

## ТЕПЛОВЫЕ ПОТОКИ В ПАССИВНОЙ МНОГОСЛОЙНОЙ СОЛНЕЧНОЙ ПАНЕЛИ\*

*Р.А. Шепс, П.А. Головинский, Т.В. Щукина, С.А. Яременко*

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет» (ВГТУ)  
д. 14, Московский пр-т, Воронеж, 394026, Россия  
тел.: +7(960)131-66-01; e-mail: romansheps@yandex.ru

doi: 10.15518/isjaee.2018.07-09.055-062

Заключение совета рецензентов: 18.10.17 Заключение совета экспертов: 07.12.17 Принято к публикации: 31.01.18

Рассматривался вопрос о том, как при объективных финансовых ограничениях на этапах строительства и монтажа инженерных систем повысить энергоэффективность и экологическую безопасность зданий и сооружений за счёт малозатратного способа утилизации солнечной радиации, предполагающего пассивное преобразование в тепловую энергию в наружных ограждающих конструкциях. Несмотря на экономическую целесообразность таких систем отопления, ввиду низких показателей КПД по сравнению с активными гелиоустановками складывается мнение о возможности их использования только в тех климатических условиях, которые характеризуются мягким отопительным периодом. В этой связи анализировались известные и разрабатываемые строительные светопрозрачные, поглощающие, аккумулирующие и изолирующие материалы, наряду с возможностями по созданию многофункциональных наружных ограждений, которые могут расширить географию использования пассивных систем.

Для решения вопросов эффективной утилизации солнечного излучения фасадно-интегрированными панелями изучались нестационарные тепловые процессы, возникающие в многослойных наружных ограждениях зданий. Как показал анализ математических методов, для описания суточных изменений температуры в толще строительных конструкций следует применять теорию тепловых волн. Принцип суперпозиции температурных возмущений позволил выполнить расчет переноса тепла в многослойных наружных ограждениях. Для сравнительной оценки влияния солнечной радиации в климатических условиях Воронежской области (52 ° с.ш.) на двухслойную конструкцию и четырехслойную, состоящую из стеклопакета, воздушной прослойки, железобетона, воздушной прослойки, утеплителя и защищенную с внешней стороны стеклопакетом, выполнены расчеты. В январе при температуре наиболее холодной пятидневки –24 °С среднесуточные потери теплоты через площадь поверхности 1 м<sup>2</sup> двухслойной наружной стены составляют 6 Вт/м<sup>2</sup>, а при тех же погодных условиях четырехслойная солнечная панель в среднем отдает в обогреваемое помещение 36,3 Вт/м<sup>2</sup>, при этом максимальные значения теплового потока достигаются за 18 часов. Расчетные данные подтвердили целесообразность применения пассивных солнечных панелей при низких температурах холодного периода года, а учитывая незначительные затраты на обустройство по сравнению с активными гелиосистемами и существующие тенденции фасадного остекления, был сделан вывод о необходимости использования этих панелей для повышения энергоэффективности зданий.

Ключевые слова: энергосбережение; солнечная энергия; энергоэффективность; пассивные солнечные панели; энергоактивные ограждающие конструкции; тепловой поток.

## HEAT FLUX IN A PASSIVE MULTI-LAYERED SOLAR PANEL

*R.A. Sheps, P.A. Golovinsky, T.V. Shchukina, S.A. Yaremenko*

Voronezh State Technical University  
14 Moscow Ave., Voronezh, 394026, Russia  
tel. : +7 (960) 131 66 01; e-mail: romansheps@yandex.ru

\* Шепс Р.А., Головинский П.А., Щукина Т.В., Яременко С.А. Тепловые потоки в пассивной многослойной солнечной панели // Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология» (ISJAEE). 2018;(07-09):55-62.

The paper deals with the question concerning the increase in buildings and structures energy efficiency and environmental safety at the construction and installation of engineering systems with financial constraints. We suggest solving this problem with low-cost method of solar radiation utilization which implies the passive thermal energy transformation into external fencing structures. In spite of the economic expedience of such heating systems, there is an opinion that they are suitable only for climatic conditions characterized by a mild heating period due to low efficiency indicators in comparison with the active solar power plant. As regards this, the paper analyzes the well-known and new building translucent, absorbing, accumulating and insulating materials along with the possibilities to create the multifunctional external fences that can expand the geography of the use of passive systems.

