

Оценка влияния краевых зон ограждающих конструкций на теплозащиту и энергоэффективность зданий

*К.т.н., доцент С.В. Корниенко**

ФГБОУ ВПО Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет

Ключевые слова: энергоэффективность; теплопотери; краевые зоны ограждающих конструкций; компьютерная программа

Одним из приоритетных направлений в современном строительстве, отраженных в Федеральном законе РФ от 23.11.2009 г. № 261–ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации», Федеральном законе от 30.12.2009 г. № 384–ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений», национальных стандартах ГОСТ 31166–2003, ГОСТ 31167–2003, ГОСТ 31168–2003, сводах правил СНиП 23–02–2003, СНиП 31–01–2003 и других документах является обеспечение энергоэффективности зданий и сооружений. Эта задача может быть реализована путем совершенствования архитектурно-планировочных, конструктивных и инженерно-технических решений.

Особый интерес представляет оценка влияния температурно-влажностного режима ограждающих конструкций на теплозащиту и энергоэффективность здания. Анализ имеющихся в литературе данных показал отсутствие эффективных методов расчета температурно-влажностного режима в краевых зонах ограждающих конструкций, что затрудняет решение этой проблемы. В данной статье дана оценка влияния краевых зон на теплозащиту и энергоэффективность здания.

В разработку энергетической концепции проектирования зданий большой вклад внесли В.Н. Богословский [1, 2], Ю.А. Табунчиков [3, 4], В.К. Савин [5, 6], В.Г. Гагарин [7, 8], А.И. Ананьев [9], В.И. Прохоров [10], Ю.А. Матросов [11] и другие ученые. Следует также отметить работы [12–14]. Теплозащитные свойства и энергоэффективность зданий оценивают исходя из обеспечения нормируемого энергопотребления здания. Оценка энергоэффективности зданий производится по удельному энергопотреблению путем сравнения расчетного и нормируемого потребления энергии. При этом должно быть выполнено следующее условие:

$$q_{des} \leq q_{req}, \quad (1)$$

где q_{des} , q_{req} – соответственно расчетное и нормируемое удельное энергопотребление здания.

Очевидно, что чем меньше величина q_{des} , удовлетворяющая условию (1), тем выше энергоэффективность здания.

Анализ различных подходов к расчету энергопотребления зданий показал, что для оценки энергоэффективности здания удобно использовать комплексный показатель – удельный расход энергии q , МДж/(м³·год), на эксплуатацию здания за отопительный период, определяемый по формуле:

$$q = q_h + q_{hw} + q_e,$$

где q_h – удельный расход тепловой энергии на отопление;
 q_{hw} – удельный расход тепловой энергии на горячее водоснабжение;
 q_e – удельный расход электрической энергии.

Удельный расход тепловой энергии на отопление q_h определяют на основе теплового баланса здания за отопительный период по формуле:

$$q_h = q_{tr} + q_a - \eta(q_{int} + q_s),$$

где q_{tr} – удельные трансмиссионные теплопотери через оболочку здания;
 q_a – удельные теплопотери за счет вентиляции и инфильтрации воздуха;
 q_{int} – удельные внутренние бытовые тепловыделения;
 q_s – удельные теплопоступления за счет солнечной радиации;
 $\eta \leq 1$ – коэффициент использования суммарных теплопоступлений в здание.

Корниенко С.В. Оценка влияния краевых зон ограждающих конструкций на теплозащиту и энергоэффективность зданий

Для оболочки здания, состоящей из m ограждающих конструкций ($m \geq 1$), удельные трансмиссионные теплопотери q_{tr} определяют по формуле:

$$q_{tr} = \frac{1}{V_h} \sum_{i=1}^m Q_{Ti},$$

где V_h – отапливаемый объем здания;

Q_{Ti} – общие трансмиссионные теплопотери через i -ю конструкцию.

