

Комплексная оценка теплозащиты ограждающих конструкций оболочки здания

*К.т.н., доцент С.В. Корниенко**

ФГБОУ ВПО Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет

Ключевые слова: тепловая защита здания; сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций; численное моделирование

Одним из приоритетных направлений современной архитектуры и строительства является энергосбережение и повышение энергоэффективности зданий. Важной задачей в этом направлении является адекватное определение теплозащитных качеств ограждающих конструкций. Решение этой задачи позволяет оценить соответствие строительных конструкций нормативным требованиям, установить реальные потери тепла, разработать меры по повышению тепловой защиты зданий. Из числа последних публикаций, посвященных этой проблеме, можно отметить работы [1-19].

Комплексная оценка теплозащиты эксплуатируемых зданий может быть выполнена путем натуральных измерений и численного моделирования процессов тепло- и влагопереноса в ограждающих конструкциях оболочки здания. Однако значительная трудоемкость, а зачастую и невозможность проведения эксперимента, недостаточная проработка методики измерений, необходимость применения дорогостоящей аппаратуры, жесткие требования к режимным параметрам проведения эксперимента, а также отсутствие надежных и удобных для практического применения методов численного моделирования тепловлагопереноса в ограждающих конструкциях зданий, затрудняет решение этой задачи.

Автором разработан метод расчета температурно-влажностного режима в трехмерных областях ограждающих конструкций зданий [14] на основе математической модели совместного нестационарного тепловлагопереноса, описываемой системой дифференциальных уравнений в частных производных и краевыми условиями. Указанная модель основана на теории потенциала влажности В.Н. Богословского с применением шкалы абсолютного потенциала влажности [18], разработанной автором. Использование этой шкалы позволяет существенно упростить модель тепловлагопереноса. Разработанная математическая модель реализована в компьютерной программе [17], которая позволяет производить расчет трехмерных нестационарных температурных и влажностных полей в краевых зонах ограждающих конструкций в широком диапазоне влажности при сложных граничных условиях.

Указанный метод позволяет учесть влияние краевых зон на теплозащитные свойства ограждений [15] и разработать меры по повышению энергоэффективности зданий. Разработанная компьютерная программа включена в программно-вычислительный комплекс «Энергоэффективность и тепловая защита зданий» [17], имеет государственную регистрацию [19] и использована при проектировании объектов жилищно-гражданского и производственного назначения на территории Волгоградской области и других регионов России.

В данной статье выполнена комплексная оценка теплозащиты оболочки здания на основе натуральных измерений и численного моделирования тепловлагопереноса в ограждающих конструкциях.

Объектом натурного обследования является 2-комнатная квартира, расположенная на первом этаже 5-этажного эксплуатируемого жилого дома в г. Волжском Волгоградской области. Конструктивная система здания объемно-блочная, с применением объемных блоков типа «колпак». Стены объемных блоков выполнены из тяжелого бетона плотностью 1800 кг/м^3 толщиной 70 мм с навесными панелями наружных стен из керамзитобетона плотностью 900 кг/м^3 толщиной 250 мм. Для повышения теплозащитных качеств наружных стен в 2009 г. произведена реконструкция здания, в результате которой выполнена система с навесным вентилируемым фасадом. Заполнение проемов наружных стен выполнено оконными блоками из однокамерных стеклопакетов в ПВХ профилях. Система отопления – централизованная однотрубная, с нижней разводкой подающей и обратной магистралей и ручным регулированием расхода теплоносителя на отопительных приборах. Система вентиляции – приточно-вытяжная канальная, с естественным регулируемым притоком воздуха через вентиляционные клапаны в наружных стенах и удалением воздуха через вытяжные каналы. Проектные параметры систем отопления и вентиляции обеспечивают

Корниенко С.В. Комплексная оценка теплозащиты ограждающих конструкций оболочки здания

выполнение санитарно-эпидемиологических требований согласно СП 54.13330.2011 (п. 9) в указанной квартире.

Натурные измерения проведены автором в холодный период года с 24.01.2012 по 27.01.2012 в жилой комнате указанной квартиры. Наружная стена сориентирована на северо-восток, что исключает инсоляцию помещения во время обследования. Продолжительность натурального обследования соответствует требованию ГОСТ 26254–84 по тепловой инерции наружных стен здания.

