

УДК 699.8:621.18

**З. Г. Марьяна, А. Ю. Верещагин, А. В. Новожилова, Н. В. Латышова, К. О. Исаева**  
Северный Арктический федеральный университет  
имени М. В. Ломоносова (Российская Федерация)

### **ПОВЫШЕНИЕ ТЕПЛОЗАЩИТНЫХ СВОЙСТВ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ КИРПИЧНОГО ЗДАНИЯ САФУ**

Микроклимат помещений формируется под воздействием процессов теплообмена с внешней средой через наружные ограждения, режимом отопления, внутренними теплопоступлениями и другими факторами. При эксплуатации зданий со временем строительные материалы могут разрушаться, изменяя свои теплотехнические свойства. Основным направлением сокращения расходов на отопление является увеличение теплового сопротивления ограждающих конструкций путем их утепления. Исследование теплозащитных свойств, сопоставление фактических и расчетных значений термических сопротивлений наружных ограждающих конструкций кирпичного здания САФУ до и после утепления является актуальной задачей с точки зрения энергосбережения.

Оценка тепловой защиты и энергетической эффективности кирпичного здания САФУ была выполнена расчетным путем и инструментальным измерением в натуральных условиях. В работе представлены результаты пятилетнего исследования ограждающих конструкций кирпичного здания САФУ постройки первой половины прошлого века, которые подверглись реконструкции. Приведены расчетные и фактические термические сопротивления ограждающих конструкций до и после утепления, выполнено их сравнение с нормативными значениями по санитарно-гигиеническим требованиям и исходя из условий энергосбережения. Эксперименты подтвердили сходимость расчетных и фактических значений термического сопротивления наружной стены во всех случаях инструментальных замеров. В результате проведенной реконструкции был достигнут класс энергоэффективности здания *B*.

**Ключевые слова:** тепловой поток, термическое сопротивление, ограждающие конструкции, инструментальное измерение плотности теплового потока, коэффициент теплоотдачи, рентабельность, класс энергоэффективности.

**Z. G. Mar'ina, A. Yu. Vereshchagin, A. V. Novozhilova, N. V. Latyshova, K. O. Isaeva**  
Northern Arctic Federal University named after M. V. Lomonosov (Russian Federation)

### **INCREASE OF ENCLOSING STRUCTURES THERMAL PROPERTIES OF NARFU BRICK BUILDING**

Microclimate of premises is formed under the influence of heat exchange processes with the external environment through enclosing parts, heating mode, internal heat input and other factors. Building materials can collapse over time, changing their thermal properties, during the buildings operation. The main direction in decreasing the heating costs is increasing the thermal resistance of enclosing structures by their insulation. Research of thermal properties, comparison of actual and calculated values of enclosing parts thermal resistance of NARFU brick building before and after insulation is an actual task in terms of energy saving.

The estimation of thermal protection and energy efficiency of the NARFU brick building was made by calculation and by instrumental measurement in full-scale conditions. The paper presents the results of a five-year study of the enclosing structures of the NARFU built in the first half of the last century, which were reconstructed. Calculated and actual thermal resistances of enclosing structures before and after insulation, their comparison with the normative values for sanitary and hygienic requirements and energy saving conditions are given. The experiments confirmed the convergence of the calculated and actual values of the thermal resistance of the outer wall in all cases of instrumental measurements. As a result of the reconstruction, the energy efficiency class of building *B* was achieved.

**Key words:** heat flow, thermal resistance, enclosing structures, instrumental measurement of heat flux density, heat transfer coefficient, profitability, energy efficiency class.

**Введение.** В современных условиях энергосбережение служит одним из эффективных инструментов решения глобальных экологических проблем. Повышение энергоэффективности потребления тепловой энергии является

ключевым звеном, связывающим проблемы экологии и энергетики [1].

Россия – самая холодная страна в мире, что требует колоссальных затрат на отопление. В советский период из-за дешевизны топливно-

энергетических ресурсов стены домов проектировались и строились в 3 раза тоньше, чем этого требуют климатические условия России. Поэтому основным направлением сокращения расходов на отопление является увеличение теплового сопротивления ограждающих конструкций путем их утепления.