В [15] показано, что для практических расчетов общих трансмиссионных теплопотерь через ограждающую конструкцию за отопительный период целесообразно использовать формулу:

$$Q_{Ti} = \frac{0,0864 M_{ht} A_i}{R_{hi}^{con}} \left(1 + \sum_{j=1}^{l_i} \psi_{ij} \right), \quad (2)$$

где M_{ht} – градусосутки отопительного периода, определяемые по формуле:

$$M_{ht} = (t_{int} - t_{ht}) z_{ht},$$

где t_{int} – температура внутреннего воздуха;

t_{ht} – средняя температура наружного воздуха за отопительный период;

z_{ht} – продолжительность отопительного периода;

A_i – площадь i -й конструкции по внутренним размерам;

R_{hi}^{con} – сопротивление теплопередаче по глади i -й конструкции (с учетом положения конструкции относительно наружного воздуха);

l_i – число краевых зон в i -й конструкции;

$\psi_{ij} = k_{ij}^{ez} A_{ij}^{ez} / A_i$ – коэффициент добавочных теплопотерь через j -ю краевую зону i -й конструкции;

k_{ij}^{ez} , A_{ij}^{ez} – соответственно коэффициент влияния и площадь зоны влияния j -й краевой зоны i -й конструкции.

Под краевыми зонами мы понимаем локально неоднородные по геометрическим или теплофизическим параметрам участки ограждения. Параметры k_{ij}^{ez} и A_{ij}^{ez} определяются по температурному полю на основе разработанного автором метода расчета температурно-влажностного режима в трехмерных областях ограждающих конструкций зданий [16, 17].

Разработанный метод позволяет рассчитать общие теплопотери ограждения оболочки здания с учетом краевых зон. В отличие от метода [7], основанного на интегральной оценке теплозащитных свойств оболочки здания и теплопотерь без разделения отдельных неоднородностей между конструкциями, формула (2) позволяет определить теплопотери каждой конструкции оболочки здания и оценить вклад каждой краевой зоны в теплопотери конструкции.

Удельные теплопотери за счет вентиляции и инфильтрации воздуха q_a определяют по формуле:

$$q_a = 0,024 c_a \rho_a u_{ht} k_V M_{ht},$$

где c_a , ρ_a – соответственно удельная теплоемкость и плотность воздуха;

u_{ht} – средняя кратность воздухообмена здания за отопительный период, определяемая по формуле:

$$u_{ht} = k_R k_{ven} u_{ven} + (1 - k_{ven}) u_{inf},$$

где $k_R \leq 1$ – коэффициент, учитывающий снижение расхода вентиляционного воздуха при рекуперации и регенерации тепла;

k_{ven} – коэффициент использования вентиляции;

u_{ven} – средняя кратность воздухообмена в рабочее время;

u_{inf} – средняя кратность воздухообмена в нерабочее время;

k_V – коэффициент снижения объема воздуха в здании, учитывающий наличие внутренних ограждающих конструкций.

Удельные внутренние бытовые тепловыделения q_{int} определяют по формуле:

$$q_{int} = \frac{0,0864 z_{ht}}{V_h} \sum_{i=1}^n k_i^{int} Q_i^{int},$$

где n – число источников тепловыделений;

k_i^{int} – коэффициент использования тепловыделений i -го источника;

Q_i^{int} – суммарная мощность тепловыделений i -го источника.

Удельные тепlopоступления за счет солнечной радиации q_s определяют по формуле:

$$q_s = \frac{1}{V_h} \left(\sum_{i=1}^g \tau_i^{ver} I_i^{ver} A_i^{ver} + \tau^{hor} I^{hor} A^{hor} \right),$$

где g – число вертикальных поверхностей различной ориентации;

τ_i^{ver} , τ^{hor} – соответственно общий коэффициент пропускания солнечной радиации вертикальной и горизонтальной светопрозрачными конструкциями;

I_i^{ver} , I^{hor} – соответственно суммарная солнечная радиация при средних условиях облачности за отопительный период на вертикальную и горизонтальную поверхности;

A_i^{ver} , A^{hor} – соответственно площадь вертикальной и горизонтальной поверхностей.

