

УДК 692.2:697.1

*Н.Д. ДАНИЛОВ (rss_dan@mail.ru), А.А. СОБАКИН (skip_itf@rambler.ru),
Е.Г. СЛОБОДЧИКОВ (ooo.teplokomfort@inbox.ru),
П.А. ФЕДОТОВ (katui_8888@mail.ru), инженеры, В.В. ПРОКОПЬЕВ, студент,
Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова (Якутск, Республика Саха)*

Анализ формирования температурного поля наружной стены с фасадной железобетонной панелью

Проведен анализ формирования температурного поля в наружной стене здания с фасадной железобетонной панелью путем проведения расчетов с применением программы расчета пространственных температурных полей и обследования в климатической камере, в том числе телевизионных съемок. Показано, что теплопроводное включение в виде железобетонной шпонки со стальным крюком в торце приводит к существенному снижению температуры, но в пределах, требуемых нормами проектирования.

Ключевые слова: температурное поле, расчет, терпомары, тепловизор.

Наружные стены зданий, возводимых в Якутске, имеют определенные недостатки. Специалисты Инженерно-технического института СВФУ им. М.К. Аммосова разрабатывают новые конструктивные решения наружных стен зданий, предназначенных для эксплуатации в климатических условиях Севера. Технические решения наружных стен в основном связаны с применением железобетонных панелей как надежных и долговечных конструкций. Их разработка соответствует отмеченной в [1] и [2] идеологии крупнопанельного и панельно-каркасного домостроения. На конструкции фасадных панелей и стен с их применением, а также на способы их монтажа получено несколько патентов на изобретения и полезные модели. Описания некоторых из них приведены в [3, 4]. Предлагаемые решения позволяют исключить или снизить проблемы, связанные с применением трехслойных панелей. Например, в [5] отмечается наличие сквозных стыков, значительное влияние теплопроводных включений. Возможность возникновения разрушающих температурных напряжений в трехслойных панелях на дискретных связях изложена в [6].

Для возведения стен многоэтажных зданий предназначена и разработка, представленная на рис. 1 (получено решение Роспатента на выдачу патента на полезную модель № 2012156093/03(088760) «Фасадная навесная панель»). После навешивания панели на петли перекрытия, сварки трубчатых элементов с Г-образными стержнями к закладным деталям и заполнения стыков с внутренней стороны производится укладка утеплителя до проектного положения. Далее осуществляется кладка внутренней оболочки стены или с помощью коннекторов крепятся листовые материалы, например ГКЛО. При необходимости между теплоизоляцией и внутренней оболочкой стены укладывается пароизоляция. На способ монтажа наружной стены с применением фасадных панелей и листовых материалов получен патент РФ на изобретение [6].

В данной статье приводятся результаты анализа формирования температурного поля стен, возводимых с применением фасадных панелей с монтажными крюками. Анализ проведен с применением программы расчета трехмерных температур-

ных полей (информация о программе приведена в статье [7]) с последующим сравнением с экспериментальными данными. Исследования проведены для установления характера распределения температурного поля и температуры внутренней поверхности ограждения по теплопроводному включению $\tau'_{ст}$, которая должна быть выше, чем температура точки росы t_d .

Рассмотрен фрагмент стены с панелями размером 2,98×2,98 м, для которых сечение монтажного крюка (шпонки) составляет 0,2×0,08 м. В программу расчета трехмерных температурных полей введены параметры фрагмента

