

**Н. В. БАРАНОВСКИЙ**, канд. физ.-мат. наук, доцент кафедры теоретической и промышленной теплотехники, Энергетический институт Национального исследовательского Томского политехнического университета (Россия, 634050, г. Томск, просп. Ленина, 30; e-mail: firedanger@narod.ru)

**Д. В. КОРОБКИНА**, магистрант кафедры теоретической и промышленной теплотехники, Энергетический институт Национального исследовательского Томского политехнического университета (Россия, 634050, г. Томск, просп. Ленина, 30; e-mail: korobkina.darya@mail.ru)

УДК 614.84

## ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ЛЕСНОГО ПОЖАРА НА КОЖНЫЕ ПОКРОВЫ ЧЕЛОВЕКА

Изучено воздействие теплового излучения на кожные покровы человека, находящегося вблизи очага пожара. Представлены результаты численного исследования такого воздействия как в одномерной, так и в двумерной постановках. Получены распределения температуры по толщине кожного покрова. Рассмотрен сценарий тепловых нагрузок низкой интенсивности. Разработана математическая модель теплопереноса в слоистой структуре кожного покрова с учетом наличия в ней неоднородностей. Представлены выводы по результатам моделирования с учетом структурных неоднородностей в кожном покрове.

**Ключевые слова:** лучистый тепловой поток; лесной пожар; кожные покровы; теплоперенос; математическая модель; структурная неоднородность.

### Введение

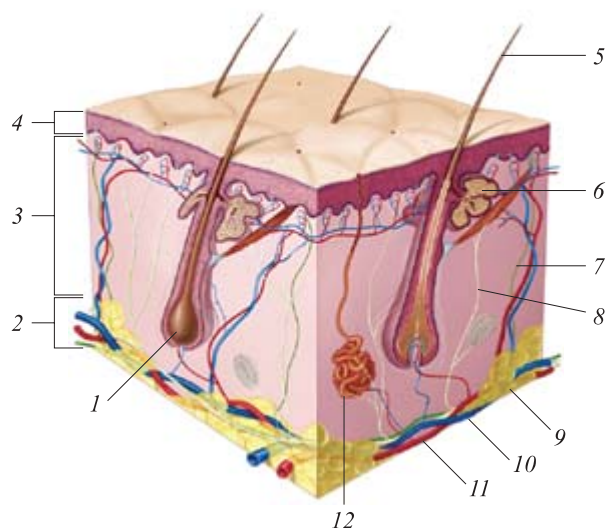
Для оценки последствий воздействия на человека теплового излучения в чрезвычайных ситуациях (в том числе при лесных пожарах) могут применяться как отечественные, так и зарубежные методы, которые представляют собой количественные зависимости между термодинамическими и медицинскими критериями теплового поражения [1]. Большой объем расчетно-экспериментальных данных по термическим ожогам различной степени тяжести биообъекта накоплен в ведущих научно-исследовательских центрах NASA [1]. Основой для создания стандартных методов оценки поражения биообъектов послужили результаты обработки экспериментальных исследований. После проведения гармонизации отечественных и зарубежных методов прогнозирования теплового поражения в системе *тепловой источник – пакет одежды – человек* выделяются следующие методы прогнозирования [1]: инструментальные; расчетные; расчетно-экспериментальные. В настоящее время отсутствуют программные компоненты, реализующие развитые математические модели реальных теплофизических процессов, происходящих в кожных покровах и тканях человека [1]. Настоящая статья открывает перспективы в создании нового поколения медицинских информационных систем для нужд МЧС и скорой медицинской помощи при минимизации и ликвидации социального ущерба от лесных пожаров.

Цель исследования — численное исследование теплового воздействия на кожные покровы лучистого потока от лесных пожаров, в том числе с учетом структурной неоднородности кожного покрова.

### Физико-математическая постановка задачи

Кожа имеет весьма сложное строение со своими особенностями в различных частях тела. Она состоит из трех слоев (рис. 1) — эпидермиса, дермы и подкожной клетчатки (гиподермы) [2].

Эпидермис включает в себя в основном мертвые клетки, которые действуют в качестве защитного барьера против влаги, ультрафиолетового излучения и высоких температур [3]. Через эпидермис проходят потовые железы. Толщина его различна — от 0,02–0,05 мм на шее и лице до 0,5–2,4 мм на ладонях и подошвах. Толщина дермы варьируется от 0,5 до 5 мм. Эпидермис и дерма, вместе взятые, имеют толщину около 1–2 мм. Ниже этих двух слоев лежит подкожная ткань — жировая клетчатка (гиподерма), которая содержит потовые железы и крупные кровеносные сосуды, дающие возможность коже приспособляться к местному нагреванию или охлаждению, но лишь в некоторых пределах [4]. Обычно кожу подразделяют на два типа — толстую и тонкую, что связано, главным образом, с различной толщиной эпидермиса. Толстая кожа покрывает ладони и



**Рис. 1.** Структура кожного покрова в общем случае: 1 — волосяная фолликул (луковица); 2 — гиподерма; 3 — дерма; 4 — эпидермис; 5 — стержень волоса; 6 — сальная железа; 7 — лимфатический сосуд; 8 — нерв; 9 — жировая ткань; 10 — вена; 11 — артерия; 12 — потовая железа

подошвы. Для нее характерно наличие толстого эпидермиса, на наружной поверхности которого располагается особенно мощный слой кератина.

