

УДК

Н.П. УМНЯКОВА¹, канд. техн. наук (n.umniakova@mail.ru);
В.М. ЦЫГАНКОВ², директор по инновациям, В.А. КУЗЬМИН² ведущий инженер

¹ Научно-исследовательский институт строительной физики НИИСФ РААСН (127238, г. Москва, Локомотивный пр., 21)

² ЗАО «Завод ЛИТ» (152020, Ярославская обл., г. Переславль-Залесский, ул. Советская, 1)

Экспериментальные теплотехнические исследования для рационального проектирования стеновых конструкций с отражательной теплоизоляцией

В настоящее время для обеспечения высоких требований по тепловой защите наружных стеновых ограждений применяются теплоизоляционные материалы с низким коэффициентом теплопроводности, применение которых не влияет на теплопотери за счет процесса излучения. Снижение тепловых потерь зданием возможно за счет применения отражательной теплоизоляции, которая уменьшает поток теплоты, проходящий через наружное ограждение. Для оценки эффективности применения отражательной теплоизоляции в наружной стеновой ограждающей конструкции проведены экспериментальные теплотехнические исследования в климатической камере НИИСФ РААСН. В результате на основе экспериментальных данных получены значения термических сопротивлений воздушных прослоек, имеющих поверхности из материалов с различными коэффициентами излучения поверхностей. На основе разработанной методики и алгоритмов расчета уровня тепловой защиты воздушных прослоек с отражательной теплоизоляцией и без нее с использованием полученных экспериментальных данных оценена эффективность применения отражательной теплоизоляции в наружных стеновых ограждениях.

Ключевые слова: отражательная теплоизоляция, термическое сопротивление, коэффициент излучения, климатические камеры, экспериментальные исследования.

Для цитирования: Умнякова Н.П., Цыганков В.М., Кузьмин В.А. Экспериментальные теплотехнические исследования для рационального проектирования стеновых конструкций с отражательной теплоизоляцией // *Жилищное строительство*. 2017. № 12. С. 00–00.

N.P. UMNIKOVA¹, Candidate of Sciences (Engineering) (n.umniakova@mail.ru);
V.M. TSYGANKOV², Director for innovations, V.A. KUZMIN², Leading Engineer

¹ Research Institute for Building Physics of RAACS (21, Lokomotivny proyezd, 127238 Moscow, Russian Federation)

² ZAO «Factory LIT» (1, Sovetskaya Street, Pereslavl-Zalesky, Yaroslavl Oblast, 152020, Russian Federation)

Experimental Heat Engineering Studies for Rational Design of Wall Structures with Reflecting Heat Insulation

At present, to provide high requirements for heat protection of external wall structures the heat insulation materials with a low coefficient of heat conductivity are used; their use don't influence on heat losses due to the radiation process. Reduction in heat losses of a building is possible due to the use of reflecting heat insulation which reduces the heat flow passing through the external enclosing. To assess the efficiency of the use of reflecting heat insulation in the external wall enclosing structure, the experimental heat engineering studies have been conducted in the climatic chamber of NISF RAACS. As a result, on the basis of experimental data the values of thermal resistances of air cavities having surfaces of materials with different coefficients of reflection of surfaces have been obtained. On the basis of the developed methodology and algorithms of calculation of the level of heat protection of air cavities with reflecting heat insulation and without it with the use of experimental date obtained, the efficiency of the use of reflecting heat insulation in external wall enclosings has been assessed.

Keywords: reflecting heat insulation, thermal resistance, coefficient of radiation, climatic chambers, experimental studies.

For citation: Umniakova N.P., Tsygankov V.M., Kuzmin V.A. Experimental heat engineering studies for rational design of wall structures with reflecting heat insulation. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2017. No. 12, pp. 00–00. (In Russian).