На основе статистической обработки многолетних климатических данных по суммарной солнечной радиации при средних условиях облачности методом наименьших квадратов конечными рядами Фурье в [18] получены результаты, позволяющие определить тепlopоступления от солнечной радиации при различной продолжительности отопительного периода.

Удельный расход тепловой энергии на горячее водоснабжение здания q_{hw} определяют по формуле:

$$q_{hw} = \frac{10^{-3} k_{hw} c_w \rho_w q_{hwo} N_{hw} (t_{hw} - t_{cw}) z_{ht}}{V_h},$$

где $k_{hw} \leq 1$ – коэффициент использования расчетной нагрузки горячего водоснабжения;

c_w , ρ_w – соответственно удельная теплоемкость и плотность воды;

q_{hwo} – норма расхода горячей воды в средние сутки;

N_{hw} – число потребителей горячей воды;

t_{hw} , t_{cw} – соответственно температура горячей и холодной воды в отопительный период.

Удельный расход электрической энергии q_e определяют по формуле:

$$q_e = \frac{86,4 k_e q_{eo} N_e z_{ht}}{V_h},$$

где $k_e \leq 1$ – коэффициент использования расчетной электрической нагрузки;

q_{eo} – удельная расчетная электрическая нагрузка;

N_e – число потребителей электрической энергии.

Указанная методика расчета энергетических показателей реализована в компьютерной программе «Энергетический паспорт здания (ЭНПАС)». Программа позволяет производить расчет энергозатрат на эксплуатацию здания за отопительный период, включая затраты на отопление, горячее водоснабжение, электроснабжение (рис. 1). Энергозатраты на отопление включают трансмиссионные тепlopотери через оболочку здания с учетом краевых зон, тепlopотери за счет вентиляции и инфильтрации воздуха, внутренние бытовые тепловыделения, тепlopоступления от солнечной радиации.

Основными достоинствами разработанной компьютерной программы являются:

- возможность оценки энергоэффективности здания на стадии проектирования;
- учет всех составляющих энергопотребления здания за отопительный период;
- определение структуры трансмиссионных тепlopотерь через краевые зоны ограждающих конструкций;
- удобный пользовательский интерфейс, основанный на возможностях Delphi;
- хранение и накопление информации в базе данных;
- вывод результатов в удобном для пользователя виде.

Корниенко С.В. Оценка влияния краевых зон ограждающих конструкций на теплозащиту и энергоэффективность зданий