При термической травме происходит первичное повреждение клеток, что выражается в нарушении их структуры и функций. При этом нарушается барьерная функция клеточных и внутриклеточных мембран, а также выключаются ионные насосы. Это, в свою очередь, сопровождается нарушением распределения веществ внутри клетки и между клеткой и окружающей средой, дезорганизацией внутриклеточного метаболизма и нарушением системы энергообеспечения [4].

При слабом тепловом излучении будет повреждаться только эпидермис на глубину 1 мм. Более интенсивный тепловой поток может привести к поражению не только эпидермиса, но и дермы, а излучение еще большей интенсивности будет воздействовать и на подкожный слой [3].

Степень тканевой гипертермии прямо пропорциональна продолжительности нагревания. Краткосрочное воздействие даже очень высоких температур может не вызвать развитие ожогов. Температурный оптимум активности ферментов составляет 36–37 °С. Чем выше степень перегрева тканей (начиная от 41 °С и выше), тем быстрее происходит гибель клеток.

Ожоги кожи имеют четыре степени тяжести в зависимости от глубины термического повреждения тканей кожи [5]:

- I — гиперемия и отек кожи;
- II — поражение поверхностных слоев эпидермиса с образованием пузырей, наполненных прозрачной субстанцией;

- IIIa — частичное поражение дермы с сохранением придатков кожи, из которых впоследствии происходит восстановление эпителия;
- IIIб — поражение кожи на всю толщ с частичным захватом подкожно-жировой клетчатки;
- IV — поражение глубоких структур (фасции, мышцы, кости).

При получении ожогов возможность выживания зависит от ряда факторов [5]:

- степени тяжести ожога;
- площади обожженной кожи, выражаемой в долях (%) от общей площади поверхности кожи;
- возраста;
- перенесенных болезней и состояния здоровья до происшествия.

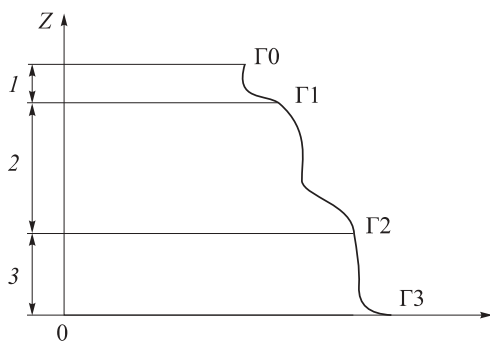
Шансы выжить уменьшаются по мере увеличения площади ожога и с возрастом жертвы [5].

Среди основных характеристик теплового поражения человека от высокоинтенсивного нагрева выделяются [6, 7]:

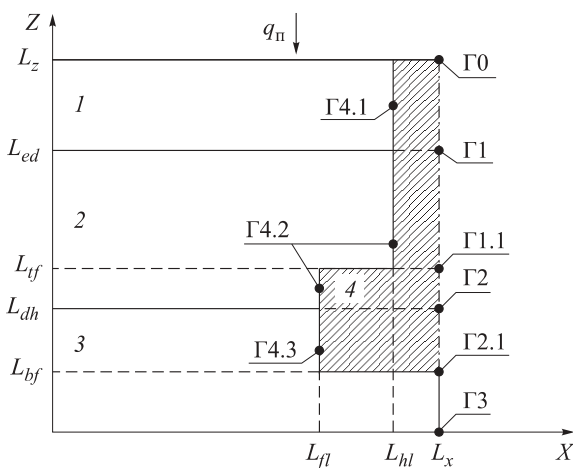
- время возникновения термического ожога;
- количество поглощенной кожным покровом тепловой энергии;
- степень тяжести ожога;
- критическая температура основных структурных слоев кожного покрова.

По данным Министерства здравоохранения РФ ежегодно от ожогов страдает около 700 тыс. чел. В европейских странах от термических травм погибает около 60 тыс. чел. в год. Одной из причин смерти является ожоговый шок. Так, из всех погибших 28 % находились в ожоговом шоке, причем у 9 % ожоги составляли менее 20 % поверхности тела. При глубоких ожогах площадью более 20 % поверхности тела пострадавшего вероятность летального исхода возрастает до 82,2 %. Одной из главных причин высокой летальности среди пострадавших с тяжелыми ожогами является отсутствие единой концепции лечения этой категории пациентов. Для ее создания требуется более детальное изучение механизмов развития и течения ожогового шока, а также совершенствование протоколов ведения пациентов с тяжелыми термическими травмами. Такие травмы влекут за собой длительный период госпитализации, значительное число осложнений и высокую летальность [8].