Испытания в натуральных условиях проведены в период, когда разность среднесуточных температур внутреннего и наружного воздуха обеспечивает получение результата с необходимой точностью. Анализ фактических данных, взятых с ближайшей метеостанции, показал, что в предшествующие 3 суток перед началом измерений температура наружного воздуха была стабильна (отклонение среднесуточной температуры от средней температуры за указанный период не превышает 1,5 °С). В ходе проведения измерений стабильность температуры наружного воздуха сохранялась и в последующие сутки. Внутри здания температура воздуха практически постоянна, что обусловлено режимом эксплуатации. Таким образом, в целом режим теплопередачи через рассматриваемые ограждения можно считать близким к установившемуся.

Натурные измерения параметров теплозащиты ограждающих конструкций выполнены методом неразрушающего контроля с применением современных цифровых измерительных приборов. Измерение и регистрация плотности тепловых потоков, проходящих через ограждающие конструкции, и температур выполнены многоканальным прибором ИТП–МГ4.03–10 «Поток» (зав. № 559, вып. 12.2010). Регистрация тепловых потоков и температур выполнялась в автоматическом режиме с интервалом 5 минут. Для оперативного измерения параметров микроклимата помещения использован электронный контактный термометр ТК 5–06 с комплектом зондов и цифровой термоанемометр Testo 405. Все измерения выполнены при закрытых окнах и вентиляционных клапанах наружных стен приборами, прошедшими регистрацию и имеющими сертификат.

Для измерений выбраны фрагменты ограждающих конструкций в зоне указанной квартиры, характерные для всей теплозащитной оболочки здания. Предварительно методом термографирования внутренней поверхности ограждающих конструкций, согласно ГОСТ 26254–84, определены термически однородные зоны. Датчики температуры и теплового потока установлены на внутренней поверхности ограждающих конструкций на высоте около 1,2 м от уровня пола: по глади стены (на расстоянии 0,48 м от вершины угла), в зоне угла (на расстоянии 0,255 м), в центре стеклопакета оконного блока. Для измерения температуры внутреннего и наружного воздуха датчики температуры установлены на той же высоте на расстоянии 100 мм от внутренней и наружной поверхностей стены. Измерения температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха выполнены оперативно в центре жилой комнаты, на высоте 1,1...1,5 м от пола. Результирующая температура помещения определена по температуре шарового термометра согласно ГОСТ 30494–96.

Результаты мониторинга температуры и плотности теплового потока представлены в виде графиков на рис. 1, 2. Графики зависимости температуры от времени (рис. 1) показаны в порядке убывания температуры: внутренний воздух, по глади стены, в зоне угла, в центре стеклопакета, наружный воздух. Графики зависимости плотности теплового потока от времени (рис. 2) показаны в порядке возрастания теплового потока: по глади стены, в зоне угла, в центре стеклопакета.

Анализ полученных результатов измерений показывает, что изменение температуры внутреннего воздуха незначительно: минимальная температура 20,2 °С, максимальная – 23,6 °С, средняя – 21,9 °С. Температура наружного воздуха изменяется от –20 °С до –11 °С при среднем значении – 15,5 °С. Минимальная температура на внутренней поверхности стены отмечалась 26.01.2012 в утренние часы: по глади – 17,9 °С, в краевой зоне – 17,0 °С. По мере приближения к углу температура понижается, а плотность теплового потока увеличивается. Минимальная температура на внутренней поверхности стеклопакета равна 11,6 °С. Плотность теплового потока, проходящего через стеклопакет, значительно выше, чем через наружную стену.