Оценка тепловой защиты [2] и энергоэффективности зданий может выполняться различными способами: расчетным путем [3] и инструментальными измерениями в натуральных условиях [4]. Комплексное применение этих методов позволяет оценить теплотехническое состояние здания, выявить скрытые дефекты его теплозащитной оболочки.

Архангельск относится к приарктической зоне с большой продолжительностью отопительного периода. Расчетная температура наружного воздуха для систем отопления составляет  $-33^{\circ}\text{C}$  [5]. Климат Архангельска характеризуется неустойчивостью погодных условий. Например, температура наружного воздуха может изменяться от суток к суткам до  $\pm 20^{\circ}\text{C}$ .

Исследование теплозащитных свойств, сопоставление фактических и расчетных значений термических сопротивлений наружных ограждающих конструкций кирпичного здания САФУ до и после утепления является актуальной задачей с точки зрения энергосбережения, что обусловило цель настоящей работы.

**Основная часть.** Экспериментальные исследования проводились в здании лаборатории кафедры теплоэнергетики и теплотехники, которое условно разделено на 3 части: лаборатория, помещения бывшей котельной, используемые под склад, и машинный зал с экспериментальными установками. Здание лаборатории было построено в первой половине XX в. Наружные стены выполнены из красного кирпича толщиной 525 мм. Общий износ здания на момент энергоаудита составил более 60% согласно техническому паспорту БТИ.

Анализ затрат на энергоресурсы показал, что наибольшая часть приходится на тепловую энергию (рис. 1), поэтому самым перспективным с точки зрения повышения энергоэффективности здания является сокращение затрат на отопление.

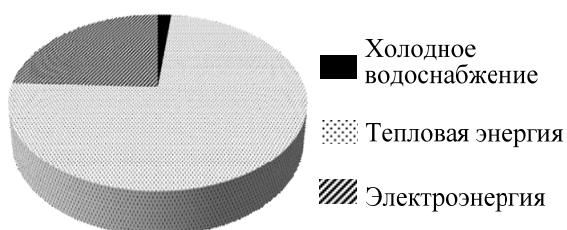


Рис. 1. Соотношение затрат на ТЭР

Проведенное в 2012 г. энергетическое обследование здания показало [6] сильный износ основных конструктивных элементов и инженерных систем:

- 1) кирпичная кладка наружных стен имеет дефекты и частичное разрушение;
- 2) двойное остекление в деревянных переплетах не удовлетворяет современным требованиям по тепловой защите зданий;
- 3) входные двери не обеспечивают плотного притвора;
- 4) тепловизионное обследование выявило значительное количество мест повышенных тепловых потерь и наличие нарушения циркуляции в нагревательных приборах.

Отмеченные замечания приводят к повышенным потерям тепловой энергии через наружные ограждающие конструкции. Таким образом, обследование подтвердило необходимость проведения ремонта здания и утепления ограждающих конструкций.

Ремонт и реконструкция кирпичного здания САФУ проводились в несколько этапов.

На первом этапе в рамках «Программы развития ФГАОУ ВПО САФУ имени М. В. Ломоносова» был предусмотрен ремонт здания, в ходе которого увеличена полезно используемая площадь здания за счет вовлечения в эксплуатацию и учебный процесс неотапливаемой части здания склада с увеличением доли остекления, реконструирована система отопления, заменены двери, проведен косметический ремонт помещений.

На втором этапе окна заменены на двухкамерные стеклопакеты в одинарном переплете с термическим сопротивлением  $R = 0,51 \text{ (м}^2\cdot\text{К)/Вт}$ . Проведено утепление пола во вновь вводимых помещениях и чердачных перекрытий легкими теплоизоляционными плитами, изготовленными из каменной ваты базальтовых пород ROCKWOOL, а также заменена кровля.

На третьем этапе проводилось утепление наружных стен здания с установкой вентилируемого фасада. В качестве утеплителя использовались теплоизоляционные плиты ROCKWOOL толщиной 0,1 м.

Расчетом определены тепловые потери через окна, пол, чердак и стены до и после утепления.

Экономия тепловой энергии при внедрении мероприятий по утеплению ограждающих конструкций на втором и третьем этапах представлена на рис. 2.

