

Расчетный метод обоснования технологических мероприятий по предотвращению образования ледяных дамб на крышах зданий со скатной кровлей

К.т.н., доцент А.С. Горшков;
д.т.н., профессор Н.И. Ватин;
магистрант А.И. Урустимов,*

*ФГБОУ ВПО Санкт-Петербургский государственный политехнический университет;
к.ф.-м.н., профессор П.П. Рымкевич,
ФВГОУ ВПО Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского*

Ключевые слова: энергоэффективность; уравнение теплового баланса; холодный чердак; крыши зданий; наледи

Настоящая работа посвящена проблеме образования наледей (сосулек) на крышах зданий и способам борьбы с ними. Особенно сильно подвержены такому негативному явлению чердачные крыши зданий со скатной кровлей. Данному вопросу и способам его решения посвящен ряд российских [1-11] и иностранных публикаций [12-20].

Следует отметить, что сосульки являются лишь видимой частью обозначенной выше проблемы, которая заключается в образовании на кровле так называемой ледяной плотины или дамбы (ice dam). Ледяная дамба (рис. 1) в виде гребня льда обычно образуется на кровле параллельно линии ее свеса, предотвращает сход тающего снега с кровли. Ледяные дамбы в виде наледей могут образовываться вокруг световых фонарей, вентиляционных каналов, ендов, разжелобков.

Недостаточная теплоизоляция и отсутствие надлежащей вентиляции чердачного помещения (а в конце зимы и солнечная радиация) вызывают нагрев кровельного покрытия до плюсовой температуры и расплавление снега выше дамбы, в то время как температура на кровельном свесе остается ниже нуля. В этом случае вода стекает по кровле и накапливается за гребнем дамбы.

Дальнейшие пути накопленной воды в рамках внутрисуточного колебания наружной температуры – это наращивание тела ледяной дамбы, перелив или просачивание через дамбу с формированием сосулек, просачивание сквозь кровельное покрытие в виде протечек.

Целью настоящей работы является разработка научно-технического обоснования технологических условий и инженерных мероприятий, обеспечивающих защиту от образования наледей на крышах зданий с неотапливаемым (так называемым «холодным») чердаком в периоды времени, характеризующиеся наиболее низкими температурами наружного воздуха. Предлагаемая в работе методика основана на составлении уравнения теплового баланса чердачных помещений здания.