В настоящее время повышение теплозащитных качеств наружных ограждающих конструкций происходит за счет увеличения толщины материала теплоизоляционного слоя и соответственно за счет уменьшения потока теплоты, передаваемого наружным ограждением путем теплопроводности. При этом не учитываются другие пути передачи теплоты, в частности излучением. Поэтому материалы, способные отражать лучистую составляющую теплового потока (на

основе алюминиевой фольги), в настоящее время мало используются в строительных конструкциях. Известно, что эффективность отражательной теплоизоляции обусловлена тем, что блестящая поверхность материала с низким коэффициентом излучения отражает лучистую составляющую теплового потока внутрь помещения, в результате чего снижается суммарная величина теплового потока, проходящего через наружное ограждение [1, 2].

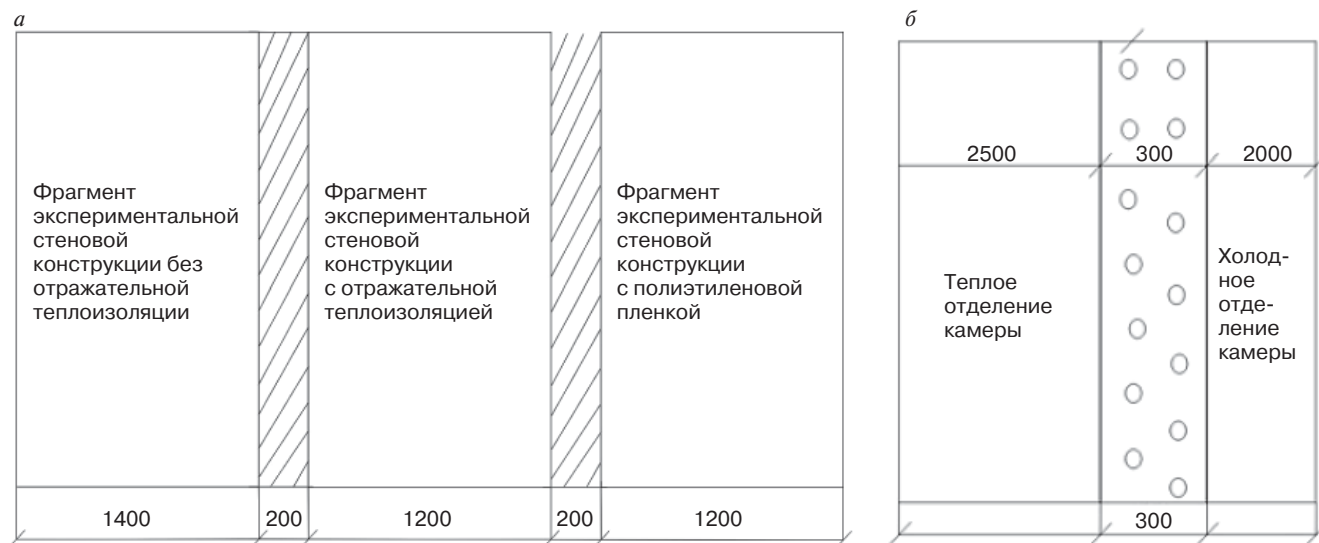


Рис. 1. Схема экспериментальной стеновой конструкции, установленной в климатической камере: а — со стороны теплого отделения климатической камеры; б — схема в разрезе

Анализ технической литературы показал, что в настоящее время имеются единичные исследования отражательной теплоизоляции, применяемой в кораблестроении, для изоляции резервуаров с криогенными веществами, а также для изоляции трубопроводов. При этом отдельных имеющихся исследований отражательной теплоизоляции, предназначенной для строительства, недостаточно, и для ее широкого применения требуются дополнительные экспериментальные исследования [3–7].

Для оценки эффективности использования отражательной теплоизоляции в наружных ограждающих конструкциях были проведены комплексные теплотехнические исследования конструкции стенового наружного ограждения при наличии отражательной теплоизоляции в ее толще и без отражательной теплоизоляции. Для этого в климатических камерах НИИСФ РААСН была возведена экспериментальная конструкция наружной стены с отражательной теплоизоляцией и без нее с целью проведения сопоставительных теплотехнических исследований для получения данных о температуре на поверхности и о характере ее распределения в толще конструкции, а также для оценки сопротивления теплопередаче конструкции при наличии и отсутствии отражательной теплоизоляции.

