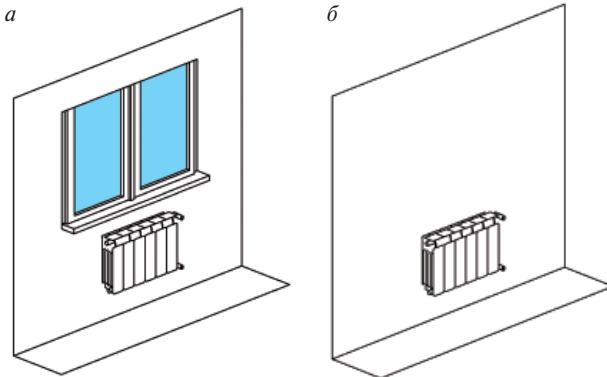


Рис. 1. Расположение отопительного прибора в помещении: а – под оконным проемом; б – около стены

ны; C_o – коэффициент излучения абсолютно черного тела, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C}^4)$.

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

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

или

$$Q_{\text{зап.ст}}^{\text{omp}} = \alpha_{\text{з.}} \frac{C_{\text{зап.ст}} C_{\text{омн}}}{C_{\text{нр}} C_o} [\tau_{\text{зап.ст}} - \tau_{\text{омн}}] \left(1 - \frac{C_{\text{зап.ст}}}{C_o} \right) F_{\text{зап.ст}}. \quad (4)$$

Количество теплоты, проходящее через наружную зарадиаторную стенку при разности температур между зарадиаторной стенкой $\tau_{\text{зап.ст}}$ и наружным воздухом t_n , будет

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

где K – коэффициент теплопередачи наружной стены, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$; $K = 1/(R_k + R_n)$; R_k – термическое сопротивление наружной стены, $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$; R_n – сопротивление теплообмену у наружной поверхности стены, $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$.

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

$$Q_{\text{зап.ст}} = Q_{\text{омн}}^{\text{над}} - Q_{\text{зап.ст}}^{\text{omp}}, \quad (6)$$

или

$$K(\tau_{\text{зап.ст}} - t_n) F_{\text{зап.ст}} = \alpha_{\text{з.}} \frac{C_{\text{зап.ст}} C_{\text{омн}}}{C_{\text{нр}} C_o} (\tau_{\text{омн}} - \tau_{\text{зап.ст}}) - \alpha_{\text{з.}} \frac{C_{\text{зап.ст}} C_{\text{омн}}}{C_{\text{нр}} C_o} (\tau_{\text{зап.ст}} - \tau_{\text{омн}}) \left(1 - \frac{C_{\text{зап.ст}}}{C_o} \right) F_{\text{зап.ст}}. \quad (7)$$

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

$$\tau_{\text{зап.ст}} = \frac{\alpha_{\text{з.}} \frac{C_{\text{зап.ст}} C_{\text{омн}}}{C_{\text{нр}} C_o} \left[F_{\text{омн}} + \left(1 - \frac{C_{\text{зап.ст}}}{C_o} \right) F_{\text{зап.ст}} \right] + K t_n F_{\text{зап.ст}}}{\alpha_{\text{з.}} \frac{C_{\text{зап.ст}} C_{\text{омн}}}{C_{\text{нр}} C_o} \left[F_{\text{омн}} + \left(1 - \frac{C_{\text{зап.ст}}}{C_o} \right) F_{\text{зап.ст}} \right] + K F_{\text{зап.ст}}}, \quad (8)$$

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

Для определения температуры на наружной поверхности зарадиаторной стены воспользуемся формулой:

$$\tau_n = t_n + \frac{\tau_{\text{зап.ст}} - t_n}{R_{\text{зап.ст}}} R_n. \quad (9)$$