We have studied the nonstationary thermal processes arising in multilayer external fences of buildings in order to solve the problems of effective solar radiation utilization by facade integrated panels. The analysis of mathematical methods has shown that theory of thermal waves should be used to describe the diurnal temperature changes inside building structures. The principle of temperature frequency superposition principle has made it possible to calculate the heat transfer in multilayer external panes. In Voronezh region climatic conditions ( $52^\circ$ ), we have evaluated the solar radiation effect on a two-layer and a four-layer structure consisting of a glass unit, an air layer, reinforced concrete and heater, protected from the outside by double-glass unit. In January at temperature  $-24^\circ\text{C}$  of the coldest five-day period, the average daily heat losses through the surface area of  $1\text{ m}^2$  of the two-layer outer wall are  $6\text{ W / m}^2$ , and under the same weather conditions an average heat flux through the surface area of  $1\text{ m}^2$  of the four-layer solar panel is of  $36.3\text{ W / m}^2$ ; the maximum values of the heat flux are achieved in 18 hours. The presented data confirm the expedience of passive solar panels use in case of low temperatures during the cold period of a year. Moreover, considering the facade glazing trends and low cost of the passive solar panels in contrast with the active solar systems, we concluded that they should be used for increase in energy efficient of buildings.

Keywords: energy saving; solar energy; energy efficiency; passive solar panels; energy-efficient enclosing structures; heat flux.



Роман Александрович Шепс  
Roman Sheps

**Сведения об авторе:** ассистент кафедры жилищно-коммунального хозяйства, Воронежский государственный технический университет.

**Образование:** Воронежский государственный архитектурно-строительный университет («Теплогоснабжение и вентиляция») (2010 г.).

**Область научных интересов:** энергосбережение; энергоэффективность; альтернативные источники энергии; отопление; вентиляция; строительная теплофизика.

**Публикации:** 13.  
*h*-index: 2.

**Information about the author:** Assistant at the Department of Housing and Communal Services, Voronezh State Technical University.

**Education:** Voronezh State University of Architecture and Construction (Heat And Ventilation), 2010.

**Research interests:** energy saving; energy efficiency; alternative energy sources; heating; ventilation; building thermal physics.

**Publications:** 13.



Павел Абрамович Головинский  
Pavel Golovinsky

**Сведения об авторе:** д-р физ.-мат. наук, профессор кафедры инноватики и строительной физики, Воронежский государственный технический университет; преподавал в университете им. Лавала (Квебек, Канада), Лаборатории атомной и молекулярной физики им. Эмми Коттон (Орсэ, Франция) и др.

**Образование:** Воронежский государственный университет по специальности физика (1977 г.).

**Область научных интересов:** теоретическая физика; оптика; математические модели сложных систем; строительные технологии.

**Публикации:** 290.  
*h*-index: 8

**Information about the author:** D.Sc. in Physics and Mathematics, Professor of the Department of Innovation and Building Physics, Voronezh State Technical University; worked as a Visiting Professor at the University Laval (Quebec, Canada), Laboratory of Atomic and Molecular Physics Emmy Cotton (Orsay, France) etc.

**Education:** Voronezh State University with a degree in Physics, 1977.

**Research interests:** theoretical physics; optics; mathematical models of complex systems; construction technologies.

**Publications:** 290.



Сергей Анатольевич  
Яременко  
Sergey Yaremenko

**Сведения об авторе:** канд. техн. наук, доцент, заведующий кафедрой жилищно-коммунального хозяйства, Воронежский государственный технический университет.

**Образование:** Воронежский государственный архитектурно-строительный университет («Теплогазоснабжение и вентиляция») (2005 г.).

**Область научных интересов:** теоретическая и прикладная теплофизика; акустика; моделирование строительных систем; техносферная безопасность; системы обеспечения микроклимата.

**Публикации:** 59.  
*h*-index: 6

**Information about the author:** Ph.D. in Engineering, Associate Professor, Head of the Department of Housing and Communal Services, Voronezh State Technical University.

**Education:** Voronezh State University of Architecture and Construction (Heat and Ventilation), 2005.

**Research interests:** theoretical and applied physics; acoustics modeling; building systems; technosphere safety; microclimate systems.

**Publications:** 59.



Татьяна Васильевна  
Шукина  
Tatyana Shchukina

**Сведения об авторе:** канд. техн. наук, профессор кафедры жилищно-коммунального хозяйства, Воронежский государственный технический университет.

**Образование:** Воронежский инженерно-строительный институт по специальности («Теплогазоснабжение и вентиляция») (1986 г.).

**Область научных интересов:** утилизация солнечной энергии; производство биогаза; экология урбанизированных территорий.

**Публикации:** 200.  
*h*-index: 6.

**Information about the author:** Ph.D. in Engineering, Professor, Voronezh State Technical University, Professor of the Department of Housing and Communal Services.