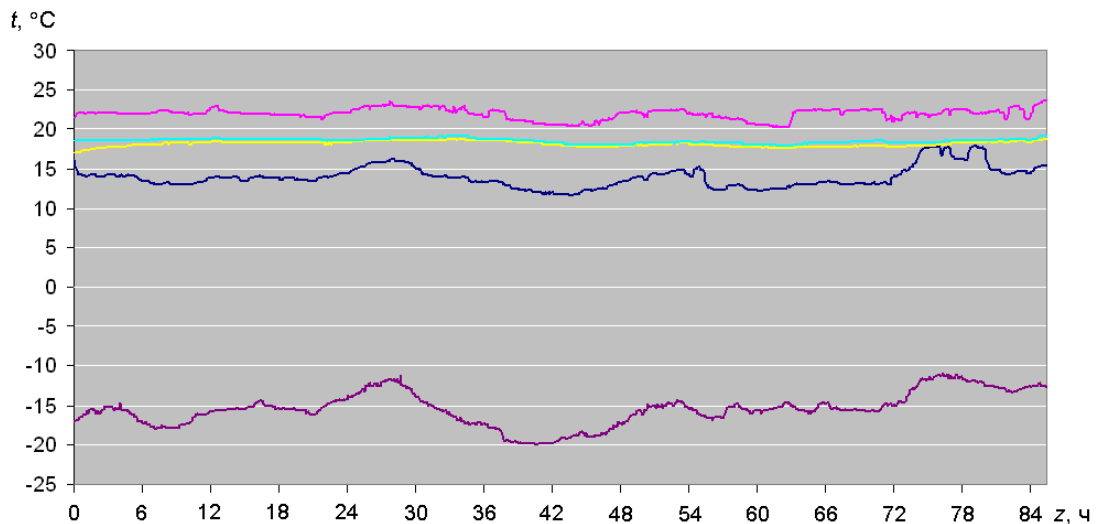


Рисунок 1. Графики зависимости температуры от времени

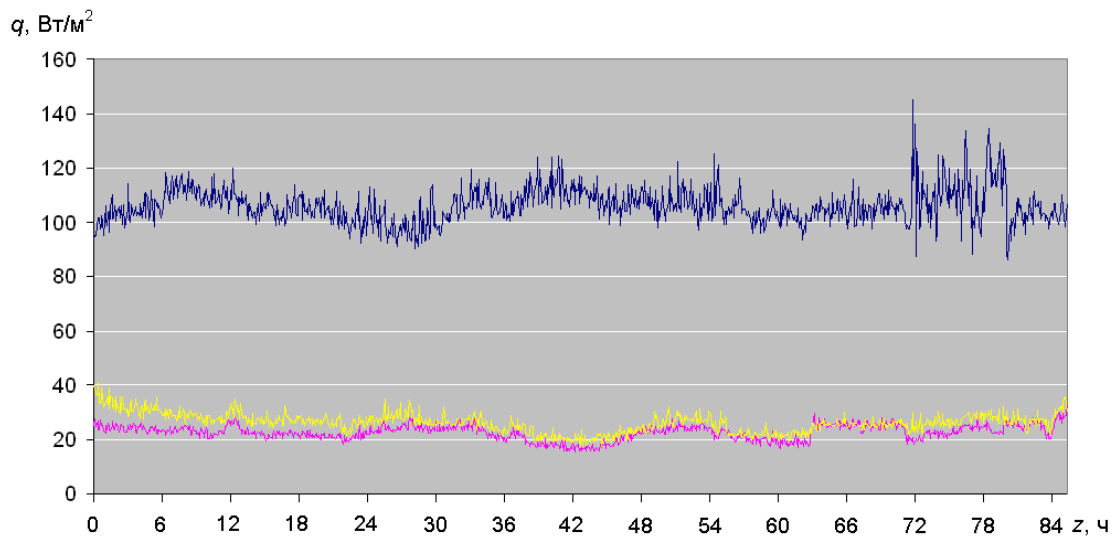


Рисунок 2. Графики зависимости поверхностной плотности теплового потока от времени

На основе применения вероятностно-статистических методов выполнена обработка результатов измерений, которая включает в себя расшифровку информации с регистраторов температуры и тепловых потоков и определение сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций. Расчет сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций в указанных точках установки датчиков выполнен по результатам измерения температуры и плотности теплового потока для i -го измерения по формуле:

$$R_{hi} = \frac{t_i^{int} - t_i^{ext}}{q_{hi}}, \quad (1)$$

где t_i^{int} , t_i^{ext} – значения температуры соответственно внутреннего и наружного воздуха; q_{hi} – значение плотности теплового потока на внутренней поверхности ограждений.

За истинное значение сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций в указанных точках принято выборочное среднее значение, определяемое по формуле:

$$R_h^{av} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n R_{hi}, \quad (2)$$

где n – число измерений, полученное после исключения из исходной выборки недостоверных значений сопротивления теплопередаче.

Погрешность определения сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций вычисляется по формуле:

$$\Delta_{sum} = \sqrt{(\Delta_1)^2 + (\Delta_2)^2 + (\Delta_3)^2}, \quad (3)$$

где Δ_{sum} – суммарная относительная погрешность; Δ_1 – основная относительная приборная погрешность измерений для температуры; Δ_2 – то же, для плотности теплового потока; Δ_3 – относительная методическая погрешность, обусловленная нестационарностью процесса теплопередачи.

Согласно паспортным данным прибора ИТП–МГ4.03–10 «Поток», основная относительная погрешность измерений составляет: для температуры – не более 1 %, для плотности теплового потока – не более 6 %. Согласно МДС 23–1.2007 относительная методическая погрешность, обусловленная нестационарностью процесса теплопередачи, не превышает 8 %. При указанных данных суммарная относительная погрешность по формуле (3) не превышает 10 %, что меньше допустимого значения по ГОСТ 26254–84. Таким образом, в ходе натурных измерений получены достоверные результаты, обеспечивающие заданную точность.