Исследуемая экспериментальная стеновая конструкция из блоков из ячеистого бетона плотностью 560 кг/м³, толщиной 300 мм была разделена на три части (фрагмента): фрагмент I состоял только из блоков из ячеистого бетона и не имел полиэтиленовой пленки и отражательной теплоизоляции на основе алюминиевой фольги на поверхности; фрагмент II состоял из блоков из ячеистого бетона и имел

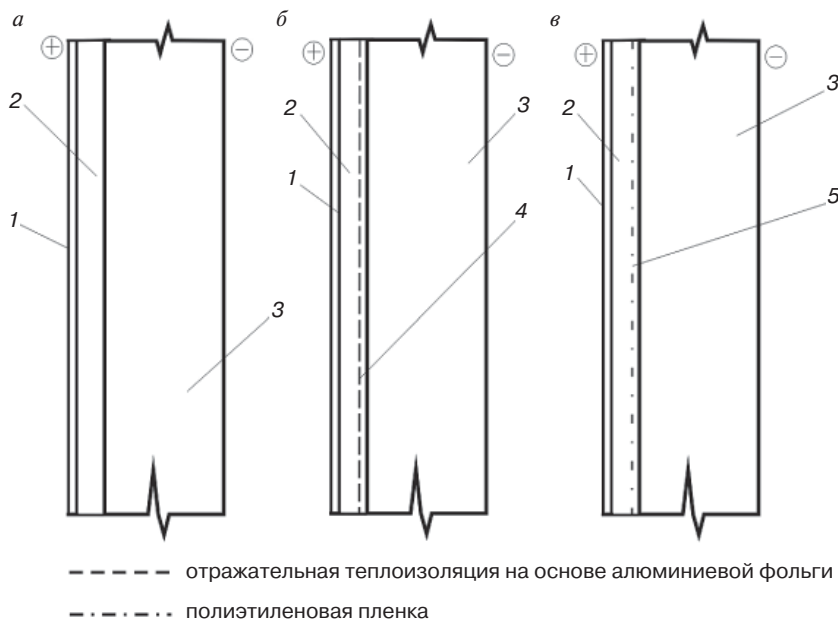


Рис. 2. Схема экспериментальной стеновой конструкции, установленной в климатической камере с устройством воздушной прослойки у внутренней поверхности ограждения: а — воздушная прослойка с одной поверхностью из гипсокартонных листов и другой поверхностью из стеновых блоков из ячеистого бетона (фрагмент I); б — воздушная прослойка с одной поверхностью из гипсокартонных листов и другой поверхностью из отражательной теплоизоляции на основе алюминиевой фольги, смонтированной на блоках из ячеистого бетона (фрагмент II); в — воздушная прослойка с одной поверхностью из гипсокартонных листов и другой поверхностью из полиэтиленовой пленки, смонтированной на блоках из ячеистого бетона (фрагмент III); 1 — лист из гипсокартона толщиной 12,5 мм; 2 — воздушная прослойка толщиной 50 мм; 3 — стена из блоков из ячеистого бетона толщиной 300 мм; 4 — отражательная теплоизоляция на основе алюминиевой фольги, смонтированная на поверхности блоков из ячеистого бетона; 5 — полиэтиленовая пленка, установленная на поверхности блоков из ячеистого бетона

в своем составе слой отражательной теплоизоляции на основе алюминиевой фольги (типа Армафол) на внутренней поверхности, обращенной в теплое отделение климатической камеры; фрагмент III состоял также из блоков из ячеистого бетона и имел в своем составе слой полиэтиленовой пленки на внутренней поверхности блоков, обращенной в теплое отделение камеры. Для исключения взаимного