**Education:** Voronezh Civil Engineering Institute (Heat and Ventilation), 1986.

**Research interests:** utilization of solar energy; biogas production; ecology of the urbanized territories.

**Publications:** 200.

## 1. Введение

Действующее законодательство Российской Федерации в сфере энергосбережения создает благоприятные условия для применения альтернативных источников энергии. Одним из наиболее перспективных и повсеместно доступных возобновляемых ресурсов является солнечная радиация, поэтому основы гелиоэнергетики в настоящее время достаточно хорошо известны и опробованы на практике [1]. Однако инженерные расчеты и методики в основном используют стационарные тепловые режимы, что не всегда точно позволяет описать физические процессы. Например, при эксплуатации энергоэффективных зданий и сооружений происходят суточные колебания температуры наружного воздуха и потока солнечной энергии, поэтому перенос тепла в ограждающих конструкциях не является стационарным. В целом проблема переноса тепла в сложных конструкциях исключительно важна при принятии инженерных решений, в том числе, для так называемых солнечных фасадов, в которых определенным образом организовано пропускание, отражение, поглощение, аккумулирование и передача солнечного тепла внутрь здания [2, 3].

Снижение энергопотребления является устойчивой тенденцией для жилых и коммерческих зданий и может быть обеспечено путем утилизации и сохранения тепловой энергии в различных накопителях (вода, строительные материалы и т.д.). Применение

интегрируемых в наружные стены систем данного класса с воздушной прослойкой и внешним остеклением возможно при вентилируемых и невентилируемых фасадах [4]. Кроме того, среди имеющихся решений следует выделить гипсово-бетонные панели с воздушными пустотами [5]. Зависимость тепловых потоков от времени для таких многослойных конструкций вполне успешно определяется экспериментально [6], в то время как их теоретическое описание не вполне удовлетворяет практике.

В предлагаемой авторами данной статьи пассивной системе утилизации солнечной энергии предполагается наличие четырех слоев: утеплитель, слой воздуха, бетон, слой воздуха [7], – с внешней стороны защищенных прозрачным для солнечного излучения стеклопакетом. Задачу теплопередачи в такой конструкции необходимо решать с учетом периодического изменения в течение суток наружной температуры и теплового потока, который поглощается главным образом на границе раздела внешней воздушной прослойки с ограждающей конструкцией. В качестве общего подхода к решению нестационарных задач теплопроводности взят метод наложения температурных полей [8], который впервые позволил получить распределение температуры и тепловых потоков для многослойных ограждений с учетом не только конвективного теплообмена, но и поглощения солнечного излучения на внешней поверхности аккумулирующего слоя. Расчетное прогнозирование утилизируемой солнечной радиации, выполняемое



по предлагаемому алгоритму, может иметь большее ее извлечение, если конструкцию солнечной панели

модифицировать в соответствии с предложенным техническим решением [9].

Список обозначений	
<u>Буквы латинского алфавита</u>	
$a, b$	Постоянные коэффициенты
$c$	Удельная теплоемкость, Дж/(кг·°C)
$i$	Мнимая единица комплексного числа
$K$	Коэффициент теплообмена лучистой энергией
$q$	Плотность, Вт/м <sup>2</sup>
$T$	Температура, °C
$u(x)$	Пространственная часть тепловой волны
<u>Буквы греческого алфавита</u>	
$\alpha$	Коэффициент теплоотдачи
$\beta$	Коэффициент затухания
$\gamma$	Введенный параметр
$\lambda$	Теплопроводность среды
$\rho$	Объемная плотность
$\omega$	Частота теплового возмущения
<u>Индексы нижние</u>	
$ext$	Окружающая среда

## 2. Основные уравнения температурных волн

Одномерное распространение тепла в плоском слое теплопроводящей среды описывается уравнением теплопроводности [10]:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\lambda}{c\rho} \frac{\partial^2 T}{\partial x^2}, \quad (1)$$

где  $\lambda$  – теплопроводность среды;  $c$  – удельная теплоемкость;  $\rho$  – объемная плотность. Уравнение (1) сопровождается начальными и граничными условиями, задающими, в свою очередь, условия теплообмена с окружающей средой или соседними слоями вещества [8]. На стыке слоев ( $x = 0$ ) выполняется условие теплового контакта, то есть равенства температур и равенства тепловых потоков:

$$T|_{x=0} = T|_{x=+0}, \quad (2)$$

$$\lambda_1 \frac{\partial T}{\partial x} \Big|_{x=0} + K(T_{ext}(t) - T(-0, t)) = \lambda_2 \frac{\partial T}{\partial x} \Big|_{x=+0} + q(t), \quad (3)$$

где учтено, что на границе материалов внутри конструкции поглощается дополнительный тепловой поток с плотностью  $q(t)$ , вызванный солнечным излучением;  $K$  – коэффициент теплообмена лучистой энергией;  $T_{ext}(t)$  – температура окружающей среды. Теплообмен на поверхности ограждения учитывается с помощью следующего граничного условия:

$$\alpha(T_{ext}(t) - T(-0, t)) = \lambda_2 \frac{\partial T}{\partial x} \Big|_{x=0}. \quad (4)$$

При этом  $T_{ext}(t)$  может быть температурой наружного воздуха для внешней границы конструкции или постоянной температурой внутри помещения  $T_0$ .