Для задач численного моделирования кожные покровы можно условно представить в виде слоистой структуры с неоднородными включениями (например, волос и волосяная луковица). Геометрия области решения представлена на рис. 2 и 3. Теплоренос в указанной системе описывается с помощью нестационарных дифференциальных уравнений теп-



**Рис. 2.** Геометрия области решения для одномерной и двумерной постановки задачи о воздействии теплового излучения от лесного пожара на кожные покровы человека: 1 — эпидермис; 2 — дерма; 3 — гиподерма



**Рис. 3.** Геометрия области решения для двумерной постановки задачи о воздействии теплового излучения от пожара на кожные покровы человека с учетом структурных неоднородностей: 1 — эпидермис; 2 — дерма; 3 — гиподерма; 4 — волос и волосяная луковица;  $L_z, L_x$  — границы области;  $L_{ed}$  — граница эпидермиса и дермы;  $L_{tf}$  — верхняя граница волосяной луковицы;  $L_{dh}$  — граница дермы и гиподермы;  $L_{bf}$  — нижняя граница волосяной луковицы;  $L_{fl}$  — левая граница волосяной луковицы;  $L_{hl}$  — левая граница волосяного стержня

лопроводности с соответствующими начальными и граничными условиями:

$$c_1 \rho_1 \frac{\partial T_1}{\partial t} = \lambda_1 \left( \frac{\partial^2 T_1}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T_1}{\partial z^2} \right); \quad (1)$$

$$c_2 \rho_2 \frac{\partial T_2}{\partial t} = \lambda_2 \left( \frac{\partial^2 T_2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T_2}{\partial z^2} \right); \quad (2)$$

$$c_3 \rho_3 \frac{\partial T_3}{\partial t} = \lambda_3 \left( \frac{\partial^2 T_3}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T_3}{\partial z^2} \right); \quad (3)$$

$$c_4 \rho_4 \frac{\partial T_4}{\partial t} = \lambda_4 \left( \frac{\partial^2 T_4}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T_4}{\partial z^2} \right); \quad (4)$$

где  $c_i$  — удельная теплоемкость, Дж/(кг·К);  
 $\rho_i$  — плотность, кг/м<sup>3</sup>;

$\lambda_i$  — коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К);

$T_i$  — температура кожного покрова, К;

1, 2, 3, 4 — индексы, соответствующие эпидермису, дерме, гиподерме и волосу и волосяной луковице;

$t$  — время;

$x, z$  — координаты.

Начальные условия:

$$t = 0, \quad T_i = T_0, \quad 0 \leq x \leq L_x, \quad 0 \leq z \leq L_z.$$

Условия на левой и правой границах расчетной области:

•  $x = 0$ :

$$\lambda_i \frac{\partial T}{\partial x} = 0, \quad t > 0;$$

•  $x = L_x$ :

$$\lambda_i \frac{\partial T}{\partial x} = 0, \quad t > 0.$$

На границе  $\Gamma_0$  выставлены граничные условия 2-го рода в целях учета влияния лучистого теплового потока от фронта пожара:

•  $z = L_z$ :

$$\lambda_1 \frac{\partial T_1}{\partial x} = q_n; \quad \lambda_4 \frac{\partial T_4}{\partial x} = q_n,$$

где  $q_n$  — тепловой поток от фронта пожара, Вт/м<sup>2</sup>;

$q_n = f(d)$ ;

$d$  — расстояние от кромки пожара, м.

На границах  $\Gamma_1$ ,  $\Gamma_1.1$ ,  $\Gamma_2$  и  $\Gamma_2.1$  используются граничные условия 4-го рода:

•  $\Gamma_1$ :

$$T_1(t, x, z) = T_2(t, x, z); \quad -\lambda_1 \frac{\partial T_1}{\partial z} = -\lambda_2 \frac{\partial T_2}{\partial z};$$

•  $\Gamma_1.1$ :

$$T_2(t, x, z) = T_4(t, x, z); \quad -\lambda_2 \frac{\partial T_2}{\partial z} = -\lambda_4 \frac{\partial T_4}{\partial z};$$

•  $\Gamma_2$ :

$$T_2(t, x, z) = T_3(t, x, z); \quad -\lambda_2 \frac{\partial T_2}{\partial z} = -\lambda_3 \frac{\partial T_3}{\partial z};$$