Если принять тепловые потери без утепления за 100%, то полное утепление позволяет снизить тепловой поток на 74%. Очевидно, комплексное решение проблем дает наибольший эффект.

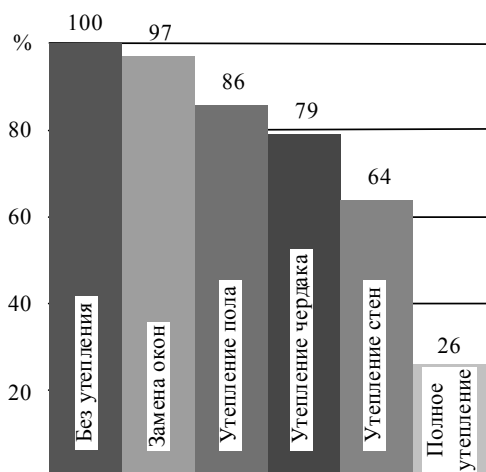


Рис. 2. Изменение тепловых потерь при внедрении мероприятий

Первый этап реконструкции многозатратный и нерентабельный, так как увеличивается площадь отапливаемых помещений с увеличением доли остекления.

Для второго этапа реконструкции рентабельность составила  $IP = 2,45$ , т. е. каждый рубль инвестиций даст 2,45 руб. прибыли. Срок окупаемости составит 4 года 5 мес., и группа мероприятий, проводимых на втором этапе реконструкции, относится к среднесрочным.

Для третьего этапа рентабельность составит  $IP = 0,13$ , т. е. каждый рубль инвестиций даст 0,13 руб. прибыли. Срок окупаемости составит 21 год 6 мес., следовательно, утепление фасадов здания относится к долгосрочным мероприятиям.

Утепление здания обычно приводит к нормализации параметров микроклимата в учебных, производственных и служебных помещениях в соответствии с санитарно-гигиеническими нормами.

Определение фактического значения термического сопротивления и оценка состояния ограждающих конструкций были выполнены при помощи измерителя плотности теплового потока ИТП-МГ4.03/Х(У) «ПОТОК» [7], который состоит из электронного блока и модуля с семью датчиками теплового потока и тремя датчиками температуры (рис. 3) и позволяет проводить замеры этих параметров с определенным временным интервалом. Погрешность измерения теплового потока  $\pm 6\%$ , температуры  $\pm 0,2^\circ\text{C}$ .

В качестве датчиков температуры применяются платиновые термодатчики сопротивления в металлическом корпусе, обеспечивающие измерение поверхностных температур твердых тел путем их крепления (наклеивания) на исследуемые поверхности, а также температур воздуха.



Рис. 3. Общий вид прибора

Электронный блок включает устройства программирования модулей, сбора и хранения информации, накопленной модулями, передачи данных на ПК и индикации результатов измерения.

Участки поверхности ограждающих конструкций, на которые устанавливались датчики теплового потока, зачищались до устранения видимых и осязаемых на ощупь шероховатостей.

Датчики плотно прижимались по всей его поверхности к ограждающей конструкции и закреплялись, обеспечивая постоянный контакт датчика теплового потока с поверхностью исследуемых участков в течение всех измерений. Для исключения воздушных зазоров на участке поверхности в местах измерений наносится тонкий слой теплопроводной пасты, перекрывающий неровности поверхности. Датчики теплового потока не должны смещаться по поверхности, чтобы исключить искажение величины теплового потока в зоне измерения. Способ крепления и размещение датчиков приведены на рис. 4.

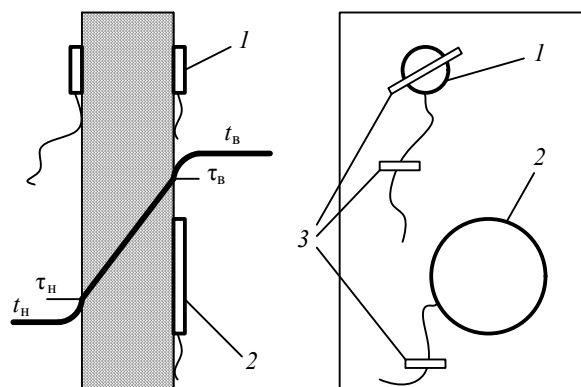


Рис. 4. Изменение температуры по толщине стены и крепление датчиков при проведении замеров:

1 – датчик температуры;

2 – датчик теплового потока; 3 – клейкая лента

Инструментальные замеры проводили до и после утепления наружных стен в одном из учебных помещений лаборатории.