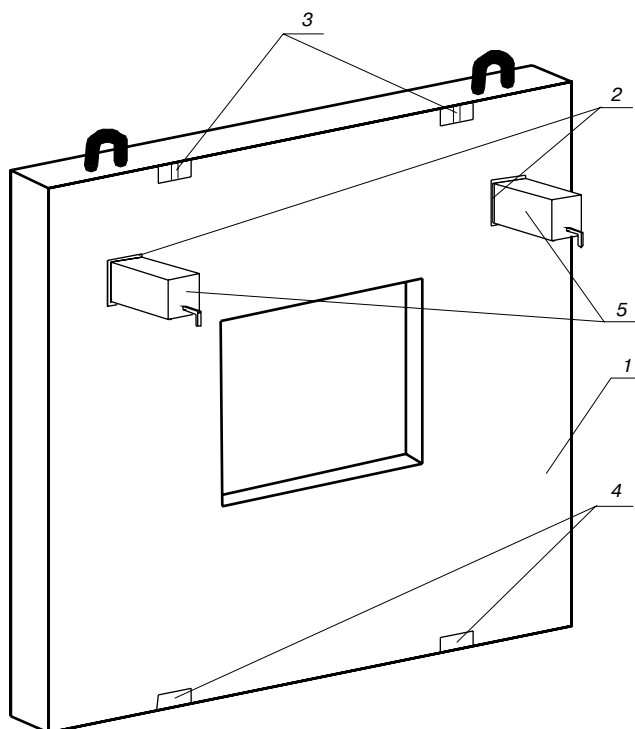


Рис. 1. Фасадная навесная панель: 1 – плита фасадной панели; 2 – закладные детали для крепления монтажного крюка; 3 – закладная деталь с трубчатый элементом; 4 – закладные детали; 5 – шпонка

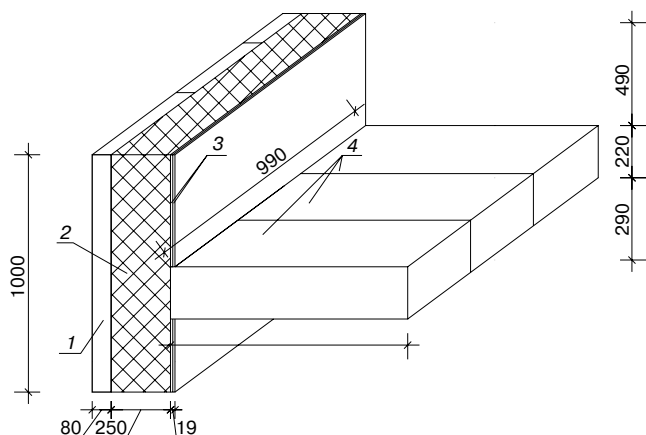


Рис. 2. Общий вид экспериментального фрагмента стены с перекрытием: 1 – фасадная панель; 2 – пенополистирол; 3 – два слоя ГКЛО; 4 – ж/б плита перекрытия. Условная вертикальная плоскость симметрии фрагмента проходит через середину монтажного крюка, а верх шпонки размещен от верха фрагмента панели на расстоянии 400 мм

стены размером 1,2×1 м, где 1,2 м – высота. Ввиду того что на температурный режим рассматриваемого фрагмента стены будет оказывать влияние и железобетонное перекрытие, в программу расчета введены и параметры его фрагмента. Приведенное сопротивление теплопередаче фрагмента стены получилось равным $R'_0 = 5,14 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$.

Нормируемое сопротивление теплопередаче стен жилых зданий для условий Якутска, определенное по указаниям норм проектирования, равно $5,13 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$. Результаты исследования по определению сопротивления теплопередаче приведены в [8]. Минимальная температура внутренней поверхности ограждения зафиксирована в точке пересечения верхнего стыка стены и плиты перекрытия с плоскостью, проходящей через середину крюка $t'_{si} = 18,82 \text{ °C}$, что значительно выше температуры точки росы $t_d = 11,62 \text{ °C}$ (при расчетных условиях для жилых зданий $t_{int} = 21 \text{ °C}$, $\phi_{int} = 55\%$). На основании проведенных расчетов установлены минимальные размеры фрагментов ограждений, начиная с которых наблюдается практически одномерное температурное поле [9]. По этим размерам в ОАО «ДСК» изготовлены фрагменты ограждающих конструкций (рис. 2). Следует отметить, что вертикальная плоскость симметрии проходит через середину шпонки.

Фрагменты ограждений установлены в климатическую камеру ЭКК-15 Испытательного центра «ЯКУТСК-ЭКСПЕРТ» СВФУ, предназначенную для испытаний оконных блоков и балконных дверей, также фрагментов стеновых ограждающих конструкций на сопротивление теплопередаче по ГОСТ 26602.1–99 «Блоки оконные и дверные. Методы определения сопротивления теплопередаче» и ГОСТ 26254–84 «Здания и сооружения. Методы определения сопротивления теплопередаче огражда-