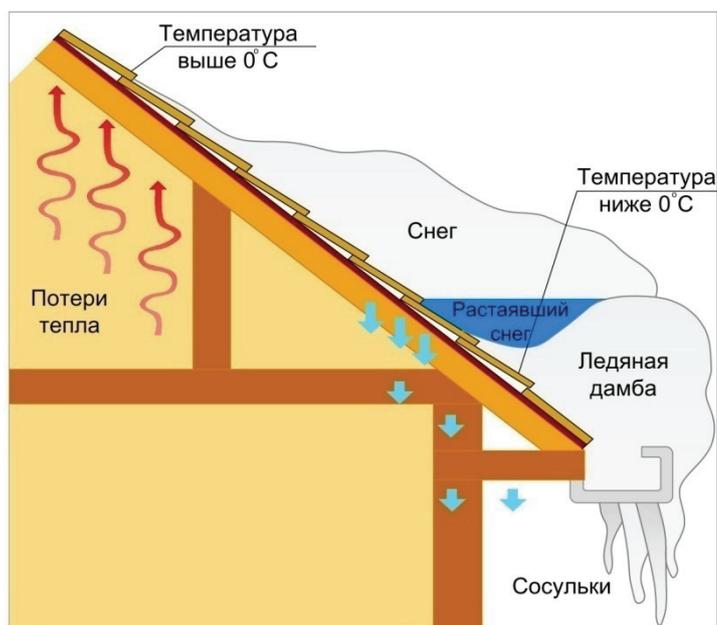


Рисунок 1. Схема образования ледяной дамбы

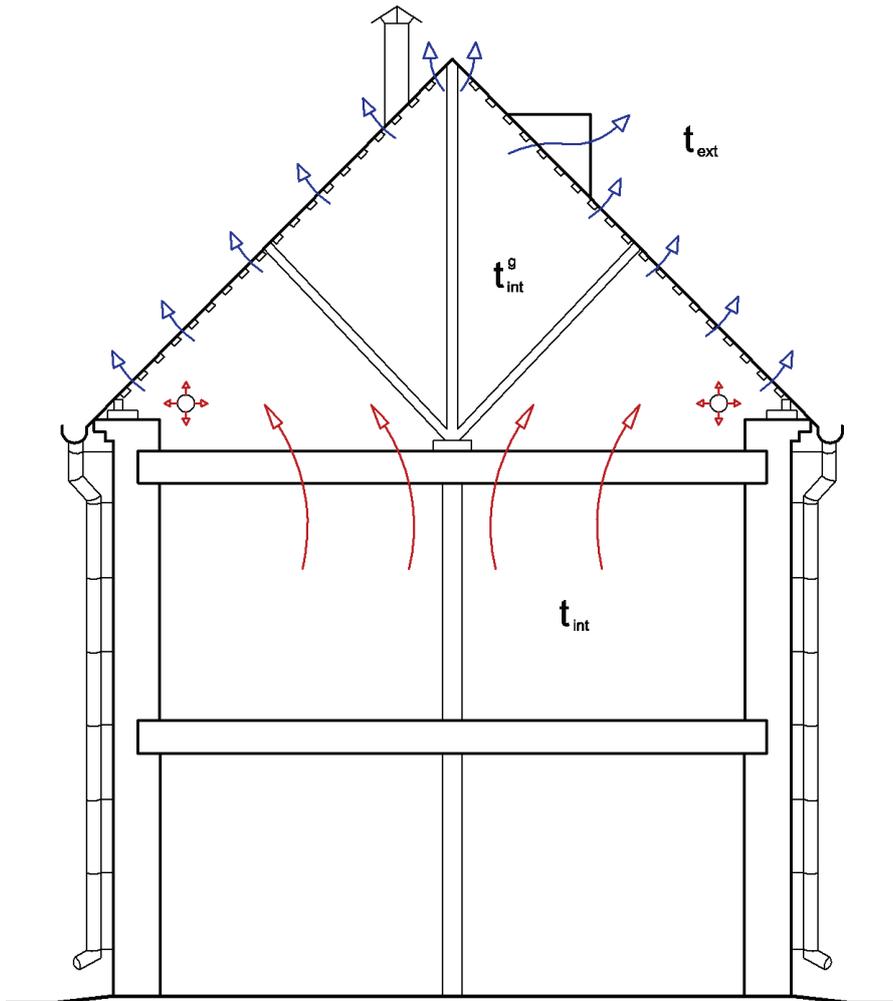


Рисунок 2. Схема баланса теплоступлений и теплопотерь холодных чердаков зданий

Схема баланса и теплоступлений чердачных помещений здания с холодным чердаком и скатной кровлей представлена на рисунке 2.

Из представленной на рисунке 2 схемы теплового баланса помещений холодного чердака видно, что теплоступления в них формируются за счет притока тепла через чердачное перекрытие из помещений верхнего этажа эксплуатируемого здания, а также за счет теплоотдачи проложенных на чердаке трубопроводов системы отопления. Теплопотери складываются из утечек тепла через наружные ограждающие конструкции чердака (стены и покрытие) и потерь за счет вентиляции чердачных помещений наружным воздухом.