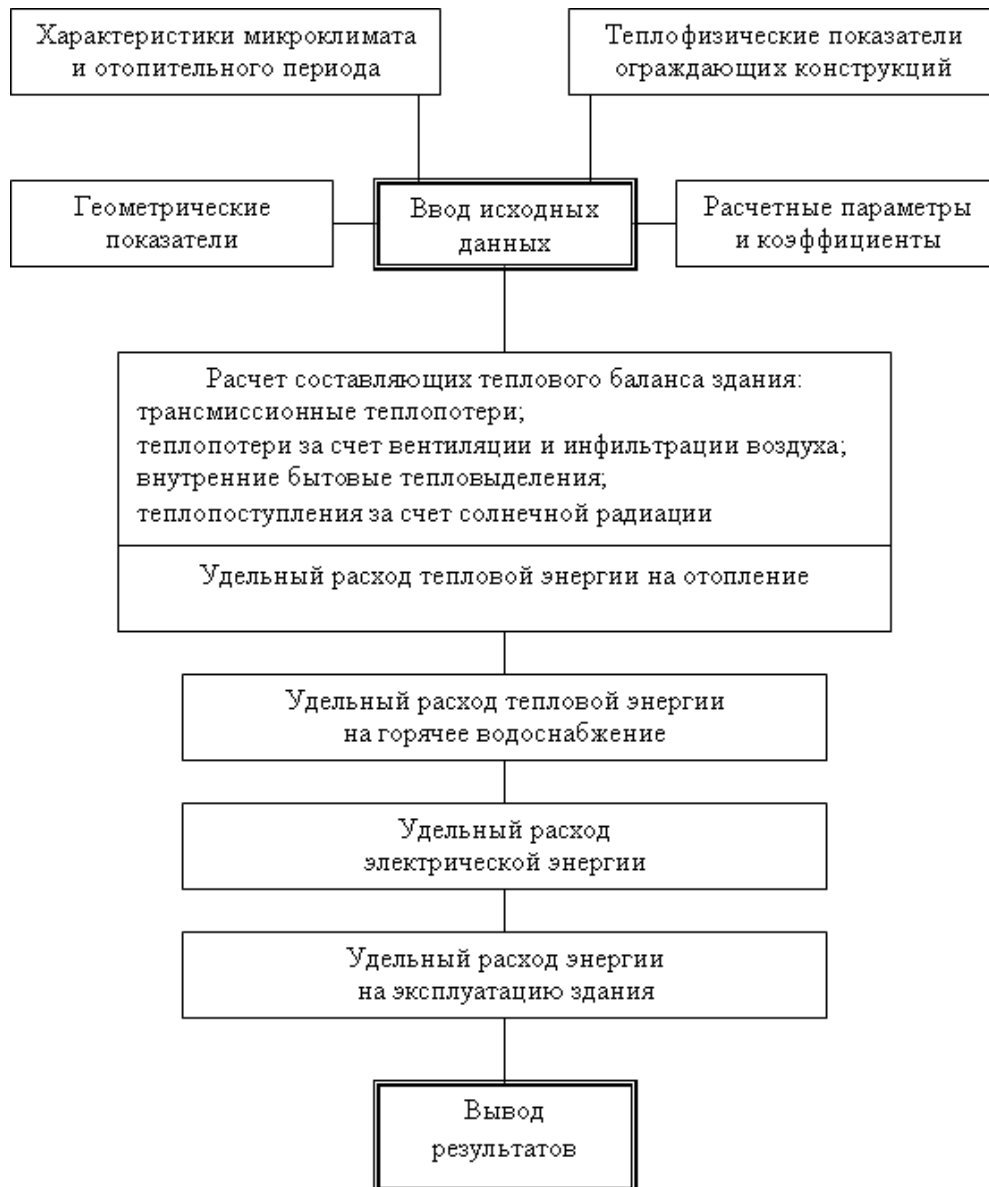


Рисунок 1. Принципиальная блок-схема алгоритма расчета энергетических показателей в компьютерной программе «ЭНПАС»

На основе разработанной методики выполним оценку влияния краевых зон ограждающих конструкций на теплопотери и энергоэффективность здания.

Рассмотрим жилое многоквартирное здание, имеющее квадратную форму в плане с размерами в осях $27,6 \times 27,6$ м. Количество этажей – 17. Место строительства – Волгоград. Конструктивная схема здания каркасная, с монолитным железобетонным каркасом. Наружные стены кирпичные трехслойные с эффективным утеплителем и поэтажным опиранием на перекрытия. Окна и балконные двери – в виде двухкамерных стеклопакетов в деревянных переплетах. Покрытие, перекрытия теплого чердака и перекрытие над техподпольем имеют эффективный утеплитель. Здание имеет автономное теплоснабжение и естественную вентиляцию.

Расчет энергетических показателей здания выполнен при следующих исходных данных: $t_{in}=20^{\circ}\text{C}$; $t_{nt}=-2,4^{\circ}\text{C}$; $z_{nt}=177$ сут/год; $V_f=38785$ м³; $u_{ven}=0,4$ ч⁻¹; $q_{hwo}=115$ л/(сут-ед. изм.); $q_{eo}=1,0$ кВт/(ед. изм.); $N_{hw}=N_e=140$ ед. изм.; $k_R=k_{ven}=k_{hw}=1$; $k_e=0,75$. Значения $q_{in}=17,3$ МДж/(м³-год) и $q_s=19,6$ МДж/(м³-год) рассчитаны в соответствии с проектом.