До утепления выполнялись две серии опытов (март 2014 г.). Задачей первой серии было определение фактического коэффициента теплоотдачи с внутренней стороны  $\alpha_{в}$  [8]. При этом измерялись плотность теплового потока  $q$ , температура внутренней поверхности стены  $t_{ст}$  и температура воздуха в аудитории  $t_{в}$ . Результаты замеров представлены на рис. 5.



Рис. 5. Результаты замеров в первой серии опытов:  
1 – плотность теплового потока;  
2 – среднее значение плотности теплового потока;  
3 – температура воздуха в помещении;  
4 – температура внутренней поверхности стены

Среднее значение плотности теплового потока через стенку составило  $q = 24 \text{ Вт/м}^2$ . При этом изменение температур внутренней поверхности стены воздуха в аудитории незначительно и можно принять  $t_{ст.в} = 17,8^\circ\text{C}$  и  $t_{в} = 20,3^\circ\text{C}$  соответственно. Это отвечает коэффициенту теплоотдачи от воздуха к внутренней стенке  $\alpha_{в} = 9,6 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{K)}$  и превышает нормативное значение  $\alpha_{в} = 8,7 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{K)}$  на 10%.

Во второй серии опытов определяли полное термическое сопротивление стены. Замеряли плотность теплового потока  $q$ , температуры на внутренней  $t_{ст.в}$  и внешней  $t_{ст.н}$  поверхностях стены и температуру наружного воздуха  $t_{н}$ . Результаты приведены на рис. 6.

За период измерений с 17 ч до 5 ч температура наружного воздуха понижалась с  $-3,3^\circ\text{C}$  до  $-9^\circ\text{C}$ , а с 5 до 8 ч утра стала повышаться до  $-4^\circ\text{C}$ . Минимальное значение теплового потока приходится на 00 ч, в то время как наиболее низкая температура наружного воздуха наблюдалась около 5 ч. Средний тепловой поток через стену за период измерений составил  $28 \text{ Вт/м}^2$ . При понижении температуры наружного воздуха соответственно снижалась температура наружной поверхности стены, их разность составляла около  $2^\circ\text{C}$ . В период с 21 до 00 ч тем-

пература наружного воздуха и наружной поверхности стенки остается примерно постоянной, соответственно  $t_{н} = -5,9^\circ\text{C}$  и  $t_{ст.н} = -4,7^\circ\text{C}$ . В этот период времени плотность теплового потока  $q = 30 \text{ Вт/м}^2$ , а средняя температура внутренней поверхности стены  $t_{ст} = 20,2^\circ\text{C}$ .

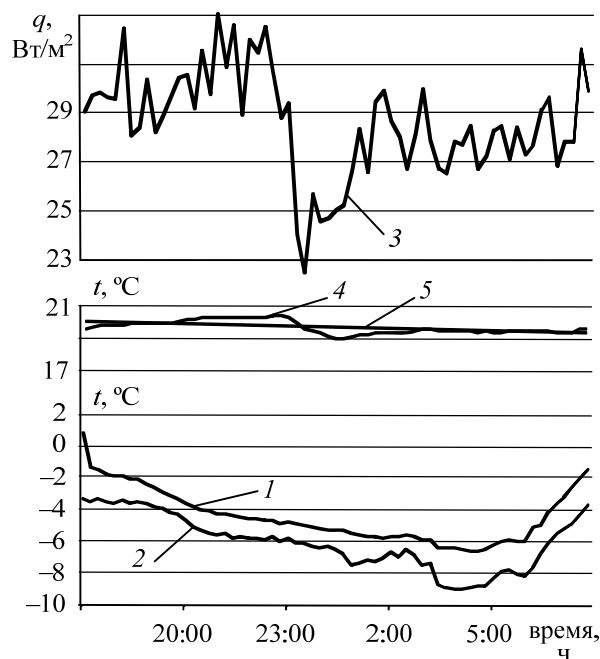


Рис. 6. Результаты замеров во второй серии опытов:  
1 – температура наружной поверхности стены;  
2 – температура наружного воздуха;  
3 – плотность теплового потока;  
4 – температура внутренней поверхности стены;  
5 – средняя температура внутренней поверхности стены