Результаты измерений параметров микроклимата помещения, температурного режима и теплозащитных показателей ограждающих конструкций приведены в табл. 1.

Таблица 1. Результаты измерений параметров микроклимата, температурного режима и теплозащитных показателей ограждающих конструкций

Наименование показателя	Фактическое значение показателя
1. Температура воздуха, °С	21,5
2. Результирующая температура, °С	21,6
3. Относительная влажность, %	51,1
4. Скорость движения воздуха, м/с	0,02...0,05
5. Средняя за период наблюдений температура на внутренней поверхности ограждающей конструкции, °С:	
по глади стены	18,6 (15,9)*
в зоне угла	18,2 (15,4)
в центре стеклопакета	13,9 (10,4)
6. Сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции, м ² ·°С/Вт:	
по глади стены	1,69
в зоне угла	1,47
в центре стеклопакета	0,354

*) приведенная к расчетным условиям согласно ГОСТ 26254–84.

Анализ данных табл. 1 показывает, что фактические параметры микроклимата в жилой комнате отвечают оптимальным нормам по температуре и скорости движения воздуха, а также допустимым нормам по результирующей температуре и относительной влажности воздуха согласно ГОСТ 30494–96. Однако фактические значения сопротивления теплопередаче наружной стены ниже минимального значения согласно п. 5.13 СНиП 23–02–2003 ($R_{min}^w = 1,76 \text{ м}^2 \cdot \text{°С/Вт}$). Приведенное сопротивление теплопередаче окна, рассчитанное на основе полученного экспериментального значения для светопропускающей части (стеклопакета), составляет $0,393 \text{ м}^2 \cdot \text{°С/Вт}$, что ниже нормируемого значения по табл. 4 того же СНиП ($R_{req}^F = 0,447 \text{ м}^2 \cdot \text{°С/Вт}$). Таким образом, указанные фрагменты оболочки здания не отвечают требованиям п. 5.1 а) СНиП 23–02–2003 по приведенному сопротивлению теплопередаче ограждающих конструкций. Температурный перепад между температурой внутреннего воздуха и на внутренней поверхности наружной стены в жилой комнате обследованной квартиры составляет $4,1...4,6 \text{ °С}$, что выше нормируемого значения $\Delta t_n = 4,0 \text{ °С}$ согласно табл. 5 СНиП 23–02–2003, следовательно, наружные стены не отвечают санитарно-гигиеническому показателю.

Таким образом, **проведенная реконструкция здания с целью повышения уровня его теплозащиты не обеспечила безопасные условия для проживания.**

Представляет практический интерес установление причины низкого уровня теплозащиты наружных стен. Провести комплекс вскрышных работ на исследуемых участках оболочки здания с целью непосредственных измерений теплофизических характеристик строительных материалов, используемых в конструкции, на момент проведения обследования не представилось возможным в связи с аномально низкой температурой наружного воздуха и отказом со стороны жильцов дома.

Корниенко С.В. Комплексная оценка теплозащиты ограждающих конструкций оболочки здания

Поэтому возможные причины низкой теплозащиты могли быть установлены путем анализа проектной документации и численным моделированием процесса теплопередачи при реальных температурных условиях с учетом влажностного режима наружных ограждений. Выполним этот расчет для угла наружных стен по двум вариантам: 1 – при фактическом значении коэффициента теплопроводности утеплителя; 2 – при его проектном значении. Схема проектного решения узла приведена на рис. 3.