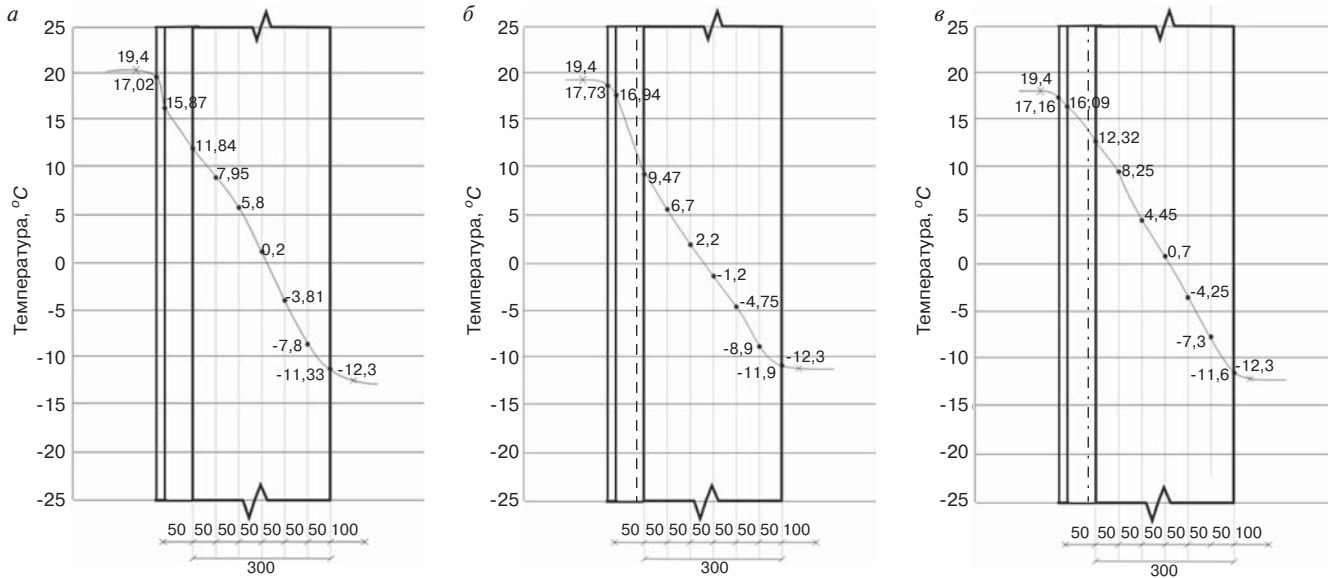


Рис. 3. Распределение температуры по толщине экспериментальной стеновой конструкции из ячеистого бетона толщиной 300 мм с воздушной прослойкой при температуре воздуха в теплом отделении камеры $t_{\text{в}}=19,4^{\circ}\text{C}$, в холодном отделении $t_{\text{н}}=-12,3^{\circ}\text{C}$: а – фрагмент I; б – фрагмент II; в – фрагмент III

влияния друг на друга фрагментов с отражательной теплоизоляцией, с полиэтиленовой пленкой и без нее, между частями экспериментальной конструкции была сделана термовставка из пенополистирола шириной 200 мм (рис. 1).

Известно, что лучистый тепловой поток, или поток теплоты излучением, распространяется в газообразной среде и вакууме. Поэтому при теплотехнических исследованиях отражательной теплоизоляции были проведены испытания конструкции с воздушной прослойкой, на одной стороне которой был смонтирован экран из отражательной теплоизоляции на основе алюминиевой фольги.

Для этого у внутренней поверхности стены из блоков из ячеистого бетона установлен лист из гипсокартона таким образом, что между поверхностью гипсокартона и поверхностью стены из блоков из ячеистого бетона образовалась воздушная прослойка толщиной 50 мм. С внутренней стороны стеновой конструкции на каждом из исследуемых фрагментов были установлены направляющие, к которым прикреплены листы гипсокартона.