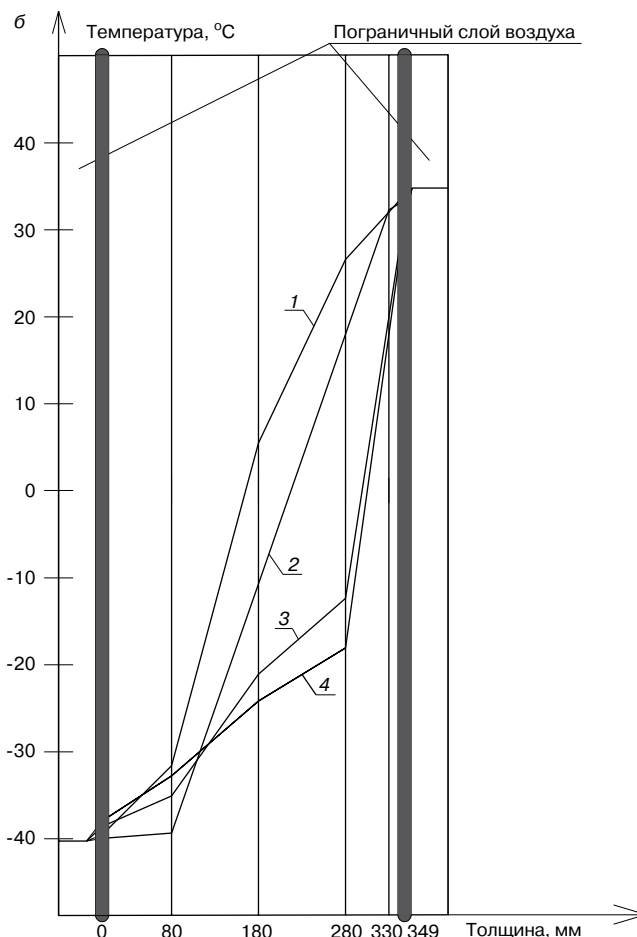
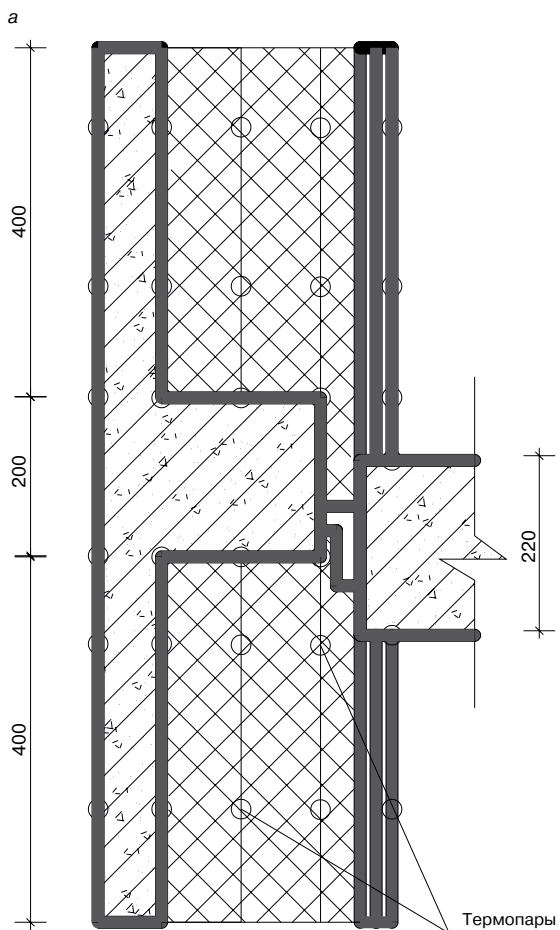


Рис. 3. Схема размещения термодатчиков по сечению фрагмента стены, совпадающему с вертикальной плоскостью симметрии (а), и распределение температуры по толщине фрагмента стены (б): 1, 3 – по результатам эксперимента; 2, 4 – по результатам расчетов; 1, 2 – графики, построенные по линии размещения верхних термодатчиков; 3, 4 – графики, построенные по линии, проходящей через середину верхней поверхности шпонки

ющих конструкций». Камера состоит из холодного, тепло-го отсеков и отсека для оператора.

При монтаже элементов фасадной панели и перекрытия их стыки заполнялись раствором цемента. Пенополистирол толщиной 0,25 м укладывался в три слоя. К фрагменту фасадной панели приклеивалась плита утеплителя толщиной 0,1 м, а к ней плита такой же толщины. После укладки оставшегося слоя пенополистирола и двух листов ГКЛО их прижимали к фасадной панели с помощью коннекторов. По периметру фасадной панели и утеплителя уложены полосы из пенополистирола. В стыки нагнеталась монтажная пена, а после этого на полосы пенополистирола с наружной стороны приклеивали полиэтиленовую пленку.