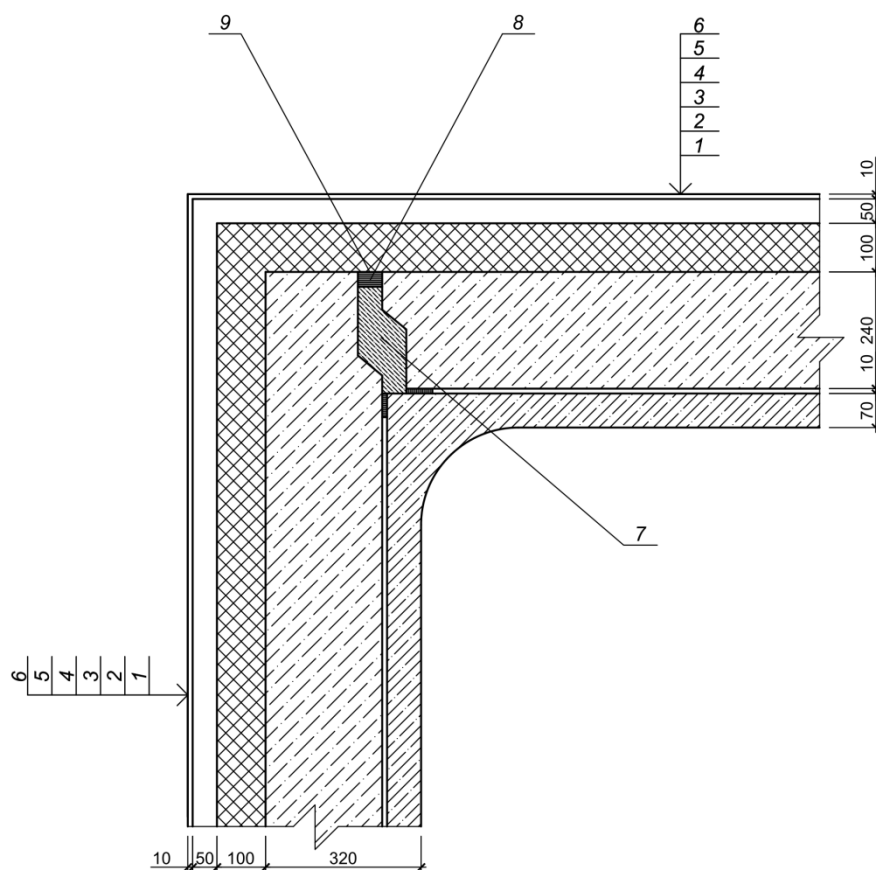


Рисунок 3. Схема проектного решения угла наружных стен (крепление облицовки фасада условно не показано):
1 – наружная облицовка;
2 – вентилируемая воздушная прослойка;
3 – утеплитель из минераловатных плит;
4 – навесная панель из керамзитобетона;
5 – монтажный шов;
6 – железобетонная конструкция объемного блока;
7 – заделка межпанельного шва керамзитобетоном;
8 – мастика строительная;
9 – защитное покрытие

Фактический коэффициент теплопроводности утеплителя наружных стен можно определить приближенно на основе измеренного сопротивления теплопередаче по глади наружной стены по формуле:

$$\lambda_{hm}^{ins} = \frac{\delta_{ins}}{R_{hw}^{av} - \left(\frac{1}{\alpha_h^{si}} + \frac{1}{\alpha_h^{se}} + \frac{\delta_1}{\lambda_{h1}} + \frac{\delta_2}{\lambda_{h2}} \right)}, \quad (4)$$

где δ_{ins} – толщина утеплителя, принимаемая по проекту ($\delta_{ins} = 0,1$ м); R_{hw}^{av} – фактическое (измеренное) сопротивление теплопередаче по глади наружной стены; α_h^{si} – коэффициент теплообмена у внутренней поверхности наружной стены в эксперименте, определенный согласно ГОСТ 26254–84 на основе измеренных параметров [$\alpha_h^{si} = 7,3$ Вт/(м²·°С)]; α_h^{se} – коэффициент теплообмена у наружной поверхности стены, принятый с учетом влияния вентилируемой воздушной прослойки согласно СП 23–101–2003 [$\alpha_h^{se} = 10,8$ Вт/(м²·°С)]; δ_1 – толщина стенки «колпака» объемного блока, принятая по проекту ($\delta_1 = 0,07$ м); λ_{h1} – расчетный коэффициент теплопроводности стенки «колпака» объемного блока [$\lambda_{h1} = 0,80$ Вт/(м·°С)]; δ_2 – толщина навесной панели объемного блока, принятая по проекту ($\delta_2 = 0,25$ м); λ_{h2} – расчетный коэффициент теплопроводности навесной панели объемного блока [$\lambda_{h2} = 0,28$ Вт/(м·°С)].

По формуле (4) $\lambda_{hm}^{ins} = 0,208$ Вт/(м·°С), по проекту $\lambda_{hd}^{ins} = 0,041$ Вт/(м·°С).

Численное моделирование тепловлагопереноса для указанного фрагмента наружной стены по двум вариантам расчета выполнено в компьютерной программе [19] при фактических параметрах микроклимата помещения и наружного климата, усредненных за время измерений. Геометрические характеристики конструкции определены в соответствии с проектной документацией.

На рис. 4 показаны графики зависимости температуры от координаты на внутренней поверхности угла по двум вариантам расчета. Графики получены путем обработки результатов численного моделирования интерполяцией кубическими сплайнами.

Как видно из рис. 4, минимальная температура по обоим вариантам расчета отмечается в углу. По мере удаления от угла температура повышается. При фактическом значении коэффициента теплопроводности утеплителя (вариант 1) температура ниже, чем при проектном значении (вариант 2), причем максимальное отклонение температуры отмечается в углу.

