

Тестирование метода расчета температурно-влажностного режима ограждающих конструкций на результатах натуральных измерений параметров микроклимата помещений

*К.т.н., доцент С.В. Корниенко**

ФГБОУ ВПО Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет

Ключевые слова: температурно-влажностный режим ограждающих конструкций; параметры микроклимата помещений; компьютерная программа

Проблема снижения энергозатрат и повышения энергоэффективности зданий тесно связана с необходимостью исследования процессов теплообмена, прогноза температурно-влажностного режима ограждающих конструкций и повышения надежности теплотехнических расчетов. Большой вклад в решение этой проблемы внесли В.Н. Богословский [1], А.В. Лыков [2], А.У. Франчук [3], С.В. Александровский [4], К.Ф. Фокин [5], В.М. Ильинский [6], В.И. Лукьянов [7], В.Г. Гагарин [8], А.И. Ананьев [9], А.Г. Перехоженцев [10], О. Кришер [11]. Следует также отметить работы [12–16].

Автором разработан метод расчета температурно-влажностного режима в трехмерных областях ограждающих конструкций зданий [17–21] на основе физико-математической модели совместного нестационарного теплообмена, описываемой системой дифференциальных уравнений в частных производных и краевыми условиями. Указанная модель основана на теории потенциала влажности В.Н. Богословского [1] с применением шкалы абсолютного потенциала влажности, разработанной автором. Использование шкалы абсолютного потенциала влажности [17, 20] позволяет существенно упростить модель теплообмена. Разработанная физико-математическая модель реализована в компьютерной программе [19], которая позволяет производить расчет трехмерных нестационарных температурных и влажностных полей в краевых зонах ограждающих конструкций в широком диапазоне влажности и температуры при сложных граничных условиях. Указанный метод позволяет учесть влияние краевых зон на теплозащитные свойства ограждений.

В данной статье приведены результаты натуральных измерений параметров микроклимата помещений, которые использованы для тестирования (верификации) метода расчета температурно-влажностного режима ограждающих конструкций [17–21].

Объектом натурального обследования является 3-комнатная квартира, расположенная на 4-м этаже 5-этажного жилого дома в г. Волжском Волгоградской области. Площадь жилых помещений принята по проекту: 1 – 9,2 м²; 2 – 15,6 м²; 3 – 13,4 м². Конструктивная система здания объемно-блочная, с применением объемных блоков типа «колпак». Стены объемных блоков выполнены из тяжелого бетона плотностью 1800 кг/м³ толщиной 70 мм с навесными панелями наружных стен из керамзитобетона плотностью 900 кг/м³ толщиной 210 мм, с эффективным утеплителем и наружной облицовкой из металлосайдинга. Заполнение проемов наружных стен выполнено оконными блоками из однокамерных стеклопакетов в ПВХ профилях. Система отопления централизованная однотрубная, с нижней разводкой подающей и обратной магистралей. В качестве отопительных приборов использованы чугунные радиаторы типа МС–140×108 с ручным регулированием расхода теплоносителя. 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 выполнение санитарно-эпидемиологических требований согласно СП 54.13330.2011 (п. 9) в указанной квартире.

Натурные измерения параметров микроклимата жилых помещений проведены в холодный период года с 10.12.2011 по 17.12.2011 в дневное время суток при пасмурной погоде. Продолжительность натурального обследования соответствует требованию ГОСТ 26254–84 по тепловой инерции наружных стен здания. Параметры наружного климата приняты усредненными за время измерений по данным ближайшей метеостанции:

- температура воздуха – минус 4,7°С;
- относительная влажность воздуха – 96 %;
- скорость ветра – 4 м/с;
- облачность – 9 баллов.