Аналитически представленную на рисунке 2 схему теплового баланса чердачных помещений здания можно выразить следующим уравнением:

$$\left(t_{\text{int}} - t_{\text{int}}^{\text{g}}\right) \cdot \sum_{i=1}^n \left(\frac{A_i^+}{R_i^+}\right) + \sum_{j=1}^n (q_{pj} \cdot l_{pj}) = \left(t_{\text{int}}^{\text{g}} - t_{\text{ext}}\right) \cdot \sum_{k=1}^n \left(\frac{A_k^-}{R_k^-}\right) + 0,28 \cdot V_g \cdot n_{\alpha} \cdot t_{\text{ext}}, \quad (1)$$

где t_{int} – температура внутреннего воздуха в помещениях верхнего этажа здания, принимаемая согласно требованиям ГОСТ 30494 [21] для жилых и общественных зданий, ГОСТ 12.1.005 [22] для производственных зданий, °С, или определяемая инструментально в процессе натурных измерений параметров микроклимата в помещениях здания;

$t_{\text{int}}^{\text{g}}$ – температура воздуха в помещениях холодного чердака здания, °С;

A_i^+ , R_i^+ – соответственно площадь, м^2 , и приведенное сопротивление теплопередаче, $\text{м}^2 \cdot \text{°С}/\text{Вт}$, i -го участка ограждения между отапливаемыми в здании помещениями и помещениями холодного чердака (чердачное перекрытие, стены вентканалов, перегородки между чердачными помещениями и помещениями лестничных маршей и др.);

q_{pj} – линейная плотность теплового потока через поверхность теплоизоляции, приходящаяся на 1 п.м. длины трубопровода j -го диаметра с учетом теплопотерь через изолированные опоры, фланцевые соединения и арматуру, $\text{Вт}/\text{м}$ (для чердаков и подвалов значения q_{pj} в зависимости от условного диаметра трубопровода и средней температуре теплоносителя приведены в табл. 12 СП 23–101 [23]);

l_{pj} – длина трубопровода j -го диаметра, м (для эксплуатируемых зданий принимается по фактическим данным);

t_{ext} – температура наружного воздуха, °С, принимаемая для соответствующего населенного пункта по средней температуре наиболее холодной пятидневки с обеспеченностью 0,92 согласно СНиП 23-01 [24];

A_k^-, R_k^- – соответственно площадь, m^2 , и приведенное сопротивление теплопередаче, $m^2 \cdot ^\circ C / Вт$, k -го участка наружных ограждающих конструкций чердачных помещений (покрытие, наружные стены, заполнения оконных проемов при наличии);

V_g – объем воздуха, заполняющего пространство холодного чердака, m^3 ;

n_α – кратность воздухообмена в помещениях холодного чердака, $ч^{-1}$.

Левая часть уравнения (1) показывает суммарное количество тепловой энергии, поступающей в помещения холодного чердака, правая часть – потери тепловой энергии через наружные ограждающие конструкции, а также за счет вентиляции чердачного пространства наружным воздухом.

Для предотвращения образования наледей на крышах зданий с холодным чердаком в период наиболее низких температур наружного воздуха необходимо, чтобы температура воздуха в чердачных помещениях не более чем на $4\ ^\circ C$ превышала температуру наружного воздуха [25]. Разности температур в $2-4\ ^\circ C$ в подавляющем большинстве случаев оказывается недостаточно для разогрева нижнего слоя снежного покрова, лежащего на кровельном покрытии. Аналитически данное условие может быть выражено в следующем виде:

$$t_{int}^g - t_{ext} \leq 4\ ^\circ C, \quad (2)$$

где $t_{int}^{ог}$, t_{ext} – то же, что и в уравнении (1).

Климат Санкт-Петербурга в отопительный период эксплуатации зданий характеризуется значительным разбросом температур наружного воздуха. Для климатических условий Санкт-Петербурга температура воздуха наиболее холодной пятидневки с обеспеченностью 0,92 составляет $-26\ ^\circ C$. Выполнение условия (2) при температуре наружного воздуха $-26\ ^\circ C$ автоматически означает выполнение условия (2) при более высоких температурах наружного воздуха (т.е. при температурах $t_{ext} \geq -26\ ^\circ C$).