•  $\Gamma_2.1$ :

$$T_4(t, x, z) = T_3(t, x, z); \quad -\lambda_4 \frac{\partial T_4}{\partial z} = -\lambda_3 \frac{\partial T_3}{\partial z}.$$

На границе  $\Gamma_3$  заданы три вида (варианта) различных граничных условий [9]:

а)  $T_3 = T_{3i}$ ;

б)  $\lambda_3 \frac{\partial T_3}{\partial x} = q_{вн}$ ;

в)  $\alpha (T_e - T_3) = \lambda_3 \frac{\partial T_3}{\partial x}$ ,

где  $T_e$  — температура внутренней части гиподермы, К;  $T_{3i} = T_e$ ;

$q_{вн}$  — внутреннее тепловыделение (тепловой поток от внутренней части организма), Вт/м<sup>2</sup>;

$\alpha$  — коэффициент теплопередачи, Вт/(м<sup>2</sup>·К).

На границе Г4 заданы следующие условия:

• Г4.1:

$$T_4(t, x, z) = T_1(t, x, z); \quad -\lambda_4 \frac{\partial T_4}{\partial x} = -\lambda_1 \frac{\partial T_1}{\partial x};$$

• Г4.2:

$$T_4(t, x, z) = T_2(t, x, z); \quad -\lambda_4 \frac{\partial T_4}{\partial x} = -\lambda_2 \frac{\partial T_2}{\partial x};$$

• Г4.3:

$$T_4(t, x, z) = T_3(t, x, z); \quad -\lambda_4 \frac{\partial T_4}{\partial x} = -\lambda_3 \frac{\partial T_3}{\partial x}.$$

Одномерная математическая модель теплопередачи в слоистой структуре кожного покрова получена редукцией двумерной математической модели по горизонтальной координате.

### Результаты и их обсуждение

Численное моделирование проводилось для следующего сценария. Человек, лишенный средств индивидуальной защиты, находится на некотором расстоянии от фронта лесного пожара. В результате горения лесных горючих материалов происходит тепловыделение и передача тепла к телу человека посредством излучения. Для определенности рассматривается воздействие лучистого теплового потока на конкретную часть тела, а именно на фронтальную часть ладони человеческой руки. В табл. 1 приведены данные по принятым в вычислительных экспериментах толщинам слоев кожного покрова, а в табл. 2 — теплофизические характеристики каждого из этих слоев.

Была проведена численная реализация одномерной и двумерных математических моделей методом конечных разностей [10]. Разностные аналоги дифференциальных уравнений решены методом прогонки [10]. На основе разработанных алгоритмов созданы программные компоненты для определения температурного поля в слоистой структуре кожного покрова в условиях воздействия лучистого теплового потока.

**Таблица 1.** Принятая толщина слоев кожи [9]

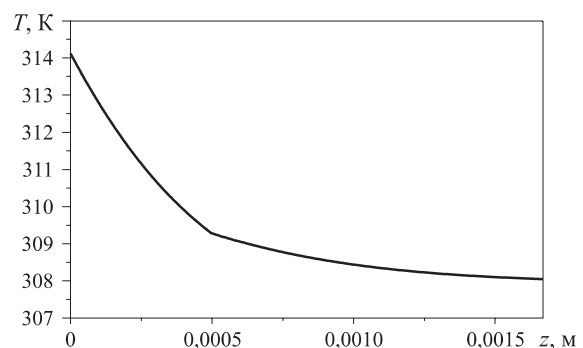
| Слой      | Толщина, м |
|-----------|------------|
| Эпидермис | 0,0005     |
| Дерма     | 0,0015     |
| Гиподерма | 0,0020     |

**Таблица 2.** Теплофизические свойства слоев кожи [9]

| Слой      | Плотность, кг/м <sup>3</sup> | Теплоемкость, Дж/(кг·К) | Теплопроводность, Вт/(м·К) |
|-----------|------------------------------|-------------------------|----------------------------|
| Волос     | 1000                         | 2930                    | 0,450                      |
| Эпидермис | 1200                         | 3600                    | 0,210                      |
| Дерма     | 1000                         | 3200                    | 0,498                      |
| Гиподерма | 850                          | 2250                    | 0,200                      |