Корниенко С.В. Тестирование метода расчета температурно-влажностного режима ограждающих конструкций на результатах натуральных измерений параметров микроклимата помещений

Натурные измерения параметров микроклимата помещений выполнены методом неразрушающего контроля с применением современных цифровых измерительных приборов. Температура и относительная влажность воздуха измерены цифровым термогигрометром «Testo 610» с погрешностью: по температуре $\pm 0,5$ °С, по относительной влажности $\pm 2,5$ %. Температура внутренней поверхности ограждающих конструкций и отопительных приборов измерена цифровым поверхностным термометром «Testo 905-T2» с погрешностью $\pm 1,0$ °С. Для измерения скорости движения воздуха использован цифровой термоанемометр «Testo 405» с погрешностью $\pm (0,1 \text{ м/с} + 5\% \text{ от измеренного значения})$. Влажность внутреннего поверхностного слоя наружных стен измерено диэлектрическим методом по ГОСТ 21718–84 электронным измерителем влажности «Влагомер МГ 4Б» с погрешностью $\pm 0,8$ % (в диапазоне 1...10 %). Все измерения выполнены при закрытых окнах и вентиляционных клапанах наружных стен приборами, прошедшими регистрацию и имеющими сертификат.

Измерения температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха выполнены в центре жилых помещений, на высоте 1,1...1,5 м от пола. Результирующая температура определена по температуре воздуха в помещении и радиационной температуре согласно ГОСТ 30494–96. Площадь внутренней поверхности ограждающих конструкций и отопительных приборов определена по проекту. Температура поверхностей измерялась в соответствии со схемой, представленной на рис. 1:

- на внутренней поверхности наружной стены – в центре участков, образованных линиями, продолжающими грани откосов светопроема (точки 1–8), и в зоне сопряжений наружной стены с внутренними стенами (точки 9–14);
- в центре остекления (точка 15);
- в центре отопительного прибора (точка 16);
- в центре внутренних стен и перегородок (точки 17–19);
- в центре пола (точка 20) и потолка (точка 21).

Влажность внутреннего поверхностного слоя наружной стены измерялось в соответствии со схемой рис. 1 в точках 1–8.

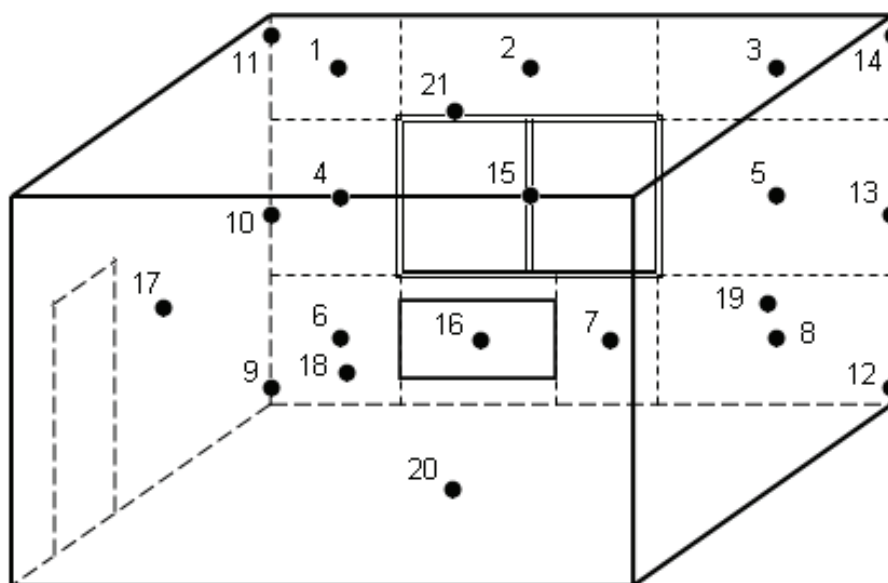


Рисунок 1. Схема замеров температуры и влагосодержания (стояки отопления условно не показаны)

Результаты измерений указанных параметров приведены в табл. 1.