На основе расчетных значений температуры в точках измерений наружной стены определяем расчетное сопротивление теплопередаче по формуле:

$$R_{hj} = \frac{t_{int} - t_{ext}}{\alpha_{hj}^{si} (t_{int} - t_j^{si})}, \quad (5)$$

где t_{int} , t_{ext} – соответственно температура внутреннего и наружного воздуха; t_j^{si} – температура в точках измерений, полученная по результатам численного моделирования.

Сравнение расчетных и фактических (измеренных) значений сопротивления теплопередаче наружной стены для указанных точек наружной стены представлено в табл. 2.

Таблица 2. Сравнение расчетных и фактических значений сопротивления теплопередаче наружной стены

Фрагмент наружной стены	Сопротивление теплопередаче, $\text{м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$		Отклонение расчетного значения сопротивления теплопередаче от фактического, %
	фактическое	расчетное	
По глади ($x_1 = 0,48 \text{ м}$)	1,69	1,55	-8,28
В зоне угла ($x_2 = 0,255 \text{ м}$)	1,47	1,38	-6,12

Из табл. 2 видно, что расчетные и фактические значения сопротивления теплопередаче хорошо согласуются между собой. Максимальное отклонение (-8,28 %) отмечается по глади стены. Таким образом, подтверждается достоверность результатов, полученных компьютерной программой.

По результатам численного моделирования тепловлагоденоса в наружной стене по варианту 2 установлено, что **проектное решение наружных стен соответствует нормативным требованиям по теплозащите.**

Ухудшение фактического температурного режима наружных стен и снижение их теплозащитных качеств по сравнению с проектным решением может быть вызвано нарушениями, допущенными в ходе строительства и реконструкции здания: некачественной заделкой стыков межпанельных швов; наличием в теплозащитной оболочке здания многочисленных теплопроводных включений, обусловленных некачественным выполнением работ; отсутствием в наружной облицовке вентиляционных отверстий. Устранение допущенных в ходе строительства и реконструкции недостатков позволит повысить уровень тепловой защиты здания.

По результатам проведенных исследований сформулированы выводы.

1. Проведена апробация разработанного автором метода расчета температурно-влажностного режима в трехмерных областях ограждающих конструкций зданий в натуральных условиях.
2. Показано хорошее согласование расчетных и фактических данных. Это подтверждает достоверность результатов расчета и позволяет использовать указанный метод в проектной практике.

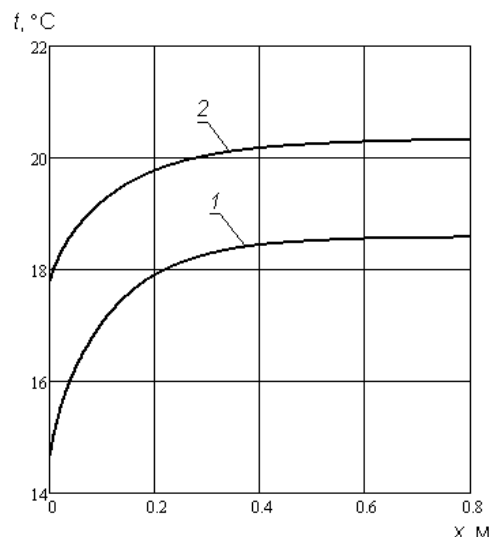


Рисунок 4. Графики зависимости температуры от координаты на внутренней поверхности угла наружных стен по вариантам расчета:
1 – при $\lambda_{hm}^{ins} = 0,208 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{°C})$;
2 – при $\lambda_{hd}^{ins} = 0,041 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{°C})$