В результате экспериментальная стеновая конструкция представляла собой три фрагмента (рис. 2), в которых:

- один фрагмент имел воздушную прослойку, ограниченную с одной стороны блоками из ячеистого бетона, с другой стороны листом из гипсокартона;
- другой фрагмент имел воздушную прослойку, ограниченную с одной стороны отражательной теплоизоляцией на основе алюминиевой фольги, смонтированной на блоках из ячеистого бетона, с другой стороны листом из гипсокартона;
- третий фрагмент имел воздушную прослойку, ограниченную с одной стороны полиэтиленовой пленкой, смонтированной на блоках из ячеистого бетона, с другой стороны листом из гипсокартона.

В ходе теплотехнических испытаний получены значения температуры на поверхности и в толще каждого из фрагментов экспериментальной конструкции, а также величины тепловых потоков, проходящих через фрагменты экспериментальной конструкции. Результаты измерений температуры на внутренней поверхности стены, на поверхности воздушной прослойки при отсутствии и при наличии отражательной теплоизоляции и полиэтиленовой пленки, а также распределение температуры в толще каждого фрагмента при температуре воздуха в теплом отделении $t_{\text{в}}=19,4^{\circ}\text{C}$ и в холодном отделении $t_{\text{н}}=-12,3^{\circ}\text{C}$ приведена на рис. 3.

На основании полученных значений температуры и тепловых потоков, проходящих через стеновую экспериментальную конструкцию, была вычислена величина сопротивления теплопередаче конструкции с воздушной прослойкой толщиной 50 мм при наличии отражательной теплоизоляции на основе алюминиевой фольги и без нее. Так, сопротивление теплопередаче стеновой конструкции с воздушной прослойкой с поверхностями из гипсокартона и отражательной теплоизоляцией составляет $R_0 = 2,01 \text{ м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$. Для стеновой конструкции с воздушной прослойкой с поверхностями из гипсокартона и ячеистого бетона $R_0 = 1,56 \text{ м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$, а с поверхностями из гипсокартона и полиэтиленовой пленки $R_0 = 1,66 \text{ м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$.

В связи с тем, что на каждом фрагменте экспериментальной конструкции каждая из поверхностей у воздушных прослоек имела разные коэффициенты излучения, термическое сопротивление воздушной прослойки при передаче теплоты излучением, конвекцией и теплопроводностью было определено с учетом вышеперечисленных фактов по следующему уравнению [3]:

$$R_{\text{воз.пр}} = \frac{\tau_{1.\text{воз.пр}} - \tau_{2.\text{воз.пр}}}{C_{\text{пр}} \left[\left(\frac{\tau_{1.\text{воз.пр}} + 273}{100} \right)^4 - \left(\frac{\tau_{2.\text{воз.пр}} + 273}{100} \right)^4 \right] + \frac{\lambda_1 + \lambda_2}{\delta} (\tau_{1.\text{воз.пр}} - \tau_{2.\text{воз.пр}})}, \quad (1)$$

где $C_{пр}$ – приведенный коэффициент излучения равняется $\frac{1}{\frac{1}{C_{1,воз.пр}} + \frac{1}{C_{2,воз.пр}} - \frac{1}{C_0}}$; $C_{1,воз.пр}$ и $C_{2,воз.пр}$ – коэффициенты излучения одной и другой поверхностей воздушной прослойки, Вт/(м²·°C⁴); C_0 – коэффициент излучения абсолютно черного тела, равняется 5,76 Вт/(м²·°C⁴). Для поверхности отражательной теплоизоляции примем $C_{в.ф}=0,5$ Вт/(м²·°C⁴); для гипсокартона $C_{гкл}=4,14$ Вт/(м²·°C⁴); ячеистого бетона – $C_{яч б}=5,23$ Вт/(м²·°C⁴) (ГОСТ Р 56734–2015 «Здания и сооружения. Расчет показателя теплозащиты ограждающих конструкций с отражательной теплоизоляцией»). Значения величин λ_1 и λ_2 в зависимости от толщины воздушной прослойки δ и разности температуры на поверхностях ($t_{1,воз.пр}-t_{2,воз.пр}$), по данным [1, 3] ГОСТ Р 56734–2015, составляет 0,071.