Таблица 1. Результаты измерений температуры и влагосодержания

Ограждающая конструкция, отопительный прибор	Номер точки	Площадь A_i , м ² , температура t_i , °С, внутренней поверхности ограждений и отопительных приборов и влагосодержание w_i , % M, внутреннего поверхностного слоя наружной стены для жилых помещений								
		1			2			3		
		A_i	t_i	w_i	A_i	t_i	w_i	A_i	t_i	w_i
Наружная стена	1	0,185	22,5	1,3	0,135	21,4	1,6	0,2	23,9	1
	2	0,313	21	1,8	0,438	21,4	1,9	0,313	21,2	1,6
	3	0,275	20,6	1,8	0,2	22,4	1,4	0,26	21	2
	4	1,07	22,5	1,4	0,783	21,9	1,4	1,16	23,8	1,2
	5	1,6	21,2	1,4	1,16	23,2	1,3	1,51	22,1	1,3
	6	0,555	21,4	1,6	0,405	21	1,5	0,6	24,1	1,6
	7	0,638	21,8	1,4	1,01	21,6	1,2	0,638	22,4	1,2
	8	0,825	21,1	1,6	0,6	23,7	1,2	0,78	21,8	1,3
	9		20,8			20,3			21,4	
	10		22,1			21,4			23,5	
	11		22,2			21			23,2	
	12		17,9			20,8			19,1	
	13		20			22,6			21,7	
	14		19,8			21,6			19,9	
Окно	15	1,81	16,5		2,54	16,9		1,81	15,7	
Отопительный прибор	16	0,3	41,5		0,3	42,3		0,3	44,5	
Внутренняя стена	17	7,3	23		12,3	24,2		10,6	24,6	
	18	7,57	24		7,57	24,1		7,57	24,5	
	19	7,3	24		12,3	24		10,6	24,8	
Пол	20	9,2	23,8		15,6	24,5		13,4	24,3	
Потолок	21	9,2	23,9		15,6	24,5		13,4	23,7	

Анализ полученных результатов измерений (табл. 1) показывает, что по мере приближения к краевым зонам температура на внутренней поверхности наружных стен снижается по сравнению с гладью ограждений. Минимальная температура на внутренней поверхности стены наблюдается в краевых зонах сопряжений наружной стены с внутренними стенами и междуэтажными перекрытиями: в помещении 1 – 17,9 °С (точка 12); в помещении 2 – 20,3 °С (точка 9); в помещении 3 – 19,1 °С (точка 12). В зоне размещения отопительных приборов и стояков отопления температура повышается по сравнению с гладью стены. Максимальная температура на внутренней поверхности стены отмечается в зоне размещения стояков отопления: в помещении 1 – 22,5 °С (точки 1, 4); в помещении 2 – 23,7 °С (точка 8); в помещении 3 – 24,1 °С (точка 6). Температура на внутренней поверхности остекления меняется от 15,7 °С (в помещении 3) до 16,9 °С (в помещении 2). Температура на внутренней поверхности отопительного прибора меняется от 41,5 °С (в помещении 1) до 44,5 °С (в помещении 3). Температура на поверхности внутренних стен, пола и потолка близка к температуре воздуха в помещениях.

Минимальное влагосодержание внутреннего поверхностного слоя наружной стены наблюдается в зоне прохождения стояков отопления: в помещении 1 – 1,3 % (точка 1); в помещении 2 – 1,2 % (точки 7, 8); в помещении 3 – 1 % (точка 1), что полностью согласуется с физикой процесса совместного тепловлагоденоса. Максимальное влагосодержание отмечается в краевой зоне сопряжения наружной стены с междуэтажным перекрытием (рис. 1). Среднее влагосодержание внутреннего поверхностного слоя наружных стен соответствует условиям эксплуатации, принятым в проектной документации.

Результаты сравнения измеренных (фактических) и нормируемых параметров микроклимата жилых помещений приведены в табл. 2.