Литература

1. Ройфе В. С. Экспериментальные исследования влажностного состояния строительных конструкций // Вестник МГСУ. 2011. № 3. Т. 2. С. 104-108.
2. Ананьев А. И., Ананьев А. А. Теплозащитные свойства и долговечность непрозрачных фасадных систем зданий // Вестник МГСУ. 2011. № 3. Т. 1. С. 146-151.
3. Гагарин В. Г., Козлов В. В., Крышов С. И., Пономарев О. И. Теплозащита наружных стен зданий с облицовкой из кирпичной кладки // АВОК. 2009. № 5. С. 48-56. №6. С. 48-55.
4. Соколов Н. А., Соколов А. Н. Обеспечение единства измерений теплофизических и теплотехнических параметров строительных материалов и конструкций // Строительная теплофизика и энергоэффективное проектирование ограждающих конструкций зданий: Сб. трудов II Всероссийской науч.-техн. конф. СПб: Изд-во Политехн. ун-та, 2009. С. 144-149.
5. Пинскер В. А., Вылегжанин В. П., Гринфельд Г. И. Теплофизические испытания фрагмента кладки стены из газобетонных блоков марки по плотности D400 // Инженерно-строительный журнал. 2009. № 8. С. 17-19.
6. Горшков А. С., Ватин Н. И., Глумов А. В. Влияние физико-технических и геометрических характеристик штукатурных покрытий на влажностный режим однородных стен из газобетонных блоков // Инженерно-строительный журнал. 2011. № 1 (19). С. 28-33.
7. Фокин В. М., Ковылин А. В. Экологически безопасный неразрушающий метод определения теплофизических свойств строительных материалов и изделий в зимний период [Электронный ресурс] // Интернет-Вестник ВолгГАСУ. Политематическая сер. 2010. Вып. 2 (12). Систем. требования: AdobeAcrobatReader. URL : <http://www.vestnik.vgasu.ru>.
8. Бойков А. Г. Определение теплового потока через наружные ограждения [Электронный ресурс] // Интернет-Вестник ВолгГАСУ. Сер.: Политематическая. 2011. Вып. 3 (17).. Систем. требования: AdobeAcrobatReader. URL : <http://www.vestnik.vgasu.ru>.
9. Motuziene V., Valancius K., Rynkun G. Complex Analysis of Energy Efficiency of public buildings: case study of VGTU // Инженерно-строительный журнал. 2012. № 2 (28). С. 9-17.
10. Thorsell T., Bomberg M. Integrated methodology for evaluation of energy performance of the building enclosures: part 3 – uncertainty of thermal measurements // Journal of Building Physics. 2011. Vol. 35. Pp. 83-96.
11. Miranville F., Fakra A. H., Gnichard S., Boyer H., Praene P., Bigot D. Evaluation of the thermal resistance of a roof-mounted multi-reflective radiant barrier for tropical and humid conditions: Experimental study from field measurements // Energy and Buildings. 2012. Vol. 48. Pp. 79-90.
12. Maref W., Bossche N. Van Den, Armstrong M., Lacasse M. A., Elmahdy H., Glazer R. Condensation risk assessment on box windows: the effect of the window-wall interface // Journal of Building Physics. 2012. V. 36. Pp. 35-56.
13. Barrios G., Huelsz G., Rechtman R., Rojas J. Wall/roof thermal performance differences between air-conditioned and non air-conditioned rooms // Energy and Buildings. 2011. V. 43. No 1. Pp. 219-223.
14. Корниенко С. В. Решение трехмерной задачи совместного нестационарного тепло- и влагопереноса для ограждающих конструкций зданий // Строительные материалы. 2007. № 10. С. 54-55.
15. Корниенко С. В. Оценка влияния краевых зон ограждающих конструкций на теплозащиту и энергоэффективность зданий // Инженерно-строительный журнал. 2011. №8 (26). С. 5-12.
16. Корниенко С. В. Тестирование метода расчета температурно-влажностного режима ограждающих конструкций на результатах натуральных измерений параметров микроклимата помещений // Инженерно-строительный журнал. 2012. № 2 (28). С. 18-23.
17. Корниенко С. В. Повышение энергоэффективности зданий за счет снижения теплотерь в краевых зонах ограждающих конструкций. Научное издание. Волгоград: ВолгГАСУ, 2011. 108 с.
18. Корниенко С. В. Методы инженерной оценки влажностного режима ограждающих конструкций на основе теории потенциала влажности. Научное издание. Волгоград: ВолгГАСУ, 2011. 100 с.
19. Корниенко С. В. Совместный влаготеплоперенос (СОВТ). Свидетельство № 2011611175 о государственной регистрации программы для ЭВМ. М.: ФИПС, 2011.

* Сергей Валерьевич Корниенко, Волгоград, Россия

Тел. раб.: +7(8442)96-98-16; эл. почта: svkorn2009@yandex.ru

© Корниенко С.В., 2012

doi: 10.5862/MCE.33.5

The complex assessment of a thermal performance of the building envelope

S.V. Kornienko,*Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering (VSUACE), Volgograd, Russia
+7(8442)96-98-16; e-mail: svkorn2009@yandex.ru*

Key words

thermal performance of the building; thermal resistance of the building enclosure; computer simulation

Abstract

The complex assessment of a thermal performance of the envelope on the basis of natural measurements and numerical modeling of the heat and moisture transport in building components was executed. On the basis of natural measurements it was shown that thermal performance qualities of a maintained building do not meet standard requirements.