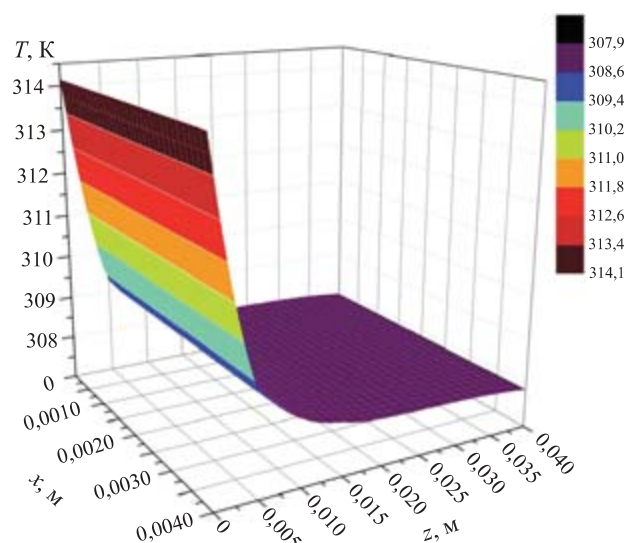
На рис. 4 представлены результаты численного расчета распределения температуры по толщине кожного покрова в одномерной постановке, а на рис. 5 — в двумерной. Сравнительный анализ данных результатов позволяет сделать вывод о корректной работе представленных программных реализаций [11] математических моделей теплопереноса в слоистой структуре кожного покрова при воздействии лучистого теплового потока от фронта пожара [12]. Проведено сценарное моделирование для пожара низкой интенсивности и достаточно большого расстояния между кромкой пожара и человеком. Рассмотрен конкретный сценарий кратковременного воздействия длительностью 3 с при плотности лучистого теплового потока от фронта пожара 3000 Вт/м<sup>2</sup>. На рис. 4 и 5 хорошо видно влияние различий в теплофизических характеристиках слоев кожного покрова на теплоперенос по вертикальной координате, особенно на границе дермы и гиподермы.

На рис. 6 представлены результаты численного расчета распределения температуры по толщине кожного покрова в двумерной постановке с учетом структурной неоднородности (волос и волосяная луковица). Сценарное моделирование проведено при тех же условиях, что и в одномерной постановке, а также в двумерной без неоднородных включений в структуре кожного покрова. В данном варианте учет горизонтальной координаты позволяет выявить дополнительные эффекты, связанные с наличием в кожном покрове структурных неоднородностей. А именно, наличие в составе кожного покрова структурных неоднородностей, таких как волос и волосяная луковица, изменяет его температурное поле при воздействии лучистого теплового потока от фронта пожара. В силу различных теплофизических характеристик в зоне нахождения волосяной луковицы формируется поле пониженной температуры, которое наблюдается также в области выхода волоса из кожного покрова. Наличие структурных неоднородностей приводит к формированию ячеистой структуры внутри и на поверхности кожного



**Рис. 4.** Результаты численного расчета распределения температуры по толщине кожного покрова в одномерной постановке



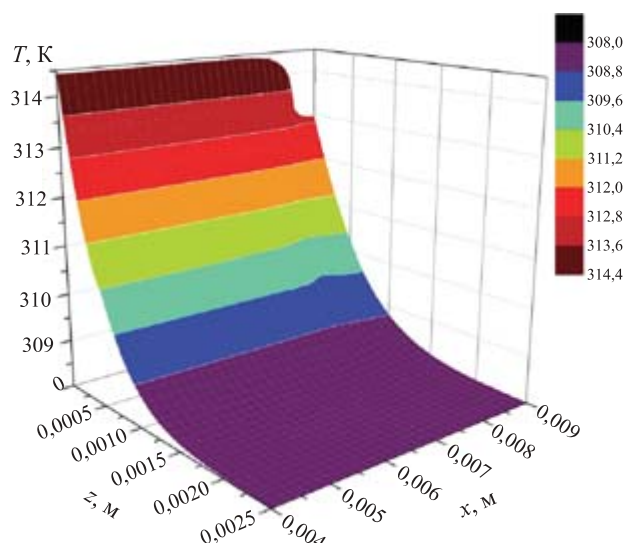


**Рис. 5.** Результаты численного расчета распределения температуры по толщине кожного покрова в двумерной постановке

покрова с пониженными значениями температур в ячейках. Следует отметить, что данный факт необходимо учитывать при разработке нового поколения противоожоговых медицинских средств и перевязочных материалов, а также при диагностике термических поражений [13, 14].

### Заключение

Разработана новая математическая модель теплопереноса в слоистой структуре кожного покрова с учетом наличия в нем неоднородностей типа волосяной луковицы и волоса. Проведено численное исследование процесса теплопереноса для пожара низкой интенсивности и кратковременного воздей-



**Рис. 6.** Результаты численного расчета распределения температуры по толщине кожного покрова в двумерной постановке с учетом структурной неоднородности

ствия лучистого теплового потока от кромки лесного пожара. Следует отметить, что для дальнейшего сценарного моделирования могут быть использованы данные по контрольным выжиганиям, проведенным в окрестностях Красноярска сотрудниками Института леса СО РАН [12]. Созданы программные компоненты для моделирования процессов теплопереноса в слоистой структуре кожного покрова, которые могут быть применены при разработке нового поколения медицинских информационных систем [15, 16], а также для интеграции с геоинформационными системами прогноза лесной пожарной опасности [17, 18] на основе детерминированно-вероятностного подхода [19, 20].