Таблица 2. Сравнение измеренных и нормируемых параметров микроклимата жилых помещений

Параметр	Фактические значения параметра для жилого помещения			Нормируемые значения параметра
	1	2	3	
1. Температура воздуха, °С	23,7	24,7	24,9	20...22 (18...24)
2. Результирующая температура, °С	23,5	24,3	24,5	19...20 (17...23)
3. Относительная влажность, %	45,8	43,6	39,8	30...45 (не более 60)
4. Скорость движения воздуха, м/с	0,01	0,03	0,04	не более 0,15 (не более 0,2)
5. Приведенный температурный перепад, °С, между температурами внутреннего воздуха и внутренней поверхности наружной стены	3,46	3,74	3,44	не более 4,0
6. Приведенная минимальная температура наружной стены в краевой зоне, °С	10,8	13,3	11,2	не ниже 9,28
7. Приведенная температура внутренней поверхности окна (в зоне остекления), °С	8,55	8,06	6,01	не ниже 3,0

Примечания

1. Параметры 5–7 приведены к расчетным условиям согласно ГОСТ 26254–84.

2. Значения параметров 1–4, приведенные в скобках, соответствуют допустимым нормам микроклимата.

3. Нормируемое значение параметра 6 соответствует температуре точки росы внутреннего воздуха при температуре 20°С и относительной влажности 50 % для жилых зданий (СП 54.13330.2011).

Из табл. 2 видно, что параметры микроклимата в жилых комнатах отвечают оптимальным нормам по скорости движения воздуха, а также оптимальным (помещения 2, 3) и допустимым (помещение 1) нормам по относительной влажности воздуха. Вместе с тем следует отметить, что в ряде жилых комнат температура воздуха и результирующая температура выше допустимых значений, что указывает на перегрев. Обеспечение в жилых помещениях температуры воздуха в пределах оптимальных параметров может быть достигнуто за счет регулирования расхода теплоносителя в системе отопления, а также с помощью имеющихся в квартире автономных стеновых воздушных клапанов с регулируемым открыванием. Наружные ограждающие конструкции жилых комнат отвечают требованиям тепловой защиты согласно СНиП 23–02–2003 в части санитарно-гигиенического показателя. Таким образом, в процессе эксплуатации указанной квартиры обеспечены безопасные условия для проживания в соответствии с Федеральным законом № 384–ФЗ.

Используем полученные результаты натурных измерений для тестирования метода расчета температурно-влажностного режима ограждающих конструкций [17–21].

Выполним расчет температурно-влажностного режима фрагмента теплозащитной оболочки здания – узла сопряжения наружной стены с внутренней (рис. 2). Расчет выполнен по компьютерной программе [19] при фактических параметрах микроклимата помещений и наружного климата. Теплофизические характеристики материалов ограждающих конструкций рассчитаны по методике [20] на основе данных проектной документации. Граничные условия теплообмена поверхностей ограждающих конструкций с окружающей средой приняты в соответствии с [20]. Начальные условия соответствуют моменту ввода конструкции в эксплуатацию.

Результаты расчета температурно-влажностного режима рассматриваемого фрагмента теплозащитной оболочки здания приведены на рис. 3 в виде графиков распределения температуры (рис. 3, а) и влагосодержания (рис. 3, б) по внутренней поверхности краевой зоны, полученных путем обработки данных интерполяцией кубическими сплайнами [22] (сплошные линии). На том же рисунке маркерами показаны результаты натурных измерений. Координатная ось направлена от стыка наружной стены с внутренней к глади наружной стены вдоль внутренней поверхности конструкции. Согласно расчету минимальная температура (18,8 °С) отмечается на стыке ограждений (рис. 3, а). По мере удаления от стыка температура повышается, достигая 23,5 °С по глади наружной стены. Максимальное влагосодержание (1,9 %) отмечается также на стыке ограждений (рис. 3, б). По мере удаления от стыка влагосодержание уменьшается до 1,2 % по глади наружной стены.