На термическое сопротивление внутренней  $R_{в}$  и наружной  $R_{н}$  поверхностей ограждения влияют соответствующая разность температур между воздухом и поверхностью стены и величина плотности теплового потока. Изменение температуры внутреннего воздуха на  $1^\circ\text{C}$  оказывает значительно большее влияние на величину теплового потока, чем аналогичное изменение температуры наружного воздуха. Фактическое термическое сопротивление теплопередаче стены составило  $R = 0,99 \text{ (м}^2\cdot\text{K)/Вт}$ .

Одновременно с утеплением здания на третьем этапе была проведена модернизация теплового пункта с применением погодной компенсации, что позволило регулировать тепловой поток на отопление. В здании применялось снижение температуры внутреннего воздуха на  $2^\circ\text{C}$  в дневное время. Поэтому изменение плотности теплового потока и температуры внутренней поверхности стены носит циклический характер (рис. 7).

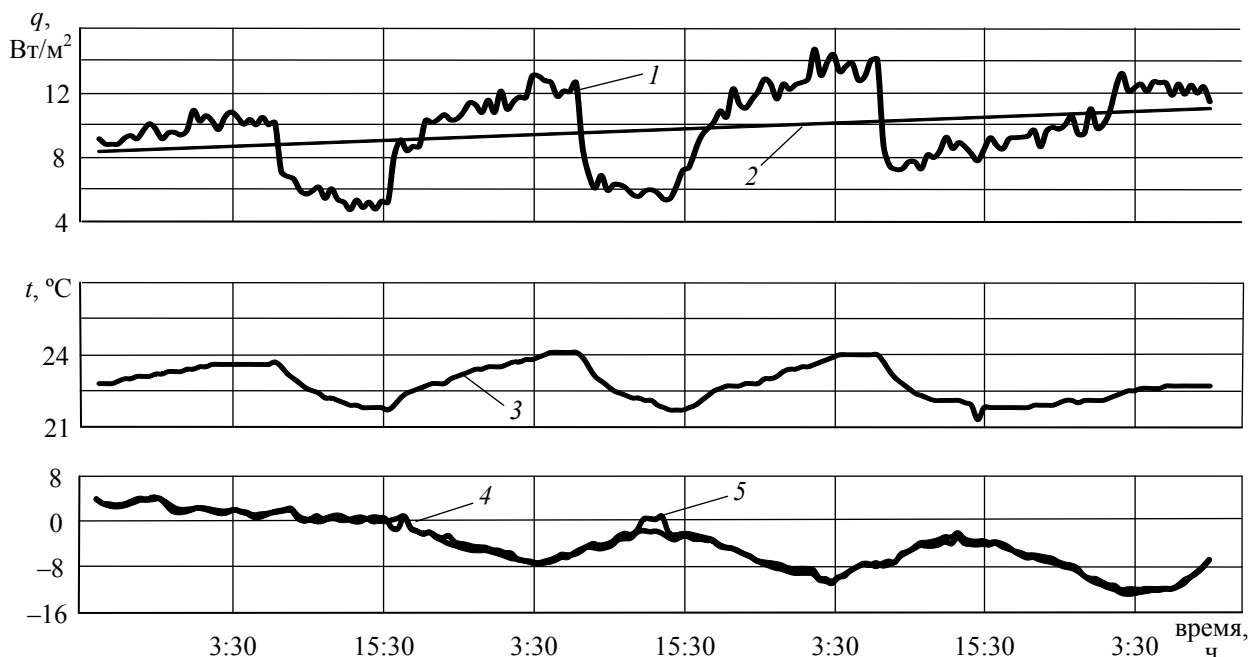


Рис. 7. Результаты замеров теплового потока после утепления стен:

- 1 – плотность теплового потока; 2 – среднее значение плотности теплового потока;  
 3 – температура внутренней поверхности стены; 4 – температура наружной поверхности стены;  
 5 – температура наружного воздуха

Замеры проводились в марте 2015 г. в течение трех суток. Отчетливо видно, что на топ в здании начинался в 16 ч и заканчивался в 7 ч утра. Средний тепловой поток в этот момент составлял 11–12 Вт/м<sup>2</sup>, при этом температура внутренней поверхности стены возрастала с 22 до 24°C. В дневное время в часы пониженного теплоснабжения средний тепловой поток уменьшался до 6 Вт/м<sup>2</sup>, при этом температура внутренней поверхности стены тоже снижалась. Среднее экспериментальное значение термического сопротивления 3,08 (м<sup>2</sup>·К)/Вт. Из рис. 7 видно, что запаздывание максимума температуры внутренней поверхности стены от максимума теплового потока составляет 1,2 ч. Следует отметить, что в случае утепления здания температура наружной поверхности стены практически совпадает с температурой наружного воздуха.

Как показывает практический опыт эксплуатации здания САФУ, более эффективно снижение температуры внутреннего воздуха  $t_{в}$  в утренние и дневные часы, а повышение температуры теплоносителя – в вечернее и ночное время. Это позволяет выровнять температуру воздуха в помещении в течение суток, когда при проведении занятий и работе оборудования появляются дополнительные тепловыделения, а температура наружного воздуха  $t_{н}$  днем повышается. Расчетное термическое сопротивление после утепления  $R = 3,26$  (м<sup>2</sup>·К)/Вт.

По результатам проведенных экспериментов было выполнено сопоставление опытных и

расчетных значений термических сопротивлений стены до и после утепления, которые представлены на рис. 8.

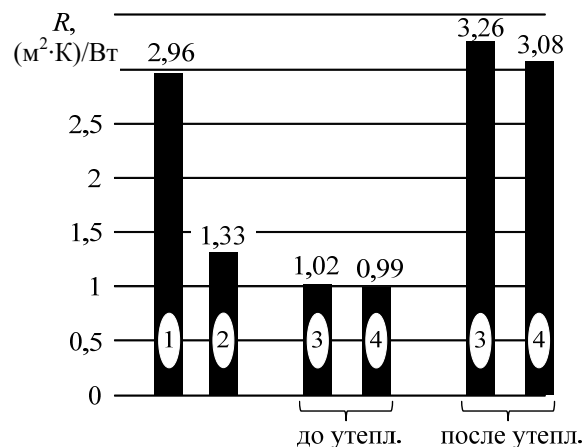


Рис. 8. Сравнение термических сопротивлений наружного ограждения:

- 1 – из условий энергосбережения;  
 2 – по санитарно-гигиеническим нормам;  
 3 – расчетное; 4 – фактическое

Были определены требуемые значения сопротивления стены по условиям энергосбережения  $R = 2,96$  (м<sup>2</sup>·К)/Вт, санитарно-гигиеническим нормам  $R = 1,33$  (м<sup>2</sup>·К)/Вт [9]. Расчетное и опытные значения термического сопротивления до утепления составили 1,02 и 0,99 (м<sup>2</sup>·К)/Вт соответственно. Они практически совпадают, но ниже требуемого из условий энергосбережения в 3 раза

и на 30% ниже определяемого санитарно-гигиеническими требованиями, что не соответствует современным условиям энергосбережения.

После утепления расчетное и опытное значения сопротивления стен лаборатории составляют 3,26 и 3,08 (м<sup>2</sup>·К)/Вт соответственно. Расхождение между ними не превышает 5,5%, что находится в пределах погрешности измерения теплового потока прибора ИТП-МГ4.03/Х(У) «ПОТОК».

**Заключение.** Эксперименты подтвердили сходимость расчетных и фактических значений термического сопротивления ограждающих конструкций во всех случаях инструментальных замеров. После утепления термическое сопротивление ограждения увеличилось в 3 раза. Сокращение общих тепловых потерь на 74% после полного утепления здания позволило повысить расчетный класс энергоэффективности до высокого *B*.