Следствием линейности уравнения теплопроводности и линейных граничных условий является принцип суперпозиции температурных возмущений [8], который позволяет представить исходную задачу в виде совокупности двух более простых задач. Первая задача является стационарной и учитывает все стационарные составляющие в граничных условиях; вторая – квазистационарной и описывает установившиеся колебательные режимы с учетом периодически меняющейся со временем температуры наружного воздуха  $T_{ext}(t) = T_{ext} + \Delta T \cos(\omega t)$  и потока излучения, поглощаемого внутри конструкции на границе раздела сред  $q(t) = q_0(1 + \cos(\omega t))$ . Квазистационарный режим в слое толщиной  $l$  устанавливается спустя некоторое время  $t$ , определяемое коэффициентом Фурье  $Fo = \lambda t / (c\rho l^2) \sim 1$ , за которое начальное температурное распределение переходит в стационарное.

## 3. Расчет переноса тепла в многослойной конструкции

Стационарная часть расчета с учетом перепада температур внутри и снаружи панели и постоянного потока тепла на внутренней границе слоев решается с учетом кусочной линейности. Полное решение находится в виде совокупности линейных функций  $T_k = a_k x + b_k$ . После подстановки этих решений в граничные условия получаем систему линейных уравнений для определения постоянных коэффициентов  $a_k, b_k$ .



Для решения нестационарной части задачи необходимо перейти к комплексному представлению [10] и найти решение в виде комплексной функции:

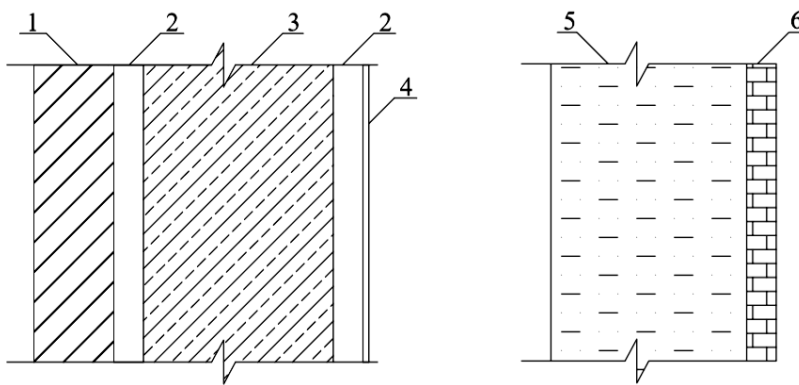
$$T(x, t) = u(x)e^{i\omega t}, \quad (5)$$

где  $u(x)$  – пространственная часть тепловой волны;  $\omega$  – частота теплового возмущения. Для удобства описания температурных волн введем коэффициент затухания  $\beta = \sqrt{\frac{\omega c p}{2\lambda}}$ . Пространственная часть решения в каждой области  $k = 1, 2, \dots$  будет иметь вид:

$$u_k(x) = A_k \exp -\gamma_k x + B_k \exp \gamma_k x, \quad (6)$$

где  $\gamma_k = \beta_k + i\beta_k$ . После подстановки граничных условий возникает линейная система уравнений, которая решается численно. В окончательном решении нужно перейти к действительной форме, взяв действительную часть полученной зависимости.

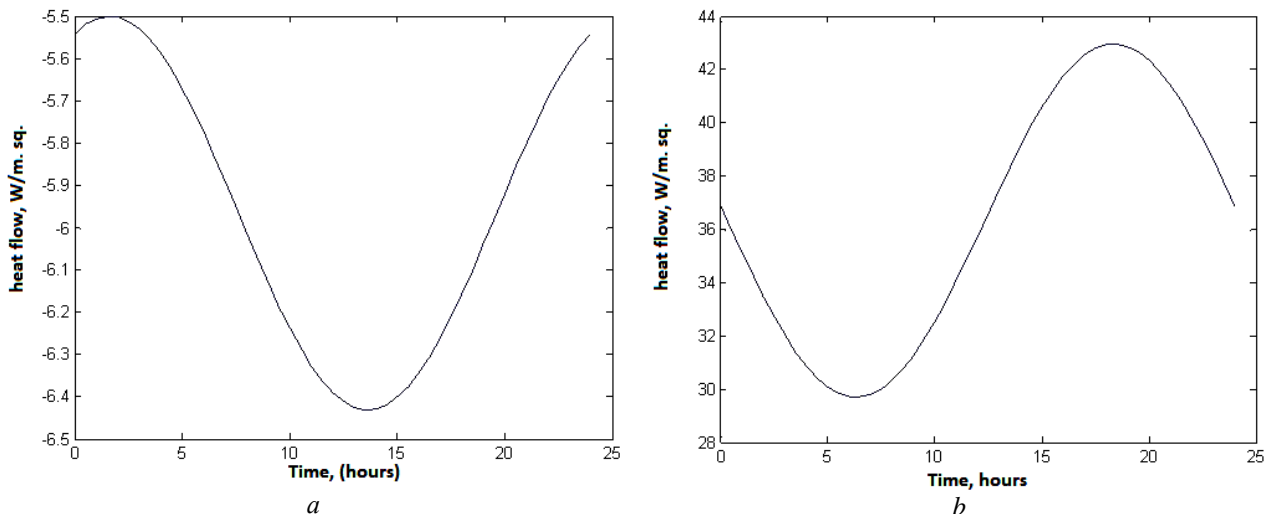
Для сравнения тепловой эффективности произведен расчет четырехслойной пассивной солнечной панели (минеральная вата толщиной 100 мм; воздушный зазор 10 мм; железобетон 100 мм; воздушная прослойка 10 мм; и отдельно стеклопакет 30 мм, ограждающий от воздействия внешних негативных факторов и солнечной радиации на поверхность аккумулирующего слоя) и двухслойной ограждающей конструкции из пеноблока толщиной 300 мм, облицованного снаружи кирпичом толщиной 100 мм. Схемы конструкций показаны на рис. 1.