Рассмотрим изменение температур и величину теплопотерь на примере нескольких вариантов конструкций наружной зарадиаторной стены с различным сопротивлением теплопередаче при наличии и отсутствии на внутренней зарадиаторной поверхности экрана из алюминиевой фольги. Коэффициент излучения поверхности отопительного прибора – $C_{\text{омн}} = 4,9 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C}^4)$, штукатурного цементно-песчаного раствора $C_{\text{зап.ст}} = 4,6 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C}^4)$. Коэффициент излучения отражательной теплоизоляции из алюминиевой фольги $C_{\text{ал.фол}} = 0,5 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C}^4)$, коэффициент излучения абсолютно черного тела $C_{\text{омн}} = 5,76 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C}^4)$. Приведенный коэффициент излучения определяется по выражению:

$$C_{\text{нр}} = \frac{1}{\frac{1}{C_{\text{омн}}} + \frac{1}{C_{\text{зап.ст}}} - \frac{1}{C_o}}.$$

При теплообмене излучением между поверхностями воздушной прослойки, имеющими коэффициент излучения $C_{\text{омн}} = 4,9 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C}^4)$ и $C_{\text{зап.ст}} = 4,6 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C}^4)$, приведенный коэффициент излучения составит: $C_{\text{нр}} = 4,03 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C}^4)$; для поверхностей при $C_{\text{омн}} = 4,9 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C}^4)$ и $C_{\text{ал.фол}} = 0,5 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C}^4)$, приведенный коэффициент излучения составит $C_{\text{нр}} = 0,86 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C}^4)$.