### Литература

1. Комков В. А., Тимахова Н. С. Энергосбережение в жилищно-коммунальном хозяйстве: учеб. пособие. М.: ИНФРА-М, 2010. 320 с.
2. Тепловая защита зданий: СП 50.13330.2012. М.: Минрегион России, 2012. 139 с.
3. Проектирование тепловой защиты зданий: СП 23-101-2004. М.: ГУП ЦПП, 2004. 141 с.
4. Здания и сооружения. Метод определения сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций с помощью тепломера: ГОСТ Р 54853-2011. М.: Стандартинформ, 2012.
5. Строительная климатология. СП 131.13330.2012. Актуализированная редакция СНиП 23-01-99\* с изменением 2. М.: Минрегион России, 2012. 113 с.
6. Львов Е. А., Шурундина А. А. Определение фактического значения термического сопротивления ограждающих конструкций здания лаборатории // Ломоносовские научные чтения студентов, аспирантов и молодых ученых – 2015: сб. материалов конференции [Электронный ресурс]. URL: <https://narfu.ru/upload/medialibrary>. Дата обращения: 05.08.2017.
7. Марьина З. Г., Верещагин А. Ю., Латышова Н. В. Экспериментальное определение термического сопротивления ограждающих конструкций // Актуальные проблемы метрологического обеспечения научно-практической деятельности: материалы Всероссийской научно-технической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов. Архангельск: ИД САФУ, 2016. С. 85–91.
8. Львов Е. А. Теплозащитные характеристики ограждающих конструкций для зданий различного назначения // Ломоносовские научные чтения студентов, аспирантов и молодых ученых – 2016: сб. материалов конференции [Электронный ресурс]. URL: <https://narfu.ru/upload/medialibrary>. Дата обращения: 05.08.2017.
9. Фокин К. Ф. Строительная теплотехника ограждающих конструкций зданий; под ред. Ю. А. Табунщикова, В. Г. Гагарина. М.: АВОК-ПРЕСС, 2006. 256 с.

### References

1. Komkov V. A., Timakhova N. S. *Energysberezheniye v zhilishchno-kommunal'nom khozyaystve* [Energysaving in housing and communal services]. Moscow, INFRA-M Publ., 2010. 320 p.
2. SP 50.13330.2012. Thermal protection of buildings. Moscow, Ministry of Regional Development of Russia Publ., 2012. 139 p. (In Russian).
3. SP 23-101-2004. Designing of thermal protection of buildings. Moscow, GUP CPP Publ., 2004. 141 p. (In Russian).
4. GOST 54853-201. Buildings and structures. Method for determining the resistance to heat transfer of enclosing structures using a heat meter. Moscow, Standartinform Publ., 2012 (In Russian).
5. SP 131.13330.2012. Construction climatology. Actualized edition of SNiP 23-01-99\* (with Change N 2). Moscow, Ministry of Regional Development of Russia Publ., 2012. 113 p. (In Russian).
6. L'vov E. A., Shurundina A. A. [Determination of the actual value of the thermal resistance of the enclosing structures of the laboratory building]. *Sbornik materialov konferentsii («Lomonosovskiyye nauchnyye chteniya studentov, aspirantov i molodykh uchenykh – 2015»)* [Collection of conference materials “Lomonosov scientific readings of students, graduate students and young scientists – 2015”]. Arkhangel'sk, 2015, pp. 589–592. Available at: <https://narfu.ru/upload/medialibrary> (accessed 05.08.2017).
7. Mar'ina Z. G., Vereshchagin A. Yu., Latyshova N. V. [Experimental determination of the thermal resistance of enclosing structures]. *Materialy Vserossiyskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii molodykh uchenykh, aspirantov i studentov («Aktual'nyye problemy metrologicheskogo obespecheniya nauchno-prakticheskoy deyatel'nosti»)* [Materials of the All-Russian scientific and technical conference of young scientists, graduate students and students (“Actual problems of metrological support of scientific and practical activity”)]. Arkhangel'sk, 2016, pp. 85–91 (In Russian).