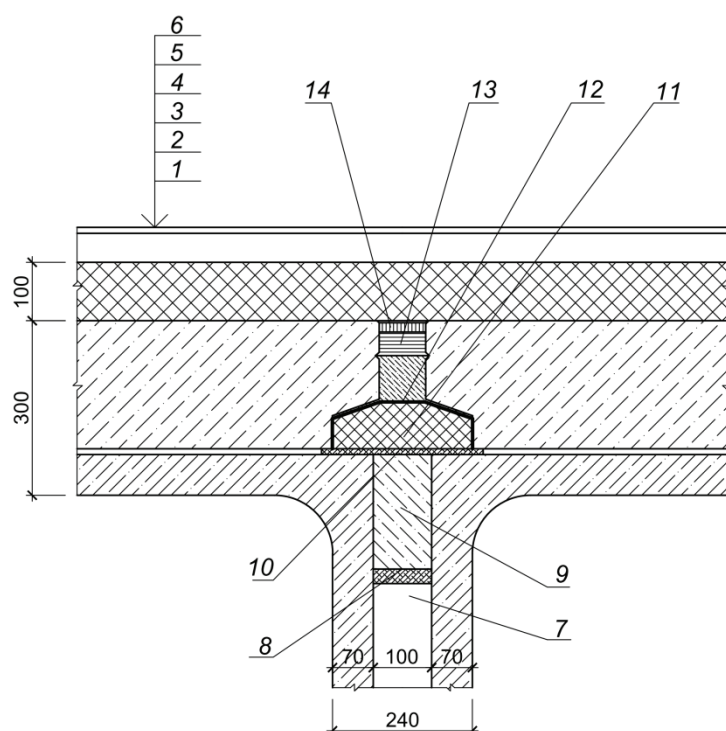


Рисунок 2. Схема проектного решения узла сопряжения наружной стены с внутренней (крепление облицовки фасада условно не показано):
 1 – наружная облицовка;
 2 – вентилируемая воздушная прослойка;
 3 – эффективный утеплитель;
 4 – навесная панель из керамзитобетона;
 5 – цементно-песчаный раствор;
 6 – железобетонная конструкция объемного блока;
 7 – замкнутая воздушная прослойка;
 8 – деревянная рейка;
 9 – бетонная шпонка;
 10 – герметизирующая прокладка;
 11 – теплоизоляционный вкладыш;
 12 – воздухозащитная лента;
 13 – заделка устья стыка бетоном;
 14 – защитное покрытие стыка