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

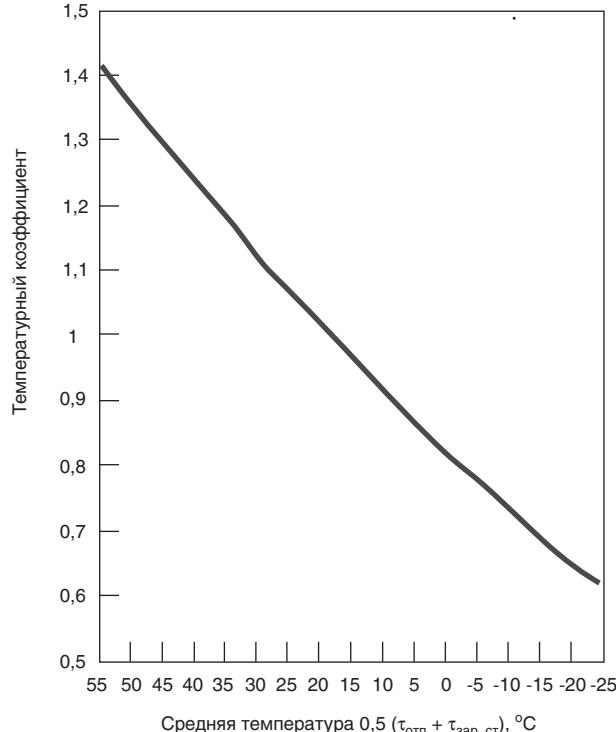


Рис. 2. Зависимость температурного коэффициента от средней температуры

Таблица 1

Теплотехнические характеристики	Теплотехнические показатели для наружной зарадиаторной стенки при $t_{om} = 70^{\circ}\text{C}$, $t_a = 20^{\circ}\text{C}$, $t_h = -26^{\circ}\text{C}$							
	Сопротивление теплопередаче зарадиаторной стенки из обыкновенного глиняного кирпича толщиной 0,51 м равно $R_{o.zap.cm} = 0,672 \text{ м}^2 \cdot \text{^{\circ}C/Bt}$		Сопротивление теплопередаче зарадиаторной стенки из щелевого кирпича толщиной 0,51 м равно $R_{o.zap.cm} = 0,922 \text{ м}^2 \cdot \text{^{\circ}C/Bt}$		Сопротивление теплопередаче зарадиаторной стенки из обыкновенного глиняного кирпича толщиной 0,51 м, утепленного минеральной ватой толщиной 5 см, равно $R_{o.zap.cm} = 1,8 \text{ м}^2 \cdot \text{^{\circ}C/Bt}$		Сопротивление теплопередаче зарадиаторной стенки из обыкновенного глиняного кирпича толщиной 0,51 м, утепленного минеральной ватой толщиной 10 см, равно $R_{o.zap.cm} = 2,925 \text{ м}^2 \cdot \text{^{\circ}C/Bt}$	
	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 зарадиаторной стенки, $^{\circ}\text{C}$	13,5	51,38	21,09	55,79	36,63	62,1	46,32	64,99
Температура на наружной поверхности зарадиаторной стенки, $^{\circ}\text{C}$	-23,47	-21,05	-23,8	-22,18	-24,5	-23,9	-24,94	-24,66
Величина теплового потока, Bt/m^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 $t_a = 20^{\circ}\text{C}$, $t_h = -26^{\circ}\text{C}$			
	Сопротивление теплопередаче стены из обыкновенного глиняного кирпича толщиной 0,51 м равно $R_{o.zap.cm} = 0,786 \text{ м}^2 \cdot \text{^{\circ}C/Bt}$	Сопротивление теплопередаче стены из щелевого кирпича толщиной 0,51 м равно $R_{o.zap.cm} = 1,037 \text{ м}^2 \cdot \text{^{\circ}C/Bt}$	Сопротивление теплопередаче стены из обыкновенного глиняного кирпича толщиной 0,51 м, утепленного минеральной ватой толщиной 5 см, равно $R_{o.zap.cm} = 1,92 \text{ м}^2 \cdot \text{^{\circ}C/Bt}$	Сопротивление теплопередаче стены из обыкновенного глиняного кирпича толщиной 0,51 м, утепленного минеральной ватой толщиной 10 см, равно $R_{o.zap.cm} = 3,04 \text{ м}^2 \cdot \text{^{\circ}C/Bt}$
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, Bt/m^2 .	58,52	47,71	23,95	15,72

$$\alpha_o = \frac{1}{\frac{1}{1} + \frac{1}{4,9} - \frac{1}{5,76}} 1,42 = 5,72 \text{ Bt}/(\text{m}^2 \cdot \text{^{\circ}C}).$$

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

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

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

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 $R_o = 0,786 \text{ m}^2 \cdot \text{^{\circ}C/Bt}$ и по наружной зарадиаторной стенке $R_{o.zap.cm} = 0,672 \text{ m}^2 \cdot \text{^{\circ}C/Bt}$;

– наружная стена из щелевого кирпича на цементно-песчаном растворе толщиной 0,51 м. Сопротивление теплопередаче по глади стены $R_o = 1,037 \text{ m}^2 \cdot \text{^{\circ}C/Bt}$ и по наружной зарадиаторной стенке $R_{o.zap.cm} = 0,922 \text{ m}^2 \cdot \text{^{\circ}C/Bt}$;

– 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 $R_o = 1,92 \text{ m}^2 \cdot \text{^{\circ}C/Bt}$ и по наружной зарадиаторной стенке $R_{o.zap.cm} = 1,8 \text{ ^{\circ}C/Bt}$;

– 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 $R_o = 3,04 \text{ m}^2 \cdot \text{^{\circ}C/Bt}$ и по наружной зарадиаторной стенке $R_{o.zap.cm} = 2,925 \text{ m}^2 \cdot \text{^{\circ}C/Bt}$.

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

из отражательной теплоизоляции на поверхности за радиаторной стенки и по глади 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 $R_{o.zap.cm} = 0,672 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Bt}$ по сравнению аналогичным ограждением без установки экрана из алюминиевой фольги уменьшает величину потерь теплоты уменьшается с 115,1 до 58,8 Bt/m^2 ; при $R_{o.zap.cm} = 0,922 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Bt}$ потери теплоты уменьшаются с 86,64 до 51,07 Bt/m^2 ; при $R_{o.zap.cm} = 1,8 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Bt}$ потери теплоты уменьшаются с 48,8 до 34,69 Bt/m^2 ; при $R_{o.zap.cm} = 2,925 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Bt}$ потери теплоты уменьшаются с 31,1 до 24,72 Bt/m^2 .

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

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

Сопоставление величин тепловых потерь показало, что теплопотери через за радиаторную стенку при отсутствии экрана из алюминиевой фольги в два раза больше, чем по глади 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 за 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 про слоек с отражательной теплоизоляцией // Жилищное строительство. 2014. № 1–2. С. 16–20.
3. Гагарин В.Г., Дмитриев К.А. Учет теплотехнических не однородностей 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., Dmitriev 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).