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Коробкина Д. В., Барановский Н. В. Исследования теплового воздействия лесных пожаров на ткани человека: перспективы создания медицинских информационных систем // Cloud of Science. — 2014. — Т. 1, № 2. — С. 292–318.
2. Whitton J. T., Everall J. D. The thickness of the epidermis // Br. J. Dermatol. — 1973. — Vol. 89. — P. 467–476. doi: 10.1111/j.1365-2133.1973.tb03007.x.
3. Xu F., Lu T. J., Seffen K. A. Biothermomechanical behavior of skin tissue // Acta Mechanica Sinica. — 2008. — Vol. 24, No. 1. — P. 1–23. doi: 10.1007/s10409-007-0128-8.
4. Пушкарева А. Е. Лазерный селективный нагрев элементов кожной ткани : дис. ... канд. техн. наук. — СПб. : Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, 2006. — 151 с.
5. Парамонов Б. А., Порембский Я. О., Яблонский В. Г. Ожоги : Руководство для врачей. — СПб. : СпецЛит, 2000. — 480 с.
6. Быков В. Л. Частная гистология человека. — СПб. : Сотис, 2001. — С. 56–70.
7. Еналеев Р. Ш., Закиров А. М., Чистов Ю. С., Теляков Э. Ш. Термодинамические критерии теплового поражения человека в техногенных авариях // Вестник Казанского технологического университета. — 2012. — Т. 15, № 17. — С. 50–55.
8. Гольдзон М. А. Недостаточность кровообращения при тяжелой термической травме и ее патогенетическая коррекция : дис. ... канд. мед. наук. — Омск : Омская государственная медицинская академия, 2011. — 112 с.

9. Korobkina D. V., Baranovskiy N. V. Evaluation different boundary condition in depth of tissue for the task of mathematical simulation of heat transfer in human skin // MATEC Web of Conferences. — 2014. — Vol. 19, Article No. 01035. — P. 1–6. doi: 10.1051/mateconf/20141901035.
10. Самарский А. А. Теория разностных схем. — М. : Наука, 1983. — С. 33–36.
11. Архангельский А. Я. Программирование в Delphi для Windows: версии 2006, 2007, Turbo Delphi. — М. : Бином, 2010. — 1239 с.
12. Валендик Э. Н., Косов И. В. Влияние теплового излучения лесного пожара на окружающую среду // Сибирский экологический журнал. — 2008. — № 4. — С. 517–523.
13. Hummel A., Lyons K. Skin burn translation model for evaluating hand protection in flash fire exposures // Fire Technology. — 2014. — Vol. 50, No. 5. — P. 1285–1299. doi: 10.1007/s10694-013-0336-7.
14. Вильдиева М. В. Обоснование применения мексидипта в комплексном лечении больных с термической травмой : дис. ... канд. мед. наук. — Саранск : Мордовский государственный университет, 2009. — 116 с.
15. Petter S., Fruhling A. Evaluating the success of Emergency Response Medical Information Systems // International Journal of Medical Informatics. — 2011. — Vol. 80, No. 7. — P. 480–489. doi: 10.1016/j.ijmedinf.2011.03.010.
16. Bricon-Souff N., Verdier C., Flory A., Jaulent M. C. Theme C: Medical information systems and databases: results and future work // IRBM. — 2013. — Vol. 34. — P. 9–10. doi: 10.1016/j.irbm.2012.12.010.
17. Барановский Н. В., Смирнов В. В., Янкович Е. П. Мониторинг лесной пожарной опасности, обусловленной действием сфокусированного солнечного излучения с учетом данных прибора MODIS // Авиакосмическое приборостроение. — 2013. — № 10. — С. 7–15.
18. Барановский Н. В., Янкович Е. П. Оценка и картографирование лесной пожарной опасности, обусловленной действием сфокусированного солнечного излучения, в географической информационной системе // Приборы и системы. Управление. Контроль. Диагностика. — 2013. — № 12. — С. 8–15.
19. Барановский Н. В. Прогнозирование количества лесных пожаров // Пожарная безопасность. — 2007. — № 1. — С. 123–127.
20. Барановский Н. В. Ландшафтное распараллеливание и прогноз лесной пожарной опасности // Сибирский журнал вычислительной математики. — 2007. — Т. 10, № 2. — С. 141–152.

Материал поступил в редакцию 26 марта 2015 г.