8. L'vov E. A. [Thermal protection characteristics of enclosing structures for buildings of different purposes]. *Sbornik materialov konferentsii («Lomonosovskiyе nauchnyye chteniya studentov, aspirantov i molodykh uchenykh – 2016»)* [Collection of conference materials («Lomonosov scientific readings of students, graduate students and young scientists – 2016»)]. Arkhangel'sk, 2016, pp. 1760–1765 (In Russian). URL: <https://narfu.ru/upload/medialibrary> (accessed 05.08.2017).

9. Fokin K. F. *Stroitel'naya teplotekhnika ograzhdayushchikh konstruksiy zdaniy* [Building heat engineering of enclosing constructions of buildings]. Moscow, AVOK-PRESS Publ., 2006. 256 p.

### Информация об авторах

**Марьина Зоя Георгиевна** – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры теплоэнергетики и теплотехники. Северный Арктический федеральный университет имени М. В. Ломоносова (163001, г. Архангельск, наб. Северной Двины, 17, Российская Федерация). E-mail: [z.marina@narfu.ru](mailto:z.marina@narfu.ru)

**Верещагин Андрей Юрьевич** – магистрант. Северный Арктический федеральный университет имени М. В. Ломоносова (163001, г. Архангельск, наб. Северной Двины, 17, Российская Федерация). E-mail: [a.vereshchagin@narfu.ru](mailto:a.vereshchagin@narfu.ru)

**Новожилова Анна Владимировна** – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры теплоэнергетики и теплотехники. Северный Арктический федеральный университет имени М. В. Ломоносова (163001, г. Архангельск, наб. Северной Двины, 17, Российская Федерация). E-mail: [a.novozhilova@narfu.ru](mailto:a.novozhilova@narfu.ru)

**Латышова Наталья Владиславовна** – магистрант. Северный Арктический федеральный университет имени М. В. Ломоносова (163001, г. Архангельск, наб. Северной Двины, 17, Российская Федерация). E-mail: [n.latishova@narfu.ru](mailto:n.latishova@narfu.ru)

**Исаева Кристина Олеговна** – инженер. Северный Арктический федеральный университет имени М. В. Ломоносова (163001, г. Архангельск, наб. Северной Двины, 17, Российская Федерация). E-mail: [k.isaeva@narfu.ru](mailto:k.isaeva@narfu.ru)

### Information about the authors

**Mar'ina Zoya Georgievna** – PhD (Engineering), Associate Professor, Assistant Professor, the Department of Heat Power Engineering and Heat Engineering. Northern Arctic Federal University named after M. V. Lomonosov (17, Northern Dvina Emb., 163001, Arkhangel'sk, Russian Federation). E-mail: [z.marina@narfu.ru](mailto:z.marina@narfu.ru)

**Vereshchagin Andrey Ur'yevich** – Master's degree student, the Department of Heat Power Engineering and Heat Engineering. Northern Arctic Federal University named after M. V. Lomonosov (17, Northern Dvina Emb., 163001, Arkhangel'sk, Russian Federation). E-mail: [a.vereshchagin@narfu.ru](mailto:a.vereshchagin@narfu.ru)

**Novozhilova Anna Vladimirovna** – PhD (Engineering), Associate Professor, Assistant Professor, the Department of Heat Power Engineering and Heat Engineering. Northern Arctic Federal University named after M. V. Lomonosov (17, Northern Dvina Emb., 163001, Arkhangel'sk, Russian Federation). E-mail: [a.novozhilova@narfu.ru](mailto:a.novozhilova@narfu.ru)

**Latyshova Natal'ya Vladislavovna** – Master's degree student, the Department of Heat Power Engineering and Heat Engineering. Northern Arctic Federal University named after M. V. Lomonosov (17, Northern Dvina Emb., 163001, Arkhangel'sk, Russian Federation). E-mail: [n.latishova@narfu.ru](mailto:n.latishova@narfu.ru)

**Isaeva Kristina Olegovna** – engineer, the Department of Heat Power Engineering and Heat Engineering. Northern Arctic Federal University named after M. V. Lomonosov (17, Northern Dvina Emb., 163001, Arkhangel'sk, Russian Federation). E-mail: [k.isaeva@narfu.ru](mailto:k.isaeva@narfu.ru)

Поступила 06.09.2017