**Рис. 1** – Схема четырехслойной пассивной солнечной панели (слева) и двухслойной утепленной наружной стены (справа): 1 – минеральная вата; 2 – воздушная прослойка; 3 – железобетон; 4 – стекло; 5 – пеноблок; 6 – облицовочный кирпич  
**Fig. 1** – Diagram of the four-layer passive solar panels (left) and double-layered insulated external walls (right): 1 – mineral wool; 2 – air layer; 3 – reinforced concrete; 4 – glass; 5 – foam block; 6 – facing brick

Теплофизические параметры для расчетов взяты из [11, 12]. На рис. 2 приведены результаты расчета температурных колебаний для двухслойной и четырехслойной конструкций в наиболее холодные дни января

в условиях Воронежской области при средней температуре  $-24^\circ\text{C}$  и амплитуде температурных колебаний  $5,9^\circ\text{C}$ . Время отсчитывается от астрономического полудня, когда поток солнечной энергии максимален.



**Рис. 2** – Тепловые потери на внутренней поверхности двухслойной (а) и четырехслойной (b) панели в зависимости от времени

**Fig. 2** – The heat loss on the inner surface of the bilayer (a) and four layer (b) of the panel depending on time

Расчёты показали, что потери среднего теплового потока для двухслойной конструкции составляют

6 Вт/м<sup>2</sup>. Средний тепловой поток для четырехслойной панели в типичных условиях января достигает

36,3 Вт/м<sup>2</sup>. Если полностью исключить инсоляцию, то тепловой поток сменяется тепловыми потерями – 9,7 Вт/м<sup>2</sup>.

#### 4. Заключение

Моделирование тепловых режимов, необходимое для оценки возможностей пассивной утилизации солнечного излучения, для многослойных ограждений с интегрированными светопоглощающими панелями следует сводить к совокупности двух квазистационарных и двух стационарных задач. При этом решение стационарных задач описывается кусочно линейными зависимостями, коэффициенты которых определяются на основе граничных условий, а квазистационарных – суперпозициями тепловых волн. Коэффициенты, определяющие амплитуды и фазы колебаний в каждом слое, находятся путём введения комплексных переменных и последующего решения системы линейных алгебраических уравнений, задаваемых граничными условиями.

Предлагаемый метод допускает простое обобщение произвольного количества строительных материалов в наружном ограждении, что позволяет рассчитывать тепловые режимы в многослойных системах и выбирать для них оптимальные параметры в зависимости от действительной внешней энергооблученности. Это подтверждается результатами, которые были получены для четырехслойной светопоглощающей панели при условиях эксплуатации, соответствующих климатической зоне Воронежской области. Следует отметить, что в самый холодный месяц отопительного периода при температуре наружного воздуха, соответствующей наиболее холодной пятидневке, среднесуточное теплопоступление в помещение через 1 м<sup>2</sup> поверхности ограждения, поглощающего солнечное излучение, в среднем составляет 36,3 Вт/м<sup>2</sup>.

#### Список литературы

[1] Даффни, Дж. Основы солнечной теплоэнергетики [Текст] / Дж. Даффни, У. Бекман. – Долгопрудный, Изд. Дом. «Интеллект», 2013. – 888 с.

[2] Петров, В.М. Оценка поступления солнечной энергии на поверхности активных фасадно-интегрированных систем энергоснабжения [Текст] / В.М. Петров // Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология» (ISJAEE). – 2014. – Т. 11. – С. 85–91.

[3] Quesada, G. A comprehensive review of solar facades [Text] / G. Quesada [et al.] // *Transparent and translucent solar facades. Renewable and Sustainable Energy Reviews*. – 2012. – Vol. 16. – No 5. – P. 2643–2651.

[4] Navarro, L. Thermal energy storage in building integrated thermal systems [Text] / L. Navarro [et al.] // *A review. Part. 2. Integration as passive system*. – *Renewable Energy*. – 2015. – Vol. 30. – P. 1–23.