В холодный и теплый отсеки камеры, разделенные перегородкой, подведены хромель-копелевые термопары ТХК и термомеры ПТП. С их помощью осуществлялся контроль температуры в рабочих отсеках камеры, на поверхностях и в толще ограждения, а также измерялись плотности тепловых потоков, проходящих через ограждающие конструкции. Схема размещения термопар по толщине фрагмента стены показана на рис. 3, а. По показаниям термопар, размещенных на удалении от монтажного крюка, а также по линии, проходящей через середину верхней поверхности монтажного крюка, построен график распределения температур по толще фрагмента ограждения (рис. 3, б). Сходимость результатов расчета (по указаниям нормативных документов СНиП 23-03-2003 «Защита от шума» и СП 23-101-2004 «Проектирование тепловой защиты зданий») и экспериментальных значений достаточна. То что пенополистирол толщиной 0,1 м, размещенный с наружной стороны, дает большее снижение температуры, чем такой же толщины, но в зоне положительной температуры, объясняется изменением коэффициента теплопроводности воздуха, заключенного в порах теплоизоляции.

Параллельно с этими измерениями проводилась тепловизионная съемка внутренней поверхности фрагментов ограждения. Термографическое обследование позволяет дистанционно и наглядно с высокой точностью получить температурное поле поверхности ограждения. При проведении тепловизионных обследований учтены положения ГОСТ 26629-85 «Здания и сооружения. Метод тепловизионного контроля качества теплоизоляции ограждающих конструкций» и ВСН 43-96 «Ведомственные строительные нормы по теплотехническим обследованиям наружных ограждающих конструкций зданий с применением малогабаритных тепловизоров».

Для тепловизионного обследования ограждающих конструкций использовался тепловизор SAT-G90. Тепловизионной съемке подвергнуты внутренние поверхности ограждающей конструкции со стороны отсека камеры с положительной температурой, стык фрагментов стены и перекрытия. Обследование проводилось после установления стационарного режима теплопередачи. После проведения съемки отбирались кадры, по которым проводилась расшифровка и представление термограмм в виде совокупности изотерм. На термограмме выбирались точки и участки поверхности, по которым определялись значения температуры и вычислялись их средние значения. Пример выполнения термограммы и построения изотермы представлен на рис. 4-6.

Во время съемок температура воздуха в теплом отсеке камеры $t_{int} = 34,5^{\circ}\text{C}$, а температура воздуха в холодном отсеке камеры $t_{ext} = -40,5^{\circ}\text{C}$.

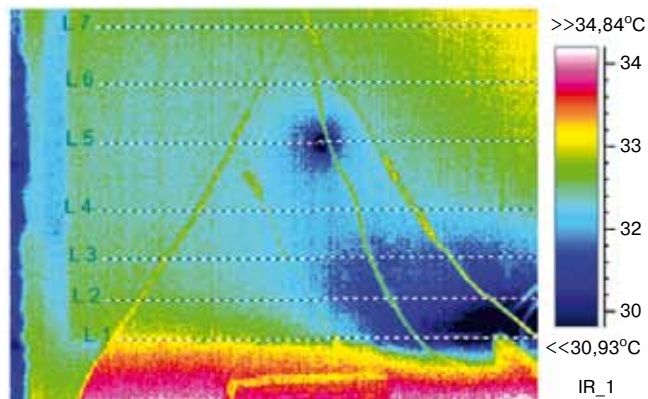


Рис. 4. Пример кадра тепловизионной съемки с горизонтальными (L1-L7) и вертикальными (L8, L9) линиями, по которым построены изотермы