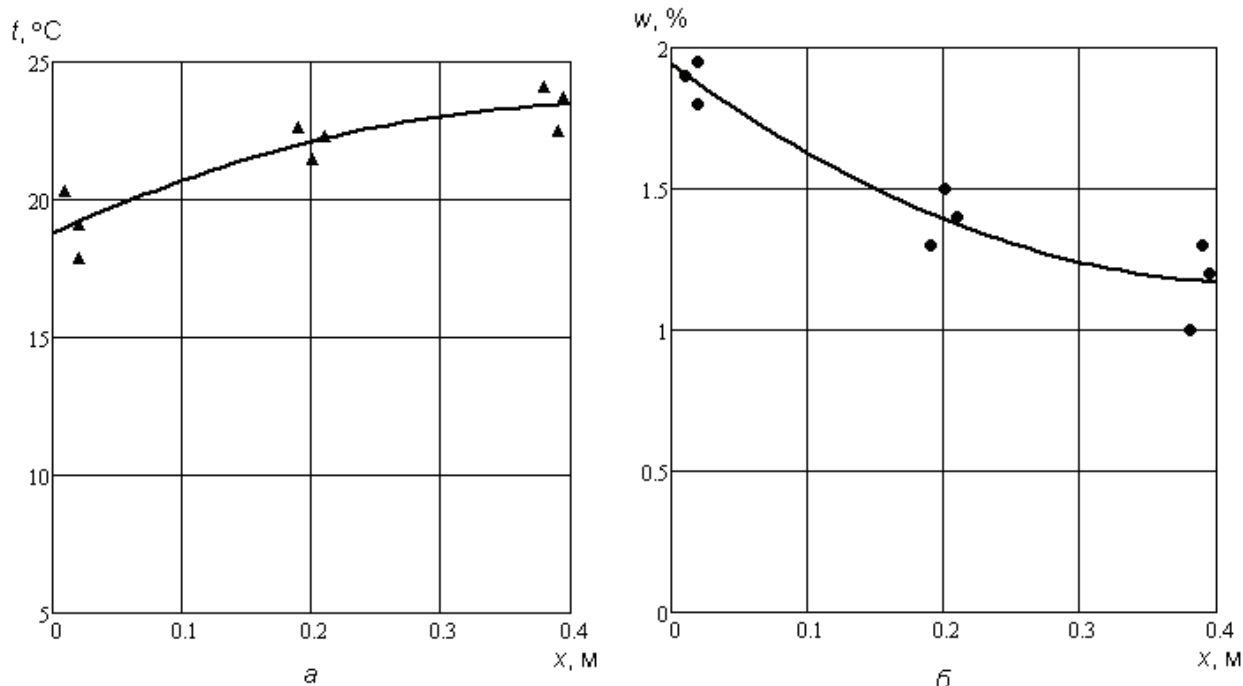


Рисунок 3. Графики распределения температуры (а) и влагосодержания (б) по внутренней поверхности узла сопряжения наружной стены с внутренней

Сравнение результатов расчета, полученных в компьютерной программе [19], с данными натуральных измерений показывает их хорошее согласование. Максимальная относительная ошибка функций температуры $t(x)$ и влагосодержания $w(x)$ на данных узлах составляет соответственно 6,9 и 15 %.

Проведенное тестирование разработанного метода расчета температурно-влажностного режима ограждающих конструкций на результатах натуральных измерений параметров микроклимата помещений подтверждает его достоверность, что позволяет использовать указанный метод в проектной практике.

Корниенко С.В. Тестирование метода расчета температурно-влажностного режима ограждающих конструкций на результатах натуральных измерений параметров микроклимата помещений

Литература

1. Богословский В. Н. Тепловой режим здания. М.: Стройиздат, 1979. 248 с.
2. Лыков А. В. Теоретические основы строительной теплофизики. Минск: Издательство АН БССР, 1961. 520 с.
3. Франчук А. У. Вопросы теории и расчета влажности ограждающих частей зданий. М.: Госстройиздат, 1957. 188 с.
4. Александровский С. В. Долговечность наружных ограждающих конструкций. М.: НИИСФ РААСН, 2003. 332 с.
5. Фокин К. Ф. Строительная теплотехника ограждающих частей зданий / Под ред. Ю.А. Табунщикова, В.Г. Гагарина. 5-е изд., пересмотр. М.: АВОК-ПРЕСС, 2006. 256 с.
6. Ильинский В. М. Строительная теплофизика (ограждающие конструкции и микроклимат зданий). М.: Высшая школа, 1974. 320 с.
7. Лукьянов В. И. Нестационарный массоперенос в строительных материалах при решении проблемы повышения защитных качеств ограждающих конструкций зданий с влажным и мокрым режимом: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.23.01. М.: 1993. 48 с.
8. Гагарин В. Г. Теория состояния и переноса влаги в строительных материалах и теплозащитные свойства ограждающих конструкций зданий: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.23.01, 05.23.03. М.: НИИСФ РААСН, 2000. 48 с.
9. Ананьев А. И. Научно-технические основы повышения теплозащитных качеств и долговечности наружных ограждающих конструкций зданий из штучных материалов: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.23.01, 05.23.03. М.: НИИСФ РААСН, 1998. 40 с.
10. Перехоженцев А. Г. Теоретические основы и методы расчета температурно-влажностного режима ограждающих конструкций зданий. Научное издание. Волгоград: ВолгГАСУ, 2008. 212 с.
11. Кришер О. Научные основы техники сушки. М.: Издательство иностранной литературы, 1961. 540 с.
12. 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.
13. Гринфельд Г. И., Морозов С. А., Согомонян И. А., Зырянов П. С. Влажностное состояние современных конструкций из автоклавного газобетона в условиях эксплуатации // Инженерно-строительный журнал. 2011. № 2 (20). С. 33–38.
14. Rode C., Burch D. M. Empirical validation of a transient computer model for combined heat and moisture transfer // Thermal Performance of the Exterior Envelopes of Building VI, December 4–8. Clearwater Beach, FL: 1995. Pp. 283–295.
15. Künzl H. M., Kießl K. Calculation of heat and moisture transfer in exposed building components // International Journal of heat and mass transfer. 1997. No. 1. Pp. 159–167.
16. Künzl H. M. Simultaneous Heat and Moisture Transport in Building Components: One- and two-dimensional calculation using simple parameters. Stuttgart: IRBVerl., 1995. 65 p.
17. Корниенко С. В. Потенциал влажности для определения влажностного состояния материалов наружных ограждений в неизотермических условиях // Строительные материалы. 2006. № 4. С. 88–89.
18. Корниенко С. В. Решение трехмерной задачи совместного нестационарного тепло- и влагопереноса для ограждающих конструкций зданий // Строительные материалы. 2007. № 10. С. 54–55.
19. Корниенко С. В. Совместный влаготеплоперенос (СОВТ) / Свидетельство № 2011611175 о государственной регистрации программы для ЭВМ. М.: ФИПС, 2011.
20. Корниенко С. В. Методы инженерной оценки влажностного режима ограждающих конструкций на основе теории потенциала влажности. Научное издание. Волгоград: ВолгГАСУ, 2011. 100 с.
21. Корниенко С. В. Оценка влияния краевых зон ограждающих конструкций на теплозащиту и энергоэффективность зданий // Инженерно-строительный журнал. 2011. № 8 (26). С. 5–12.
22. Гурский Д. А. Вычисления в MathCAD. Минск: Новое знание, 2003. 814 с.