[5] Zhou, Ao Thermal insulating concrete wall panel design for sustainable built environment [Text] / Ao Zhou [et al.] // *The Scientific World Journal*. – 2014. – Vol. 12. – ID 279592.

[6] Skujans, J. Measurement of heat transfer of multy-layered wall construction with foam gypsum Appl [Text] / J. Skujans [et al.] // *Thermal Eng.* – 2007. – Vol. 27. – 1219–1224.

[7] Shchukina, T.V. Passive solar heating: how to control heating regime [Text] / T.V. Shchukina [et al.] // *Int. J. of Environmental and Science Education*. – 2016. – Vol. 11. – No 18. – P. 11361–11373.

[8] Богословский, В.Н. Строительная теплофизика [Текст] / В.Н. Богословский. – М.: Высшая школа, 1982. – 415 с.

[9] Тихонов, А.Н. Уравнения математической физики [Текст] / А.Н. Тихонов, А.А. Самарский – М.: МГУ, 1999. – 798 с.

[10] Харкевич, А.А. Спектры и анализ [Текст] / А.А. Харкевич. – М.: Изд-во ЛКИ, 2007. – 240 с.

[11] СП 50.13330.2012. Тепловая защита зданий. Свод правил. – Введ 2013-07-01 - М.: Министерство регионального развития РФ, 2012. – 95 с.

[12] Борискина, И. В. Проектирование современных оконных систем гражданских зданий / Борискина, И. В. [и др.] - М.: Издательство АСВ, 2003. – 320 с.

[13] Щукина, Т.В. Исследование эффективности энергоактивных ограждений для пассивного солнечного отопления [Текст] / Т.В. Щукина, Д.М. Чудинов // *Промышленная энергетика*. – 2007. – № 8 – С. 52–54.

[14] Акулова, И.И. Прогнозирование динамики и структуры жилищного строительства в регионе [Текст] / И.И. Акулова; Федеральное агентство по образованию, Воронежский государственный архитектурно-строительный университет. Воронеж, 2007 – 132 с.

[15] Щукина, Т.В. Солнечное теплоснабжение зданий и сооружений [Текст] / Т.В. Щукина. – Воронеж: ВГАСУ – 2007. – 121 с.

[16] Турулов, В.А. Гелиоактивные стены зданий [Текст] / В.А. Турулов. – М.: Издательство АСВ, 2011 – 168 с.

[17] Щукина, Т.В. Поглощающая способность наружных ограждений зданий для пассивного использования солнечного излучения [Текст] / Т.В. Щукина // *Промышленное и гражданское строительство*, 2012. – № 9. – С. 66–68.

[18] Щукина, Т.В. Пассивное использование солнечной энергии для энергосберегающей эксплуатации зданий [Текст] / Т.В. Щукина, Алахмди Крар Кассим // *Материалы за VIII международна научна практична конференция «Ключови въпроси в съвременната наука» 17–25 април 2012 г.* – Том 29: Математика. Здание и архитектура. – София.: «Бял ГРАД-БГ» ООД. 2012 – С. 53–59.

[19] Пат. 2604119 РФ, МКИ F24J 2/24, F24J 2/34, F24J 2/14, F24J 2/16. Солнечный тепловой коллектор / Щукина Т.В., Полосин И.И., Шепс Р.А., Караваева Я.И.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «Во-



ронезский государственный архитектурно-строительный университет», № 2015106253; заявлено 24.02.2015; опубл. 10.09.2016.; Бюл. №25. – 8 с.

[20] Turchin, N. Nonstationary axisymmetric temperature field in a two-layer slab under mixed heating conditions [Text] / N. Turchin // *J. of Eng. Phys. and Thermophysics*. – 2015. – Vol. 88. – No 5. – P. 1135–1144.

[21] Морс, Ф.М. Методы теоретической физики [Текст] / Ф.М. Морс, Г. Фешбах. – М.: ИИЛ, 1960. – Т. 2.

[22] Мэтьюз, Дж. Численные методы. Использование MATLAB [Текст] / Дж. Мэтьюз, К.Д. Финк. – М.: Изд. Дом «Вильямс», 2001. – 720 с.

[23] Takhar, H.S. Effects of non-uniform wall temperature and mass transfer infinite section of an inclined plate on the MDH natural convection flow in a temperature stratified high-porosity medium [Text] / H.S. Takhar [et al.] // *Int. J. Therm. Sc.* – 2003. – Vol. 42. – P. 829–836.

[24] Aksenov, B. Mathematical modeling of temperature field of multilayer enclosure structures [Text] / B. Aksenov [et al.] // *MATEC Web of Conference*. – 2016. – Vol. 73. – P. 02023.

[25] Aliawdin, P. Theoretical and experimental analysis of heat transfer in the layers of road pavement [Text] / P. Aliawdin [et al.] // *Civil and Environmental Engineering Reports*. – 2005. – Vol. 1. – P. 7–18.