English

## NUMERICAL RESEARCH OF PROCESSES OF FOREST FIRE THERMAL INFLUENCE ON INTEGUMENTS OF THE PERSON

**BARANOVSKIY N. V.**, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Department of Theoretical and Industrial Heat Systems Engineering, Institute of Power Engineering, National Research Tomsk Polytechnic University (Lenina Avenue, 30, Tomsk, 634050, Russian Federation; e-mail address: firedanger@narod.ru)

**KOROBKINA D. V.**, Master of Technique and Technology in Engineering, Department of Theoretical and Industrial Heat Systems Engineering, Institute of Power Engineering, National Research Tomsk Polytechnic University (Lenina Avenue, 30, Tomsk, 634050, Russian Federation; e-mail address: korobkina.darya@mail.ru)

### ABSTRACT

For an estimation of thermal radiation influence consequences in extreme situations (including forest fires) foreign methods which represent quantitative dependences between thermodynamic and medical criteria of thermal defeat can be applied both domestic. Great volume of numerical-experimental data on thermal burns of various severity level of bio-object is saved up in leading research Centers NASA. Processing experimental research results have served as a basis for creation of standard methods of an estimation of bio-objects defeat. Following methods of forecasting are allocated after carrying out of harmonization of domestic and foreign methods of forecasting of thermal defeat for system *thermal source – package of clothes – person*: 1) tool; 2) numerical; 3) nu-

merical-experimental. Now there are no the program components realizing developed mathematical models of real thermophysical processes, occurring in integuments and tissues of the person. Present article opens prospects for creation of new generation of medical information systems for needs of the Ministry of Emergency Measures and the first help at minimization and liquidation of a social damage from forest fires.

Research objective is numerical research of thermal influence on integuments of a radiant flux from forest fires, taking into account structural heterogeneity of an integument.

The new mathematical model of heat transfer in layered structure of an integument with presence in it of heterogeneities type of a hair bulb and hair is developed in present article. Numerical research of heat transfer for the scenario of a fire of low intensity and short-term influence of a radiant thermal flux from a forest fire front is carried out. It is necessary to notice, that for further scenario modeling data on control burns, spent in vicinities of Krasnoyarsk employees of Institute of forest of the Siberian Branch of the Russian Academy of Science can be used. Program components for modeling of heat transfer processes in layered structure of an integument which can be applied by working out of new generation of medical information systems, and also for integration with geoinformation systems of the forecast of forest fire danger on the basis of the deterministic-probabilistic approach are created.

**Keywords:** radiant thermal flux; forest fire; integuments; heat transfer; mathematical model; structural heterogeneity.

## REFERENCES

1. Korobkina D. V., Baranovskiy N. V. Issledovaniya teplovogo vozdeystviya lesnykh pozharov na tkani cheloveka: perspektivy sozdaniya meditsinskikh informatsionnykh sistem [Research of thermal influence of forest fires on a tissue of the person: prospects of creation of medical information systems]. *Cloud of Science*, 2014, vol. 1, no. 2, pp. 292–318.
2. Whitton J. T., Everall J. D. The thickness of the epidermis. *Br. J. Dermatol.*, 1973, vol. 89, pp. 467–476. doi: 10.1111/j.1365-2133.1973.tb03007.x.
3. Xu F., Lu T. J., Seffen K. A. Biothermomechanical behaviour of skin tissue. *Acta Mechanica Sinica*, 2008, vol. 24, no. 1, pp. 1–23. doi: 10.1007/s10409-007-0128-8.
4. Pushkareva A. E. *Lazernyy selektivnyy nagrev elementov kozhnoy tkani. Dis. kand. tekhn. nauk* [Laser selective heating of elements of a skin tissue. Cand. tech. sci. diss.]. Saint Petersburg, Saint Petersburg State University of Information Technologies, Mechanics and Optics Publ., 2006. 151 p.
5. Paramonov B. A., Poremskiy Yu. O., Yablonskiy V. G. *Ozhogi. Rukovodstvo dlya vrachey* [Burns: Management for doctors]. Saint Petersburg, SpecLit Publ., 2000. 480 p.
6. Bykov V. L. *Chastnaya gistologiya cheloveka* [Particular histology of the person]. Saint Petersburg, Sotis Publ., 2001, pp. 56–70.
7. Enaleev R. Sh., Zakirov A. M., Chistov Yu. S., Telyakov E. Sh. Termodinamicheskiye kriterii teplovogo porazheniya cheloveka v tekhnogennykh avariakh [Thermodynamic criteria of thermal defeat of the person in technogenic failures]. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta — Herald of Kazan Technological University*, 2012, vol. 15, no. 17, pp. 50–55.
8. Goldzon M. A. *Nedostatochnost krovoobrashcheniya pri tyazheloy kosmicheskoy travme i yeye patogeneticheskaya korrektsiya. Dis. kand. med. nauk* [Insufficiency of blood circulation at a heavy thermal trauma and its pathogenetic correction. Cand. tech. sci. diss.]. Omsk, Omsk State Medical Academy Publ., 2011. 112 p.
9. Korobkina D. V., Baranovskiy N. V. Evaluation different boundary condition in depth of tissue for the task of mathematical simulation of heat transfer in human skin. *MATEC Web of Conferences*, 2014, vol. 19, article no. 01035, pp. 1–6. doi: 10.1051/mateconf/20141901035.
10. Samarskiy A. A. *Teoriya raznostnykh skhem* [Theory of finite difference schemes]. Moscow, Nauka Publ., 1983, pp. 33–36.
11. Arkhangelskiy A. Ya. *Programmirovaniye v Delphi dlya Windows: versii 2006, 2007, Turbo Delphi* [Programming in Delphi for Windows: versions 2006, 2007, Turbo Delphi]. Moscow, Binom Publ., 2010. 1239 p.
12. Valendik E. N., Kosov I. V. Vliyaniye teplovogo izlucheniya lesnogo pozhara na okruzhayushchuyu sredu [Influence of thermal radiation of forest fire on environment]. *Sibirskiy ekologicheskiy zhurnal — Siberian Ecological Journal*, 2008, no. 4, pp. 517–523.
13. Hummel A., Lyons K. Skin burn translation model for evaluating hand protection in flash fire exposures. *Fire Technology*, 2014, vol. 50, no. 5, pp. 1285–1299. doi: 10.1007/s10694-013-0336-7.