Условно разобьем оболочку здания на ограждающие конструкции ($m=6$): наружные стены ($A_1=4494 \text{ м}^2$, $R_{h1}^{con}=4,06 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$), окна и балконные двери ($A_2=1576 \text{ м}^2$, $R_{h2}^{con}=0,68 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$), входные двери ($A_3=55 \text{ м}^2$, $R_{h3}^{con}=0,78 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$), совмещенное покрытие ($A_4=412 \text{ м}^2$, $R_{h4}^{con}=4,22 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$), перекрытие теплого чердака ($A_5=381 \text{ м}^2$, $R_{h5}^{con}=3,68 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$), перекрытие над техподпольем ($A_6=793 \text{ м}^2$, $R_{h6}^{con}=3,68 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$).

Рассмотрим следующие варианты расчета: 0 (базовый) – без учета краевых зон; 1 и 2 – с различным конструктивным решением краевых зон.

В наружной стене выделим краевые зоны: углы; сопряжения наружной стены с внутренними стенами и междуэтажными перекрытиями; оконные откосы; теплопроводные включения.

В оконном блоке выделим краевые зоны: сопряжение стеклопакета со створкой; сопряжение коробки с наружной стеной.

Рассмотрим различные варианты конструктивного решения краевых зон.

Вариант 1: углы; сопряжения наружной стены с внутренними стенами и междуэтажными перекрытиями без теплоизоляционных вкладышей; теплопроводные включения в виде ребер жесткости колодцевой кладки; оконный блок с узкой коробкой.

Вариант 2: углы; сопряжения наружной стены с внутренними стенами и междуэтажными перекрытиями с теплоизоляционными вкладышами; теплопроводные включения в виде пластмассовых малотеплопроводных коннекторов; оконный блок с широкой коробкой.

Краевые зоны покрытия, перекрытий теплого чердака и перекрытия над техподпольем в обоих вариантах определены по проекту.

Коэффициенты добавочных теплопотерь ψ_{ij} для указанных вариантов краевых зон ограждающих конструкций определены по указанной выше методике.

В табл. 1 и 2 приведены удельные добавочные теплопотери по краевым зонам для рассмотренных вариантов конструктивного решения краевых зон.

Таблица 1. Удельные добавочные теплопотери по краевым зонам (вариант 1)

Ограждающая конструкция	Краевая зона	Коэффициент добавочных теплопотерь	Удельные добавочные теплопотери, МДж/(м ³ ·год)
Наружные стены	Угол наружных стен	0,021	0,21
	Сопряжение наружных стен с внутренними	0,0531	0,52
	Сопряжение с междуэтажными перекрытиями	0,186	1,82
	Оконные откосы	0,101	0,99
	Теплопроводные включения	0,517	5,06
Окна, балконные двери	Сопряжение стеклопакета со створкой	0,098	2,01
	Сопряжение коробки оконного блока с наружной стеной	0,053	1,08
Входные двери	Сопряжение стеклопакета со створкой	0,098	0,06
	Сопряжение коробки дверного блока с наружной стеной	0,053	0,03
Покрытие совмещенное	Сопряжение покрытия с наружными стенами	0,252	0,22
Перекрытие теплого чердака	Сопряжение перекрытия с наружными стенами	0,252	0,23
Перекрытие над техподпольем	Сопряжение перекрытия с наружными стенами	0,252	0,48

Таблица 2. Удельные добавочные теплотери по краевым зонам (вариант 2)

Ограждающая конструкция	Краевая зона	Коэффициент добавочных теплотер	Удельные добавочные теплотери, МДж/(м ³ ·год)
Наружные стены	Угол наружных стен	0,015	0,15
	Сопряжение наружных стен с внутренними	0,0158	0,15
	Сопряжение с междуэтажными перекрытиями	0,149	1,46
	Оконные откосы	0,0154	0,15
	Теплопроводные включения	0,052	0,51
Окна, балконные двери	Сопряжение стеклопакета со створкой		
	Сопряжение коробки оконного блока с наружной стеной		
Входные двери	Сопряжение стеклопакета со створкой		
	Сопряжение коробки дверного блока с наружной стеной		
Покрытие совмещенное	Сопряжение покрытия с наружными стенами	0,127	0,11
Перекрытие теплого чердака	Сопряжение перекрытия с наружными стенами	0,127	0,12
Перекрытие над техподпольем	Сопряжение перекрытия с наружными стенами	0,127	0,24

На основе полученных данных определены удельные трансмиссионные теплотери через ограждающие конструкции для указанных вариантов расчета (табл. 3).