Из уравнения (1) можно рассчитать температуру воздуха на холодном чердаке здания t_{int}^g :

$$t_{int}^g = \frac{t_{int} \cdot \sum_{i=1}^n \left(\frac{A_i^+}{R_i^+} \right) + t_{ext} \cdot \sum_{k=1}^n \left(\frac{A_k^-}{R_k^-} \right) + \sum_{j=1}^n (q_{pj} \cdot l_{pj}) - 0,28 \cdot V_g \cdot n_\alpha \cdot t_{ext}}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{A_i^+}{R_i^+} \right) + \sum_{k=1}^n \left(\frac{A_k^-}{R_k^-} \right)}. \quad (3)$$

Все обозначения в формуле (3) те же, что и в формуле (1).

Анализ формул (1) и (3) позволяет сделать следующие заключения. Для того чтобы уменьшить тепловой поток через наружные ограждающие конструкции помещений холодного чердака, необходимо снизить температуру воздуха на чердаке. При заданных значениях температур наружного (t_{ext}) и внутреннего (t_{int}) воздуха, неизменных геометрических размерах ограждающих конструкций холодного чердака (A_i^+ , A_k^- , V_g) и постоянной длине трубопроводов систем отопления и горячего водоснабжения (l_{pj}) снижение температуры воздуха в помещениях холодного чердака обеспечивается уменьшением теплопоступлений. Добиться уменьшения теплопоступлений в помещения холодного чердака можно путем проведения следующих инженерных мероприятий:

- утепления чердачного перекрытия (увеличением величины R_i^+);
- теплоизоляции трубопроводов систем отопления и горячего водоснабжения (уменьшением величины q_{pj});
- увеличения воздухообмена в чердачных помещениях (увеличением численного значения n_α).

Перечисленные выше мероприятия по предотвращению образования ледяных дамб и наледей (сосулек) на свесах кровли достаточно хорошо известны. Преимущество предложенного расчетного метода заключается, в частности, в точном определении требуемых толщин утеплителя для изоляции трубопроводов и утепления чердачных перекрытий.

Утепление чердачного перекрытия уменьшает приток тепла из помещений верхнего эксплуатируемого этажа здания, изоляция трубопроводов снижает их теплоотдачу. Тем самым уменьшается количество поступающего на чердак тепла. Соответственно, на чердаке снижается температура воздуха. При определенной толщине слоя утеплителя, которую можно рассчитать по уравнению теплового баланса, достигается такое снижение температуры воздуха в чердачном пространстве (t_{int}^g), при котором энергии теплового потока становится недостаточно для разогрева покрова снега, лежащего на кровельном покрытии здания. Если снег на кровле не будет таять над помещениями чердака, значит, не будут образовываться наледы на свесах кровельного покрытия.

Следует отметить, что только при совокупном и одновременном выполнении перечисленных выше мероприятий можно достигнуть положительного результата. Утепление только чердачного перекрытия без соответствующей изоляции трубопроводов может привести к размораживанию системы отопления, проложенной на чердаке.

Помимо решения проблемы образования наледей на крышах зданий с холодным чердаком, перечисленный выше комплекс мероприятий приводит к уменьшению потерь тепловой энергии на отопление, к улучшению параметров микроклимата в эксплуатируемых помещениях верхних этажей.

Для реализации перечисленных мероприятий могут быть использованы любые материалы и технологии, обеспечивающие необходимый уровень теплоизоляции для конкретного здания и удовлетворяющие действующим на территории Российской Федерации противопожарным и санитарно-гигиеническим требованиям.

Анализ формулы (3) приводит также к другому немаловажному выводу. При увеличении сопротивления теплопередаче наружных ограждающих конструкций холодного чердака (R_k^-), например, кровельного покрытия, температура воздуха в чердачных помещениях (t_{int}^g) возрастает. Это автоматически приводит к нарушению условия (2). Тем самым создаются условия для образования наледей на кровельном покрытии. Слой снега определенной толщины на кровельном покрытии увеличивает его сопротивление теплопередаче R_k^- , т.е. является противовесом для описанных ранее мероприятий по предотвращению образования наледей на крышах зданий. Это, в частности, означает, что одним из условий предотвращения образования наледей на крышах является периодическая уборка снега с кровельных покрытий зданий с холодным чердаком. Т.е. убирать снег с кровельных покрытий зданий в любом случае необходимо, даже при совокупной реализации предлагаемых выше мероприятий.