For the purpose of establishment of the reason of low level of a thermal performance numerical modeling of the heat and moisture transport in an external wall according to the computer program developed by the author, by two options — on the basis of the actual and design data was executed. It was shown that results of numerical modeling on the basis of actual data will well be coordinated with natural data that confirms reliability of the results received on the computer program.

On the basis of numerical modeling with use of design data it was established that the design solution of external walls corresponded to standard requirements for a thermal performance, and, therefore, deterioration of a thermal performance can be caused by the violations allowed during construction and reconstruction of the building.

References

1. Royfe V. S. *Vestnik MGSU*. 2011. No. 3. Vol. 2. pp. 104-108. (rus)
2. Ananyev A. I., Ananyev A. A. *Vestnik MGSU*. 2011. No. 3. Vol. 1. Pp. 146-151. (rus)
3. Gagarin V. G., Kozlov V. V., Kryshov S. I., Ponomarev O. I. *AVOK*. 2009. No. 5, 6. (rus)
4. Sokolov N. A., Sokolov A. N. *Stroitel'naya teplofizika i energoeffektivnoye proyektirovaniye ograzhdayushchikh konstruksiy zdaniy* [Thermal physics and energy-efficient building design envelope. All-Russian Scientific-Technical Conference]. St.-Petersburg: Izd-vo Politekhn. un-ta, 2009. Pp. 144-149. (rus)
5. Pinsker V. A., Vylegzhanin V. P., Grinfeld G. I. *Magazine of Civil Engineering*. 2009. No. 8. Pp. 17-19. (rus)
6. Gorshkov A. S., Vatin N. I., Glumov A. V. *Magazine of Civil Engineering*. 2011. No. 1 (19). Pp. 28-33. (rus)
7. Fokin V. M., Kovylin A. V. *Internet-Vestnik VolgGASU*. 2010. Issue 2 (12). www.vestnik.vgasu.ru. (rus)
8. Boykov A. G. *Internet-Vestnik VolgGASU*. 2011. Issue 3 (17). www.vestnik.vgasu.ru. (rus)
9. Motuziene V., Valancius K., Rynkun G. Complex Analysis of Energy Efficiency of public buildings: case study of VGTU. *Magazine of Civil Engineering*. 2012. No. 2 (28). Pp. 9-17.
10. Thorsell T., Bomberg M. Integrated methodology for evaluation of energy performance of the building enclosures: part 3 — uncertainty of thermal measurements. *Journal of Building Physics*. 2011. Vol. 35. Pp. 83-96.
11. Miranville F., Fakra A. H., Gnichard S., Boyer H., Praene P., Bigot D. Evaluation of the thermal resistance of a roof-mounted multi-reflective radiant barrier for tropical and humid conditions: Experimental study from field measurements. *Energy and Buildings*. 2012. Vol. 48. Pp. 79-90.
12. Maref W., Bossche N. Van Den, Armstrong M., Lacasse M.A., Elmahdy H., Glazer R. Condensation risk assessment on box windows: the effect of the window-wall interface. *Journal of Building Physics*. 2012. Vol. 36. Pp. 35-56.
13. Barrios G., Huelsz G., Rechtman R., Rojas J. Wall/roof thermal performance differences between air-conditioned and non-air-conditioned rooms. *Energy and Buildings*. 2011. Vol. 43. No. 1. Pp. 219-223.

14. Korniyenko S. V. *Construction materials*. 2007. No. 10. Pp. 54-55. (rus)
15. Korniyenko S. V. *Magazine of Civil Engineering*. 2011. No. 8 (26). Pp. 5-12. (rus)
16. Korniyenko S. V. *Magazine of Civil Engineering*. 2012. No. 2 (28). Pp. 18-23. (rus)
17. Korniyenko S. V. *Povysheniye energoeffektivnosti zdaniy za schet snizheniya teplopoter v krayevykh zonakh ograzhdayushchikh konstruktsiy* [Increase of energy efficiency of buildings at the expense of decrease in heat-losses in regional zones of enclosures]. Volgograd: VolgGASU, 2011. 108 p. (rus)
18. Korniyenko S. V. *Metody inzhenernoy otsenki vlazhnostnogo rezhima ograzhdayushchikh konstruktsiy na osnove teorii potentsiala vlazhnosti* [Methods of an engineering assessment for moisture behavior of enclosures on the basis of the moisture potential theory]. Volgograd: VolgGASU, 2011. 100 p.
19. Korniyenko S. V. *Sovmestnyy vlagoteploperenos (SOVT)* [Simultaneous heat and moisture transport]. Svidetelstvo № 2011611175 o gosudarstvennoy registratsii programmy dlya EVM. M.: FIPS, 2011.

Full text of this article in Russian: pp. 43-49