[26] Nguyen, C.H. Multifunctional thermal barrier coating in aerospace sandwich panels [Text] / C.H. Nguyen [et al.] // *Mechanics Research Communications*. – 2012. – Vol. 32. – P. 35043.

[27] Кошляков, Н.С. Основные дифференциальные уравнения математической физики [Текст] / Н.С. Кошляков [и др.]. – М.: ГИФМЛ, 1962. – 767 с.

[28] Деч, Г. Руководство к практическому преобразованию Лапласа [Текст] / Г. Деч. – М.: Наука, 1965. – 287 с.

[29] Карслоу, Г. Теплопроводность твердых тел [Текст] / Г. Карслоу, Д. Эгер. – М.: Наука, 1964. – 488 с.

[30] Fu, J.W. Non-Fourier heat conduction in sandwich panel with a cracked foam [Text] / J.W. Fu [et al.] // *Int. J. Therm. Sciences*. – 2016. – Vol. 102. – P. 263–273.

## References

[1] Daffni Dzh., Bekman U. The basics of solar power system (Osnovy solnechnoi teploenergetiki). Dolgoprudnyi, Izd. Dom. "Intellect", 2013 (in Russ.).

[2] Petrov V.M. Estimation of solar energy input on the surface of active facade integrated power supply systems (Otsenka postupleniya solnechnoi energii na poverkhnosti aktivnykh fasadno-integrirovannykh sistem energosnabzheniya). *International Scientific Journal for Alternative Energy and Ecology (ISJAE)*, 2014;11:8591 (in Russ.).

[3] Quesada G. Rousse D., Dutil Y., Balache M., Hallé S. A comprehensive review of solar facades. Transparent and translucent solar facades. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2012;16(5): 2643–2651.

[4] Navarro L., De Grasia A., Niall D., Castell A., Browne M., McCormack S.J., Griffiths P., Gabeza L.F. Thermal energy storage in building integrated thermal systems. A review: Part. 2. Integration as passive system. *Renewable Energy*, 2015;30:1–23.

[5] Zhou Ao, Wong K.-W., Lau D. Thermal insulating concrete wall panel design for sustainable built environment. *The Scientific World Journal*, 2014; 12:ID 279592.

[6] Skujans J., Vulans A., Iljins U., Aboltins A. Measurement of heat transfer of multy-layered wall construction with foam gypsum *Appl. Thermal Eng.*, 2007;27:1219–1224.

[7] Shchukina T.V., Sheps R.A., Kuznetsova N.V. Passive solar heating: how to control heating regime. *Int. J. of Environmental and Science Education*, 2016;11(18):11361–11373.

[8] Bogoslovskii V.N. Building thermal physics (Stroitel'naya teplofizika). Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1982 (in Russ.).

[9] Tikhonov A.N., Samarskii A.A. Equations of mathematical physics (Uravneniya matematicheskoi fiziki). Moscow, MGU, 1999 (in Russ.).

[10] Kharkevich A.A. Spectra and analysis (Spektry i analiz). Moscow, Izd-vo LKI, 2007 (in Russ.).

[11] SP 50.13330.2012. Thermal protection of buildings (Teplovaya zashchita zdaniy. Svod pravil. – Vved 2013-07-01). Moscow, Ministerstvo regional'nogo razvitiya RF, 2012 (in Russ.).

[12] Boriskina I.V., Plotnikov A.A., Zakharov A.V. Design of modern window systems of civil buildings Proektirovanie sovremennykh okonnykh sistem grazhdanskikh zdaniy. Moscow, Izdatel'stvo ASV Publ., 2003 (in Russ.).

[13] Shchukina T.V., Chudinov D.M. Research of efficiency of power active protections for passive solar heating (Issledovanie effektivnosti energoaktivnykh ogradzhenii dlya passivnogo solnechnogo otopeniya). *Promyshlennaya energetika*, 2007;8:52–54 (in Russ.).

[14] Akulova I.I. Forecasting the dynamics and structure of housing construction in the region (Prognozirovanie dinamiki i struktury zhilishchnogo stroitel'stva v regione) / I.I. Akulova; Federal'noe agentstvo po obrazovaniyu, Voronezhskii gosudarstvennyi arkhitekturno-stroitel'nyi universitet. Voronezh, 2007 (in Russ.).

[15] Shchukina T.V. Solar heat supply of buildings and structures (Solnechnoe teplosnabzhenie zdaniy i sooruzhenii). Voronezh: VGASU – 2007 (in Russ.).

[16] Turulov V.A. Solar active walls of buildings (Gelioaktivnye steny zdaniy). Moscow, Izdatel'stvo ASV, 2011 (in Russ.).

[17] Shchukina T.V. Absorptive capacity of external building barriers for passive use of solar radiation (Pogloshchayushchaya sposobnost' naruzhnykh ogradzhenii zdaniy dlya passivnogo ispol'zovaniya solnechnogo izlucheniya). *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*, 2012;(9):66–68 (in Russ.).