Наличие наледей на крышах зданий после их механического удаления в процессе уборки и сброса снега с крыш часто приводит к протечкам кровельного покрытия, которое повреждается в результате ударных воздействий острых металлических предметов. Таким образом, отсутствие наледей на крышах обеспечивает, в том числе, лучшую сохранность кровельного покрытия после уборки и сброса снега, увеличивает эксплуатационный срок службы покрытия, уменьшает вероятность образования протечек.

Литература

1. Гусев Н. И., Кубасов Е. А. Конструктивные решения по предотвращению образования наледей на крышах // Региональная архитектура и строительство. 2011. №1. С. 100-107.
2. Гусев Н. И., Кубасов Е. А., Кочеткова М. В. Средства для удаления наледей с крыш // Региональная архитектура и строительство. 2011. №2. С. 104-108.
3. Петров К. В., Золотарева Е. А., Володин В. В., Ватин Н. И., Жмарин Е. Н. Реконструкция крыш Санкт-Петербурга на основе легких стальных тонкостенных конструкций и антиобледенительной системы // Инженерно-строительный журнал. 2010. №2. С. 59-64.
4. Дружинин П. В., Бараш А. Л., Савчук А. Д., Юрчик Е. Ю. Способы недопущения льдообразования на крышах зданий // Техничко-технологические проблемы сервиса. 2007. Т.4. №14. С. 6-13.

Горшков А.С., Ватин Н.И., Урустимов А.И., Рымкевич П.П. Расчетный метод обоснования технологических мероприятий по предотвращению образования ледяных дамб на крышах зданий со скатной кровлей

5. Гурьянова О. Н. Энергосберегающая технология борьбы с сосульками // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал) Mining information and analytical bulletin (scientific and technical journal). 2007. №12. С. 213-215.
6. Бугаев А. С., Лапшин В. Б., Палей А. А. Почему возникла проблема сосулек? // Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. 2010. № 3. С. 14-25.
7. Васин А. П. Тепловизионное обследование зданий и анализ причин образования наледей // Вестник гражданских инженеров. 2011. № 2. С. 92-98.
8. Лукинский О. А. Проблемы скатных кровель // Жилищное строительство. 2008. № 2. С. 46-47.
9. Москвитин В. А. Устройство теплоизоляции чердачных перекрытий монолитной укладки из композиционного материала «ПОРОПЛАСТ CF 02» // Промышленное и гражданское строительство. 2006. № 6. С. 53-54.
10. Порывай Г. А. Техническая эксплуатация зданий. М.: Стройиздат, 1974. 254 с.
11. Сокова С. Д. Основы создания методики оценки состояния и прогнозирования долговечности кровель в условиях эксплуатации // Academia. Архитектура и строительство. 2009. № 5. С. 542-544.
12. Tobiasson W., Buska J., Greatorex A. Вентиляция чердаков для ликвидации сосулек на карнизах кровли // АВОК: Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика. 2011. № 3. С. 20-25.
13. Antonio Colantonio. Thermal Performance Patterns on Solid Masonry Exterior Walls of Historic Buildings // Journal of Building Physics. 1997. Vol. 21, 2. Pp. 185-201.
14. Jokisalo Juha, Kurnitski Jarek, Korpi Minna, Kalamees Targo, Vinha Juha. Building leakage, infiltration and energy performance analyses for Finnish detached houses // Building and Environment. 2009. Vol. 44, Iss. 2. Pp. 377-387.
15. Dyrbol S., Svendsen S., Elmroth A. Experimental Investigation of the Effect of Natural Convection on Heat Transfer in Mineral Wool // Journal of Thermal Envelope and Building Science. 2002. Vol. 26(2). Pp. 153-164.
16. Haese P. M., Teubner M. D. Heat exchange in an attic space // International Journal of Heat and Mass Transfer. 2002. Vol. 45, Iss. 25. Pp. 4925-4936.
17. Paula Wahlgren. Overview and Literature Survey of Natural and Forced Convection in Attic Insulation // Journal of Building Physics. 2007. Vol. 30, 4. Pp. 351-370.
18. Paula Wahlgren. Measurements and Simulations of Natural and Forced Convection in Loose-Fill Attic Insulation // Journal of Building Physics. 2002. Vol. 26. Pp. 93-109.
19. Peter Blom. Venting of Attics and Pitched, Insulated Roofs // Journal of Building Physics. 2001. Vol. 25, 1. Pp. 32-50.
20. Shimin Wang, Zhigang Shen, Linxia Gu. Numerical simulation of buoyancy-driven turbulent ventilation in attic space under winter conditions // Energy and Buildings. 2012. Vol. 47. Pp. 360-368.
21. ГОСТ 30494–96. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях.
22. ГОСТ 12.1.005–88*. ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.
23. СП 23–101–2004. Проектирование тепловой защиты зданий.
24. СНиП 23–01–99*. Строительная климатология.
25. Правила и нормы технической эксплуатации жилищного фонда / Минюст РФ. 2003. Регистрационный №5176).