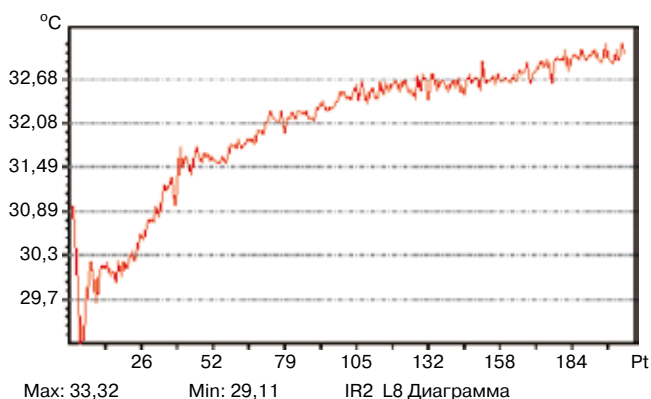


Рис. 5. Изотерма по линии IR2_L9

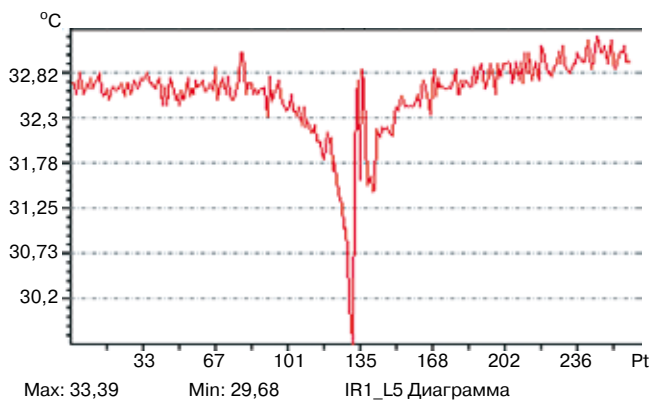


Рис. 6. Изотерма по линии IR1_L5

По термограммам, полученным в результате проведения тепловизионного контроля, можно сделать следующие выводы. Тепловизионная съемка внутренней поверхности испытуемого объекта зафиксировала снижение температуры в зоне стыка между стеновой панелью и плитой перекрытия. Температура верхнего стыка на $1,28^{\circ}\text{C}$ ниже, чем температура t_{si} вне влияния стыка (IR3_L9). Более значительное снижение температуры внутренней поверхности фрагмента ограждения наблюдается по месту размещения монтажного крюка и петли. Снижение температуры по линии стыка достигает $4,14^{\circ}\text{C}$ (IR1_L1); $4,93^{\circ}\text{C}$ (IR2_L1). По вертикальной линии разница температур достигает $4,21^{\circ}\text{C}$ (IR2_L9). Результаты вычислений с применением програм-

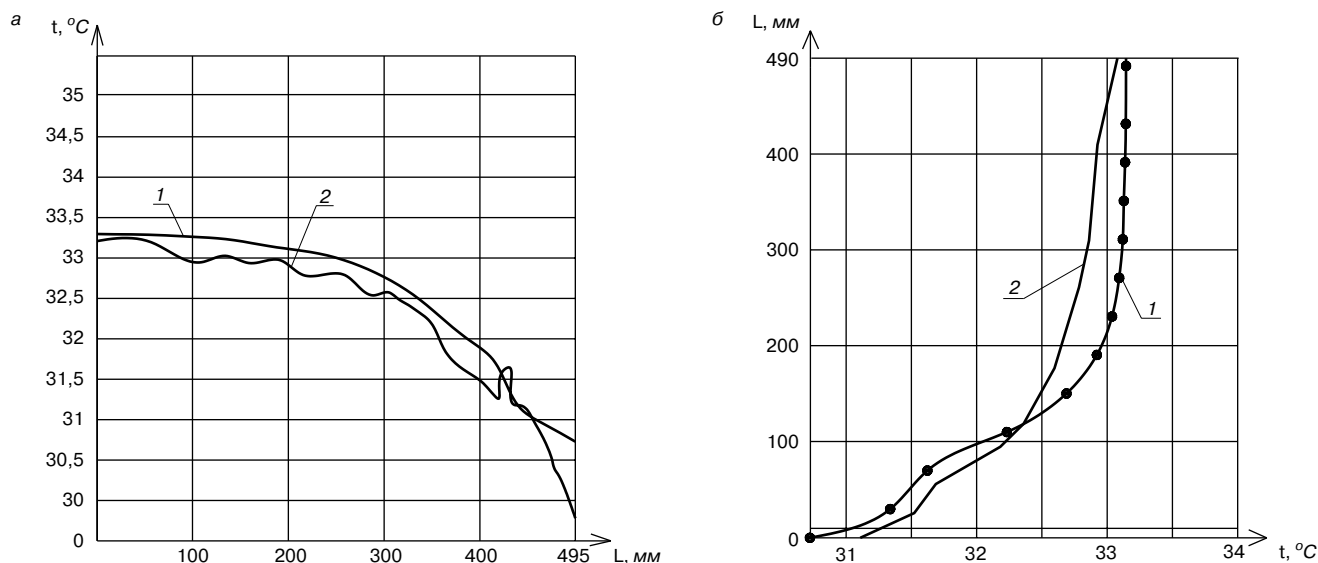


Рис. 7. Распределение температуры внутренней поверхности фрагмента стены: а – по верхнему стыку фрагмента стены и плиты перекрытия (от края фрагмента до оси симметрии): 1 – по результатам расчета с использованием программы расчета трехмерных температурных полей; 2 – по результатам тепловизионной съемки (IR1_L1); б – по вертикали (по оси симметрии от верхнего края плиты до верха фрагмента стены): 1 – по результатам расчета с использованием программы расчета трехмерных температурных полей; 2 – по результатам тепловизионной съемки (IR2_L9)