[18] Shchukina T.V. Passive use of solar energy for energy-saving operation of buildings (Passivnoe ispol'zovanie solnechnoi energii dlya energosberegayushchei ekspluatatsii zdaniy). Materialy za VIII mezhdunarodna nauchna praktichna konferentsiya "Klyuchovi v"prosi v s"vremennata nauka", 17–25 April 2012. Vol. 29: Matematika. Zdanie i arkhitektura. – Sofiya.: „Byal GRAD-BG“ OOD, 2012, pp. 53–59 (in Russ.).

[19] Shchukina T.V., Polosin I.I., Sheps R.A., Karavaeva Ya.I. Solar heat collector (Solnechnyi teplovoi kollektor). Pat. 2604119 RF, MKI F24J 2/24, F24J 2/34, F24J 2/14, F24J 2/16. opubl. 10.09.2016.; Bul. 25 (in Russ.).

[20] Turchin N. Nonstationary axisymmetric temperature field in a two-layer slab under mixed heating conditions. *J. of Eng. Phys. and Thermophysics*, 2015;88(5): 1135–1144.

[21] Mors F.M., Feshbakh G. Methods of theoretical physics (Metody teoreticheskoi fiziki). Moscow, IIL, 1960. Vol. 2 (in Russ.).

[22] Met'yuz Dzh., Fink K.D. Numerical method. The use of MATLAB (Chislennyye metody. Ispol'zovanie MATLAB). Moscow, Izd. Dom "Vil'yams", 2001 (in Russ.).

[23] Takhar H.S., Chamkha A.J., Nath G. Effects of non-uniform wall temperature and mass transfer infinite section of an inclined plate on the MDH natural convec-

tion flow in a temperature stratified high-porosity medium. *Int. J. Therm. Sc.*, 2003;42:829–836.

[24] Aksenov B., Karyakina S., Stepanov O., Shapoval A., Bodrov M. Mathematical modeling of temperature field of multilayer enclosure structures. *MATEC Web of Conference*, 2016;73:02023.

[25] Aliawdin P., Marcinovski J., Wilk P. Theoretical and experimental analysis of heat transfer in the layers of road pavement. *Civil and Environmental Engineering Reports*, 2005;1:7–18.

[26] Nguyen C.H., Chandrashekhara K., Birman V. Multifunctional thermal barrier coating in aerospace sandwich panels. *Mechanics Research Communications*, 2012;32:35043.

[27] Koshlyakov N.S., Gliner E.B., Smirnov M.M. Basic differential equations of mathematical physics (Osnovnye differentsial'nye uravneniya matematicheskoi fiziki). Moscow, GIFML, 1962. (in Russ.).

[28] Dech G. Rukovodstvo k prakticheskomu preobrazovaniyu Laplasa. Moscow, Nauka Publ., 1965 (in Russ.).

[29] Karlsru G., Eger D. (Teploprovodnost' tverdykh tel). Moscow, NaukaPubl., 1964 (in Russ.).

[30] Fu J.W., Akbarzadeh A.H., Chen Z.T., Qian L.F., Pasini D. Non-Fourier heat conduction in sandwich panel with a cracked foam. *Int. J. Therm. Sciences*, 2016;102:263–273.

Транслитерация по BSI



#### XIV Международная научно-практическая конференция «Безопасность ядерной энергетики»

Волгодонский инженерно-технический институт – филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ» приглашает Вас 30 мая – 1 июня 2018 г. принять участие в XIV Международной научно-практической конференции «БЕЗОПАСНОСТЬ ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ».

##### В программе конференции:

##### Секции:

- проектирование и строительство энергоблоков АЭС;
- изготовление и ремонт оборудования АЭС;
- эксплуатация энергоблоков АЭС;
- экологическая безопасность эксплуатации АЭС;
- культура безопасности на объектах ядерной энергетики;
- экономика атомной отрасли.
- информационные встречи.

##### Место проведения конференции:

ВИТИ НИЯУ МИФИ, Ростовская обл., г. Волгодонск, ул. Ленина, д.73/94.

30 мая – заезд и размещение, 31 мая – пленарное заседание и проведение секций, 1 июня – конкурс студенческих докладов.

Заявки на участие в конференции и тезисы направляются путем регистрации на официальном сайте конференции: <http://nps.viti-mephi.ru> до 18 мая 2018 г. или по электронной почте (E-mail): [oni-viti@mephi.ru](mailto:oni-viti@mephi.ru)

Статьи в журнал принимаются по этому же адресу.

Почтовый адрес: 347360, ВИТИ НИЯУ МИФИ, Ростовская обл., г. Волгодонск, ул. Ленина, д.73/94, каб. 505. Оргкомитет, тел.: +7(8639)222717, +79185395020.

<http://nps.viti-mephi.ru/ru/glavnaya>