**Александр Сергеевич Горшков, Санкт-Петербург, Россия*

Тел. моб.: +7(921) 388-43-15; эл. почта: alsgor@yandex.ru

doi: 10.5862/MCE.29.9

Computational justification for engineering measures preventing the ice dams formation on the pitched roofs

A.S. Gorshkov,*Saint-Petersburg State Polytechnical University, Saint-Petersburg, Russia***N.I. Vatin,***Saint-Petersburg State Polytechnical University, Saint-Petersburg, Russia***A.I. Urustimov,***Saint-Petersburg State Polytechnical University, Saint-Petersburg, Russia***P.P. Rymkevich,***Military Space Academy named after AF Mozhaisky**+7(921) 388-43-15; e-mail: alsgor@yandex.ru*

Key words

energy efficiency; heat balance equation; cold attic; roof covering; icicle

Abstract

The following article deals with the problem of icicles formation on the roofs and the elimination methods. The attic roofs with pitched roofing are highly susceptible to this negative phenomenon.

This research regards the generation of heat balance equation for cold attics. Using this equation, the engineering and technical substantiation for the list of measures preventing ice mounds formation in the roofs during the period with lowest outside temperature is made.

With no ice mound the roofing remains perfectly safe after snow removal, its working lifespan extends and the leakages probability decreases.

References

1. Gusev N. I., Kubasov Ye. A. *Regionalnaya arkhitektura i stroitelstvo* [Regional architecture and engineering]. 2011. No. 1. Pp. 100-107. (rus)
2. Gusev N. I., Kubasov Ye. A., Kochetkova M. V. *Regionalnaya arkhitektura i stroitelstvo* [Regional architecture and engineering]. 2011. No. 2. Pp. 104-108. (rus)
3. Petrov K. V., Zolotareva Ye. A., Volodin V. V., Vatin N. I., Zhmarin Ye. N. *Magazine of civil engineering*. 2010. No. 2. Pp. 59-64. (rus)
4. Druzhinin P. V., Barash A. L., Savchuk A. D. Yurchik Ye. Yu. *Tekhniko-tekhnologicheskiye problemy servisa* [Technical and technological service problems]. 2007. Vol. 4. No. 14. Pp. 6-13. (rus)
5. Guryanova O. N. *Mining information and analytical bulletin (scientific and technical journal)*. 2007. No. 12. Pp. 213-215. (rus)
6. Bugayev A. S., Lapshin V. B., Paley A. A. *Vodoochistka. Vodopodgotovka. Vodosnabzheniye* [Water purification. Water treatment. Water supply]. 2010. No. 3. Pp. 14-25. (rus)
7. Vasin A. P. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov* [Bulletin of civil engineers]. 2011. No. 2. Pp. 92-98. (rus)
8. Lukinskiy O. A. *Zhilishchnoye stroitelstvo* [House building]. 2008. No. 2. Pp. 46-47. (rus)
9. Moskvitin V. A. *Promyshlennoye i grazhdanskoye stroitelstvo* [Industrial and civil building]. 2006. No. 6. Pp. 53-54. (rus)
10. Poryvay G. A. *Tekhnicheskaya ekspluatatsiya zdaniy* [Technical operation of buildings]. Moscow: Stroyizdat, 1974. 254 p. (rus)
11. Sokova S. D. *Academia. Arkhitektura i stroitelstvo* [Academy. Architecture and building]. 2009. No. 5. Pp. 542-544. (rus)
12. Tobiasson W., Buska J., Greatorax A. *Ventilyatsiya cherdakov dlya likvidatsii sosulek na karnizakh krovli. AVOK: Ventilyatsiya, otopleniye, konditsionirovaniye vozdukh, teplosnabzheniye i stroitel'naya teplofizika*. 2011. No. 3. Pp. 20-25.