Полученное уравнение (1) позволяет определить термическое сопротивление воздушной прослойки в зависимости от передачи в ней теплоты излучением, конвекцией и теплопроводностью; при этом учитываются коэффициенты излучения двух поверхностей воздушной прослойки.

Теплотехнические исследования, проведенные в климатической камере при $t_{в}=19,4^{\circ}\text{C}$ и $t_{н}=-12,3^{\circ}\text{C}$, позволили определить температуру на поверхности воздушных прослоек без устройства отражательной теплоизоляции на поверхности прослойки, с устройством отражательной теплоизоляции на основе алюминиевой фольги на поверхности стены из блоков из ячеистого бетона и при размещении полиэтиленовой пленки на поверхности блоков из ячеистого бетона при различных коэффициентах излучения поверхности воздушной прослойки. Так, получен характер распределения температуры по всей толщине стены для каждого фрагмента экспериментальной конструкции: для воздушной прослойки с одной поверхностью из отражательной теплоизоляции и другой из гипсокартона распре-

деление температуры в конструкции показано на рис. 3, б. Величина температурного перепада составила $\Delta t_{воз.пр}=16,94-9,47=7,47^{\circ}\text{C}$; для воздушной прослойки с поверхностями из ячеистого бетона и гипсокартона распределение температуры показано на рис. 3, а. Величина температурного перепада составила $\Delta t_{воз.пр}=15,87-11,84=4,03^{\circ}\text{C}$; для воздушной прослойки с поверхностями из полиэтиленовой пленки и ячеистого бетона распределение температуры в конструкции показано на рис. 3, в. Величина перепада $\Delta t_{воз.пр}=16,09-12,32=3,77^{\circ}\text{C}$.

Из графиков на рис. 3 видно, что при температуре воздуха в теплом отделении камеры $t_{в}=19,4^{\circ}\text{C}$ и в холодном отделении $t_{н}=-12,3^{\circ}\text{C}$ величины температурного перепада в воздушной прослойке с поверхностями из гипсокартона и полиэтиленовой пленки и в воздушной прослойке с поверхностями из гипсокартона и ячеистого бетона мало отличаются и составляют 4,03 и 3,77°С. В то же время при использовании в воздушной прослойке отражательной теплоизоляции на одной из поверхностей (рис. 3, б) температурный перепад составляет 7,47°С, что свидетельствует о более высоких теплозащитных качествах воздушной прослойки при наличии отражательной теплоизоляции.

Поскольку в технической литературе значение коэффициента излучения полиэтиленовой пленки соответствует величине 5,24 Вт/(м²·°C⁴) и исходя из равенства температурных перепадов между поверхностями в воздушной прослойке с гипсокартоном и ячеистым бетоном и с полиэтиленовой пленкой и ячеистым бетоном принимаем для поверхности полиэтиленовой пленки, как и для поверхности ячеистого бетона, $C_6=5,24$ Вт/(м²·°C⁴), примем коэффициент излучения, равный 5,23 Вт/(м²·°C⁴).

Полученные теплофизические параметры подставим в уравнение (1) и определим термическое сопротивление воздушных прослоек для следующих вариантов:

– одна поверхность покрыта отражательной теплоизоляцией, другая выполнена из гипсокартона:

$$R_{воз.пр} = \frac{16,94 - 9,47}{\frac{1}{\frac{1}{4,14} + \frac{1}{0,5} - \frac{1}{5,76}} \left[\left(\frac{16,94+273}{100} \right)^4 - \left(\frac{9,47+273}{100} \right)^4 \right] + \frac{0,071}{0,05} (16,94 - 9,47)} = 0,53 \text{ м}^2 \cdot \text{C} / \text{Вт};$$

– одна поверхность выполнена из ячеистого бетона, другая из гипсокартона:

$$R_{воз.пр} = \frac{15,87 - 11,84}{\frac{1}{\frac{1}{4,14} + \frac{1}{5,23} - \frac{1}{5,76}} \left[\left(\frac{15,87+273}{100} \right)^4 - \left(\frac{11,84+273}{100} \right)^4 \right] + \frac{0,071}{0,05} (15,87 - 11,84)} = 0,2 \text{ м}^2 \cdot \text{C} / \text{Вт};$$