**Сергей Валерьевич Корниенко, Волгоград, Россия*

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

doi: 10.5862/MCE.28.3

Testing of calculation method of the enclosing structures temperature-humidity conditions on the results of indoor climate in-situ measurements

S. V. Korniyenko

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

Keywords

temperature-humidity conditions of enclosing structures; indoor climate parameters; computer program

Abstract

The problem of energy expenses decreasing and buildings energy efficiency growth is closely connected with necessity of heat and mass exchange processes research, forecasting of the enclosing structures temperature-humidity conditions and increasing of heat engineering calculations reliability.

In this article the results of indoor climate parameters in-situ measurements are used for testing the method of temperature-humidity conditions calculation in three-dimensional areas of enclosing structures developed by the author. Testing of this method confirms its veracity that allows to use the specified method in design practice.

References

1. Bogoslovskiy V.N. *Teplovoy rezhim zdaniya* [A thermal mode of a building]. Moscow: Stroyizdat, 1979. 248 p. (rus)
2. Lykov A.V. *Teoreticheskiye osnovy stroitelnoy teplofiziki* [Theoretical bases of building thermophysics]. Minsk: Izdatelstvo AN BSSR, 1961. 520 p. (rus)
3. Franchuk A.U. *Voprosy teorii i rascheta vlazhnosti ograzhdayushchikh chastey zdaniy* [Questions of the theory and calculation of humidity of enclosing structures]. Moscow: Gosstroyizdat, 1957. 188 p. (rus)
4. Aleksandrovskiy S.V. *Dolgovechnost naruzhnykh ograzhdayushchikh konstruksiy* [Durability of enclosing structures]. Moscow: NIISF RAASN, 2003. 332 p. (rus)
5. Fokin K.F. *Stroitelnaya teplotekhnika ograzhdayushchikh chastey zdaniy* [Building thermophysics of enclosing structures]. Moscow: AVOK-PRESS, 2006. 256 p. (rus)
6. Ilinskiy V.M. *Stroitelnaya teplofizika (ograzhdayushchiye konstruksii i mikroklimat zdaniy)* [Building thermophysics (enclosing structures and microclimate parameters for indoor enclosures)]. Moscow: Vysshaya shkola, 1974. 320 p. (rus)
7. Lukyanov V.I. *Nestatsionarnyy massoperenos v stroitelnykh materialakh pri reshenii problemy povysheniya zashchitnykh kachestv ograzhdayushchikh konstruksiy zdaniy s vlazhnym i mokrym rezhimom* [Non-stationary mass transfer in construction at a solution of a problem for increase of protective qualities of enclosing structures with a damp and wet mode]: The author's abstract of the dissertation of a Dr. Sci. Tech.: 05.23.01. Moscow, 1993. 48 p. (rus)
8. Gagarin V.G. *Teoriya sostoyaniya i perenosa vlagi v stroitelnykh materialakh i teplozashchitnyye svoystva ograzhdayushchikh konstruksiy zdaniy* [The theory of a condition and transfer of moisture in construction materials and heat-shielding properties of enclosing structures]: The author's abstract of the dissertation of a Dr. Sci. Tech.: 05.23.01, 05.23.03. Moscow: NIISF RAASN, 2000. 48 p. (rus)
9. Ananyev A.I. *Nauchno-tekhnicheskiye osnovy povysheniya teplozashchitnykh kachestv i dolgovechnosti naruzhnykh ograzhdayushchikh konstruksiy zdaniy iz shtuchnykh materialov* [Scientific and technical bases of increase of heat-shielding qualities and durability of external enclosing structures of buildings from piece materials]: The author's abstract of the dissertation of a Dr. Sci. Tech.: 05.23.01, 05.23.03. Moscow: NIISF RAASN, 1998. 40 p. (rus)
10. Perekhozhentsev A.G. *Teoreticheskiye osnovy i metody rascheta temperaturno-vlazhnostnogo rezhima ograzh-dayushchikh konstruksiy zdaniy* [Theoretical bases and calculation methods of temperature-humidity conditions of enclosing structures]. Volgograd: VolgGASU, 2008. 212 p. (rus)
11. Krisher O. *Nauchnyye osnovy tekhniki sushki* [Scientific bases of technics of drying]. Moscow: Izdatelstvo inostrannoy literatury, 1961. 540 p. (rus)