Gorshkov A.S., Vatin N.I., Urustimov A.I., Rymkevich P.P. Computational justification for engineering measures preventing the ice dams formation on the pitched roofs

13. Antonio Colantonio. Thermal Performance Patterns on Solid Masonry Exterior Walls of Historic Buildings. *Journal of Building Physics*. 1997. Vol. 21, 2. Pp. 185-201.
14. Jokisalo Juha, Kurnitski Jarek, Korpi Minna, Kalamees Targo, Vinha Juha. Building leakage, infiltration and energy performance analyses for Finnish detached houses. *Building and Environment*. 2009. Vol. 44, Iss. 2. Pp. 377-387.
15. Dyrbol S., Svendsen S., Elmroth A. Experimental Investigation of the Effect of Natural Convection on Heat Transfer in Mineral Wool. *Journal of Thermal Envelope and Building Science*. 2002. Vol. 26(2). Pp. 153-164.
16. Haese P. M., Teubner M. D. Heat exchange in an attic space. *International Journal of Heat and Mass Transfer*. 2002. Vol. 45, Iss. 25. Pp. 4925-4936.
17. Paula Wahlgren. Overview and Literature Survey of Natural and Forced Convection in Attic Insulation. *Journal of Building Physics*. 2007. Vol. 30, 4. Pp. 351-370.
18. Paula Wahlgren. Measurements and Simulations of Natural and Forced Convection in Loose-Fill Attic Insulation. *Journal of Building Physics*. 2002. Vol. 26. Pp. 93-109.
19. Peter Blom. Venting of Attics and Pitched, Insulated Roofs. *Journal of Building Physics*. 2001. Vol. 25, 1. Pp. 32-50.
20. Shimin Wang, Zhigang Shen, Linxia Gu. Numerical simulation of buoyancy-driven turbulent ventilation in attic space under winter conditions. *Energy and Buildings*. 2012. Vol. 47. Pp. 360-368.
21. GOST 30494–96. *Zdaniya zhilye i obshchestvennyye. Parametry mikroklimata v pomeshcheniyakh* [Residential and public buildings. The parameters of the indoor climate]. (rus)
22. GOST 12.1.005–88*. *SSBT. Obshchiye sanitarno-gigiyenicheskiye trebovaniya k vozdukhу rabochey zony* [General hygiene requirements for working zone air]. (rus)
23. SP 23–101–2004. *Proyektirovaniye teplovoy zashchity zdaniy* [Design of thermal protection of buildings]. (rus)
24. SNiP 23–01–99*. *Stroitel'naya klimatologiya* [Building Climatology]. (rus)
25. *Pravila i normy tekhnicheskoy ekspluatatsii zhilishchnogo fonda* [Rules and regulations of the technical operation of the housing stock]. Minyust RF. 2003. Registratsionnyy N 5176). (rus)

Full text of this article in Russian: pp. 69-73.