мы расчета трехмерных температурных полей показывают меньшую разницу: по горизонтали $2,41^\circ\text{C}$, по вертикали $2,28^\circ\text{C}$. Следует отметить, что относительно мощное теплопроводное включение в виде монтажного крюка (сечение железобетонной шпонки $0,2 \times 0,08$ м) не приводит к значительному снижению температуры внутренней поверхности фрагмента ограждения. Минимальная температура внутренней поверхности ограждения по верхнему стыку равна $29,04^\circ\text{C}$, что значительно выше, чем температура точки росы $t_d = 24,14^\circ\text{C}$ (при $t_{\text{int}} = 34,5^\circ\text{C}$, $\phi_{\text{int}} = 55\%$). Снижение температуры всего на $1,2\text{--}2,7^\circ\text{C}$ больше, чем по стальному коннектору, имеющему диаметр $0,006$ м. По показаниям тепловизора температура внутренней поверхности ограждения по коннектору снижается на: $2,27^\circ\text{C}$ (IR3_L5); $2,57^\circ\text{C}$ (IR4_L2); $3,71^\circ\text{C}$ (IR1_L5). Следует отметить, что по расчету температура имеет значительно меньшее значение.

Для сравнения экспериментальных данных и результатов вычислений с применением программы расчета построены графики распределения температуры по стыку фрагмента стены и плиты перекрытия (до оси симметрии), а также по вертикальной линии, проходящей по пересечению плоскости внутренней поверхности стены с вертикальной плоскостью, проведенной по центру монтажного крюка (рис. 7). Значения температуры по стыку практически идентичны, кроме участка с монтажным крюком, где температура по эксперименту ниже на 1°C , чем расчетное значение. По вертикальной линии значения температуры имеют минимальное расхождение.

Таким образом, на формирование температурного поля фрагмента стены с фасадной панелью существенное влияние оказывает монтажный крюк. Но температура внутренней поверхности ограждения по монтажному крюку незначительно отличается от t_{si}^1 по стальному коннектору (ниже не более 3°C). Незначительное снижение температуры наблюдается и в стыке фрагментов стены и перекрытия. Анализ показал, что при возведении наружной стены с применением фасадных железобетонных панелей требования норм проектирования будут соблюдены, в том

числе и исключено выпадение конденсата по теплопроводному включению.

Список литературы

1. Николаев С.В. Возрождение крупнопанельного домостроения в России // Жилищное строительство. 2011. № 4. С. 2–8.
2. Сапачева Л.В. Модернизация крупнопанельного домостроения – локомотив строительства жилья экономического класса // Жилищное строительство. 2011. № 6. С. 2–6.
3. Данилов Н.Д., Собакин А.А., Семенов А.А. Разработка технических решений долговечных и экономичных наружных стен зданий // Промышленное и гражданское строительство. 2010. № 10. С. 18–19.
4. Данилов Н.Д., Собакин А.А., Семенов А.А. О новых технических решениях наружных стен зданий, ориентированных на строительство в Северной строительной климатической зоне // Промышленное и гражданское строительство. 2012. № 1. С. 32–34.
5. Беляев В.С. Энергоэффективность наружных стен крупнопанельного домостроения // Жилищное строительство. 2011. № 7. С. 23–26.
6. Патент РФ на изобретение № 2473754. Способ монтажа наружной стены с применением фасадных панелей // Т.С. Антипкина, Н.Д. Данилов, А.А. Семенов, А.А. Собакин // Опубл. 27.01.13. Бюл. № 3.
7. Данилов Н.Д., Шадрин В.Ю., Павлов Н.Н. Анализ влияния локальных теплопроводных включений на температурный режим ограждающих конструкций // Жилищное строительство. 2011. № 7. С. 23–26.
8. Данилов Н.Д., Докторов И.А., Амбросьев В.В., Федотов П. А., Семенов А.А. Исследование теплозащитных свойств фрагмента стены в климатической камере // Промышленное и гражданское строительство. 2013. № 8. С. 17–19.
9. Данилов Н.Д., Собакин А.А. О теплозащитных свойствах заполнения светопроемов // Жилищное строительство. 2008. № 9. С. 28–31.