– одна поверхность покрыта полиэтиленом, другая выполнена из гипсокартона:

$$R_{воз.пр} = \frac{16,09 - 12,32}{\frac{1}{\frac{1}{4,14} + \frac{1}{5,24} - \frac{1}{5,76}} \left[\left(\frac{16,09+273}{100} \right)^4 - \left(\frac{12,32+273}{100} \right)^4 \right] + \frac{0,071}{0,05} (16,09 - 12,32)} = 0,19 \text{ м}^2 \cdot \text{C} / \text{Вт}.$$

Таким образом, проведенные теплотехнические исследования показали, что при использовании отражательной теплоизоляции в ограждающих конструкциях теплоизоляционные свойства воздушных прослоек увеличиваются в $0,53/0,2=2,65$ раза, что подтверждает высокие теплозащитные свойства отражательной теплоизоляции на основе алюминиевой фольги, полученные ранее теоретическим путем [3].

Проведенные экспериментальные исследования стеновой конструкции с воздушными прослойками, расположенными с теплой стороны ограждения, позволили получить величины их термического сопротивления при различных коэффициентах излучения поверхностей воздушных прослоек.

Полученные результаты должны быть использованы при подготовке Изменения к СП «Проектирование тепловой защиты» и при разработке свода правил «Правила проектирования наружных ограждений с отражательной теплоизоляцией».

Список литературы

1. Фокин К.Ф. Строительная теплотехника ограждающих частей зданий. М.: АВОК-Пресс, 2006. 230 с.
2. Богословский В.Н. Строительная теплофизика (Теплофизические основы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха). М.: Высшая школа, 1982. 415 с.
3. Умнякова Н.П. Теплозащита замкнутых воздушных прослоек с отражательной теплоизоляцией // *Жилищное строительство*. 2014. № 1–2. С. 16–20.
4. Умнякова Н.П., Кузьмин В.А. Применение отражательной теплоизоляции в многослойных панелях с эффектом многократного отражения теплового потока // *Жилищное строительство*. 2016. № 6. С. 21–24.
5. 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.
6. Стефанов Е.В. Вентиляция и кондиционирование воздуха. СПб.: АВОК Северо-Запад, 2005. 402 с.
7. Белова Е.М. Центральные системы кондиционирования воздуха в зданиях. М.: Евроклимат, 2006. 640 с.

References

1. Fokin K.F. Stroitel'naya teplotekhnika ograzhdayushchikh chastey zdaniy [Construction the heating engineer of the protecting parts of buildings]. Moscow: AVOK-Press. 2006. 230 p.
2. Bogoslovskiy V.N. Stroitel'naya teplofizika [Construction thermophysics]. Moscow: Vysshaya shkola. 1982. 415 p.
3. Umnyakova N.P. A heat-shielding of protective air layers with reflective thermal insulation. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2014. № 1–2, pp. 16–20. (In Russian).
4. Umnyakova N.P., Kuz'min V.A. Application of reflective thermal insulation in multilayered panels with effect of repeated reflection of a thermal stream. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2016. № 6, pp. 21–24. (In Russian).
5. Akhremenkov A.A., Kuz'min V.A., Tsirlin A.M., Tsyganov V.M. Power efficiency of a covering of an internal surface of rooms reflective thermal insulation. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2013. № 12, pp. 65–67. (In Russian).
6. Stefanov E.V. Ventilyatsiya i konditsionirovaniye vozdukha [Ventilation and air conditioning]. Sankt-Peterburg: AVOK Severo-zapad. 2005. 402 p.
7. Belova E.M. Tsentral'nyye sistemy konditsionirovaniya vozdukha v zdaniyakh [The central air conditioning systems in buildings.]. Moscow: Yevroklimat. 2006. 640 p.