Таблица 3. Удельные трансмиссионные теплотери через ограждающие конструкции

Ограждающая конструкция	Удельные трансмиссионные теплотери, МДж/(м ³ ·год), по вариантам расчета		
	0	1	2
Наружные стены	9,78	18,4	12,2
Окна, балконные двери	20,5	23,6	20,5
Входные двери	0,623	0,717	0,623
Покрытие совмещенное	0,862	1,08	0,972
Перекрытие теплого чердака	0,914	1,14	1,03
Перекрытие над техподпольем	1,90	2,38	2,14

Данные табл. 3 использованы для определения удельных трансмиссионных теплотер через оболочку здания. Результаты расчета удельных энергетических показателей здания за отопительный период представлены в табл. 4.

Таблица 4. Результаты расчета удельных энергетических показателей здания

Наименование показателя	Значение показателя, МДж/(м ³ ·год), по вариантам расчета		
	0	1	2
Теплопотери через оболочку здания	34,6	47,3	37,4
Теплопотери за счет вентиляции и инфильтрации воздуха	42,1	42,1	42,1
Внутренние бытовые тепlopоступления	17,3	17,3	17,3
Тепlopоступления за счет солнечной радиации	19,6	19,6	19,6
Расход тепловой энергии на отопление здания	39,8	52,5	42,6
Расход тепловой энергии на горячее водоснабжение	15,3	15,3	15,3
Расход электрической энергии	41,4	41,4	41,4
Расход тепловой и электрической энергии	96,5	109	99,3

Анализ полученных результатов показывает, что учет краевых зон по варианту 1 повышает трансмиссионные теплопотери через оболочку здания на 37 % (рис. 2). При этом расход тепловой энергии на отопление здания повышается на 32 %, а расход тепловой и электрической энергии на 13%.

Таким образом, температурно-влажностный режим в краевых зонах ограждений оказывает существенное влияние на энергопотребление здания. Поэтому в реальном проектировании необходимо учитывать это влияние.

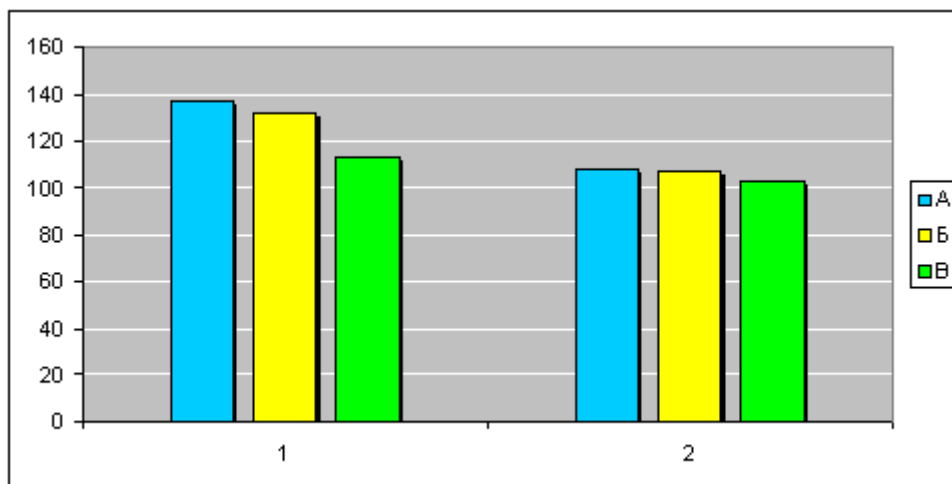


Рисунок 2. Структура удельных энергетических показателей здания (%) за отопительный период по вариантам расчета (1, 2): А – теплопотери через оболочку здания; Б – расход тепловой энергии на отопление здания; В – расход тепловой и электрической энергии