14. Vildieva M. V. *Obosnovaniye primeneniya meksidapta v kompleksnom lechenii bolnykh s termicheskoy travmoy. Dis. kand. med. nauk* [Basis of mexidapt application in complex treatment of patients with a thermal trauma. Cand. med. sci. diss.]. Saransk, Mordovian State University Publ., 2009. 116 p.
15. Petter S., Fruhling A. Evaluating the success of Emergency Response Medical Information Systems. *International Journal of Medical Informatics*, 2011, vol. 80, no. 7, pp. 480–489. doi: 10.1016/j.ijmedinf.2011.03.010.
16. Bricon-Souf N., Verdier C., Flory A., Jaulent M. C. Theme C: Medical information systems and databases: results and future work. *IRBM*, 2013, vol. 34, pp. 9–10. doi: 10.1016/j.irbm.2012.12.010.
17. Baranovskiy N. V., Smirnov V. V., Yankovich E. P. Monitoring lesnoy pozharney opasnosti, obuslovlennoy deystviyem sfokusirovannogo solnechnogo izlucheniya s uchetom dannykh pribora MODIS [Monitoring of the forest fire danger caused by action of the focused sunlight taking into account data of device MODIS]. *Aviakosmicheskoye priborostroyeniye — Aerospace Instrument Making*, 2013, no. 10, pp. 7–15.
18. Baranovskiy N. V., Yankovich E. P. Otsenka i kartografirovaniye lesnoy pozharney opasnosti, obuslovlennoy deystviyem sfokusirovannogo solnechnogo izlucheniya, v geograficheskoy informatsionnoy sisteme [Estimation and mapping of the forest fire danger caused by action of the focused sunlight, in geographical information system]. *Pribory i sistemy. Upravleniye. Kontrol. Diagnostika — Devices and Systems. Management. Control. Diagnostics*, 2013, no. 12, pp. 8–15.
19. Baranovskiy N. V. Prognozirovaniye kolichestva lesnykh pozharov [Forecasting of forest fire quantity]. *Pozharnaya bezopasnost — Fire Safety*, 2007, no. 1, pp. 123–127.
20. Baranovskiy N. V. Landshaftnoye rasparallelivaniye i prognoz lesnoy pozharney opasnosti [Landscape parallelization and forecast of forest fire danger]. *Sibirskiy zhurnal vychislitelnoy matematiki — Siberian Journal of Numerical Mathematics*, 2007, vol. 10, no. 2, pp. 141–152.



# Издательство «ПОЖНАУКА»

## Предлагает книги

### А. Я. Корольченко, Д. О. Загорский КАТЕГОРИРОВАНИЕ ПОМЕЩЕНИЙ И ЗДАНИЙ ПО ВЗРЫВОПОЖАРНОЙ И ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ



В учебном пособии изложены принципы категорирования помещений и зданий по взрывопожарной и пожарной опасности, содержащиеся в современных нормативных документах. На примерах конкретных помещений рассмотрено использование требований нормативных документов к установлению категорий. Показана возможность изменения категорий помещений путем изменения технологии или внедрения инженерных мероприятий по снижению уровня взрывопожароопасности и повышению надежности технологического оборудования и процессов.

Пособие рассчитано на студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальностям «Пожарная безопасность», «Безопасность технологических процессов и производств», «Безопасность жизнедеятельности в техносфере», студентов строительных вузов и факультетов, обучающихся по специальности «Промышленное и гражданское строительство», сотрудников научно-исследовательских, проектных организаций и нормативно-технических служб, ответственных за обеспечение пожарной безопасности.

121352, г. Москва, а/я 43; тел./факс: (495) 228-09-03; e-mail: mail@firepress.ru