Korniyenko S. V. Testing of calculation method of the enclosing structures temperature-humidity conditions on the results of indoor climate in-situ measurements

12. Gorshkov A. S., Vatin N. I., Glumov A. V. *Magazine of Civil Engineering*. 2011. No. 1 (19). Pp. 28—33. (rus)
13. Grinfeld G. I., Morozov S. A., Sogomonyan I. A., Zyryanov P. S. *Magazine of Civil Engineering*. 2011. No. 2 (20). Pp. 33—38. (rus)
14. Rode C., Burch D. M. Empirical validation of a transient computer model for combined heat and moisture transfer. *Thermal Performance of the Exterior Envelopes of Building VI*, December 4–8, Clearwater Beach, FL. 1995. Pp. 283—295.
15. Künzle H.M., Kießl K. Calculation of heat and moisture transfer in exposed building components. *International Journal of heat and mass transfer*. 1997. No. 1. Pp. 159—167.
16. Künzle H.M. *Simultaneous Heat and Moisture Transport in Building Components: One- and two-dimensional calculation using simple parameters*. Stuttgart: IRBVerl. 1995. 65 p.
17. Korniyenko S.V. *Construction materials*. 2006. No. 4. Pp. 88—89. (rus)
18. Korniyenko S.V. *Construction materials*. 2007. No. 10. Pp. 54—55. (rus)
19. Korniyenko S.V. *Sovmestnyy vlagoteploperenos (SOVT)* [The combined moisture- and heat conduction (SOVT)]. The Certificate No. 2011611175 about the state registration of the computer program. Moscow: FIIP, 2011. (rus)
20. Korniyenko S.V. *Metody inzhenernoy otsenki vlazhnostnogo rezhima ograzhdayushchikh konstruksiy na osnove teorii potentsiala vlazhnosti* [Methods of an engineering estimation of humidity conditions of enclosing structures on the basis of the moisture potential theory]. Volgograd: VolgGASU, 2011. 100 p. (rus)
21. Korniyenko S.V. *Magazine of Civil Engineering*. 2011. No. 8 (26). Pp. 5—12. (rus)
22. Gurskiy D.A. *Vychisleniya v MathCAD* [Calculations in MathCAD]. Minsk: Novoye znaniye, 2003. 814 p. (rus)

Full text of this article in Russian: pp. 18-23.