Энергоэффективность здания можно повысить за счет уменьшения влияния краевых зон на удельный расход энергии. Совершенствование конструктивного решения наружных ограждений (вариант 2) приводит к снижению трансмиссионных теплопотерь через оболочку здания на 29%, расхода тепловой энергии на отопление здания на 25%, расхода тепловой и электрической энергии на 10%. Сравнивая полученные результаты данного метода с другими мероприятиями по повышению энергоэффективности зданий, приведенными в СТО 17532043–001–2005, можно отметить, что совершенствование краевых зон ограждающих конструкций имеет высокий потенциал энергоэффективности.

Практическая значимость проведенных исследований подтверждена использованием компьютерной программы «ЭНПАС» при теплоэнергетическом сопровождении и энергоаудите ряда объектов жилищного строительства в Волгограде и Волгоградской области.

Литература

1. Богословский В. Н. Тепловой режим здания. М. : Стройиздат, 1979. 248 с.
2. Богословский В. Н. Три аспекта концепции ЗЭИЭ и особенности переходного периода // Проблемы строительной теплофизики и энергосбережения в зданиях: сб. докл. науч.-практ. конф. / под ред. В.Г. Гагарина / НИИСФ РААСН. М., 1997. Т. 1. С. 7– 9.
3. Табунчиков Ю. А., Бродач М. М. Математическое моделирование и оптимизация тепловой эффективности зданий. М. : АВОК-ПРЕСС, 2002. 194 с.
4. Табунчиков Ю. А., Бродач М. М., Шилкин Н. В. Энергоэффективные здания. М. : АВОК-ПРЕСС, 2003. 200 с.
5. Савин В. К. Строительная физика: энергоперенос, энергоэффективность, энергосбережение. М. : Лазурь, 2005. 432 с.
6. Савин В. К. Строительная физика. Энергоэкономика. М. : Лазурь, 2011. 418 с.
7. Гагарин В. Г., Козлов В. В. О нормировании теплотерь через оболочку здания // Academia. Архитектура и строительство. 2010. № 3. С. 279– 286.
8. Гагарин В. Г., Козлов В. В. Требования к теплозащите и энергетической эффективности в проекте актуализированного СНиП «Тепловая защита зданий» // Жилищное строительство. 2011. № 8. С. 2-6.
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 / НИИСФ РААСН. М., 1998. 40 с.
10. Прохоров В. И. Облик энергосбережения // Актуальные проблемы строительной теплофизики: сб. докл. 7-й науч.-практ. конф. Академические чтения / под ред. В. Г. Гагарина / НИИСФ РААСН. М., 2002. С. 73–93.
11. Матросов Ю. А. Энергосбережение в зданиях. Проблема и пути ее решения / НИИСФ РААСН. М., 2008. 496 с.
12. Майнерт З. Теплозащита жилых зданий. М. : Стройиздат, 1985. 208 с.
13. Файст В. Основные положения по проектированию пассивных домов. М. : АСВ, 2008. 144 с.
14. Самарин О. Д., Зайцев Н. Н. Влияние ориентации остекленных фасадов на суммарное энергопотребление жилых зданий // Инженерно-строительный журнал. 2010. № 8 (18). С. 16-20.
15. Корниенко С. В. Повышение энергоэффективности зданий за счет снижения теплотерь через краевые зоны ограждающих конструкций // Academia. Архитектура и строительство. 2010. № 3. С. 348–351.
16. Корниенко С. В. Решение трехмерной задачи совместного нестационарного тепло- и влагопереноса для ограждающих конструкций зданий // Строительные материалы. 2007. № 10. С. 54– 55.
17. Корниенко С. В. Совместный влаготеплоперенос (СОВТ) / Свидетельство № 2011611175 о государственной регистрации программы для ЭВМ. М. : ФИПС, 2011.
18. Корниенко С. В. Расчет теплотуплений от солнечной радиации за отопительный период // Жилищное строительство. 2010. № 6. С. 40– 41.

**Сергей Валерьевич Корниенко, Волгоград, Россия*

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