

УДК 612.59:004(076.5)

3D-моделирование тепловых процессов в системе «человек – окружающая среда»*

А.В. ЧИЧИНДАЕВ, Н.Н. ЕВТУШЕНКО, И.В. ХРОМОВА

Тепловое моделирование играет важную роль в многочисленных инженерных решениях, одним из которых является разработка более совершенных систем защиты. Поскольку проведение экспериментов является весьма дорогостоящим, целесообразно использовать численные методы моделирования для оптимизации изделий на ранних этапах проектирования. В работе рассматриваются вопросы 3D-моделирования тепловых процессов в расчетном элементе системы «человек – окружающая среда» с использованием современных программных средств, а также представлен первичный цикл исследований.

Ключевые слова: процессы тепло- и массообмена, 3D-моделирование, нестационарная теплопроводность, конвективный теплообмен, система термостабилизации, тепловая защита

ВВЕДЕНИЕ

В настоящий момент одной из актуальных задач является разработка физико-математических моделей живых систем. Данная задача имеет большое прикладное значение в области разработки и оптимизации элементов систем жизнеобеспечения, направленных на обеспечение теплового комфорта для человека в рамках системы «человек – окружающая среда». В частности, это относится к задаче защиты человека от переохлаждения при нахождении в условиях низких температур. Такие условия возникают при аварийном отключении систем кондиционирования в гермокабинах летательных аппаратов, приземлении экипажа в условиях зимнего периода или приводнении, а также при тренировочных работах в гидробассейне. Экспериментальные исследования в таком широком диапазоне параметров окружающей среды по фазовому состоянию, температуре и давлению крайне трудоемки. Одним из вариантов решения данной задачи является разработка компьютерных моделей процессов тепломассообмена в системе «человек – окружающая среда». Подобные модели позволяют проводить комплексные исследования в области разработки систем жизнеобеспечения, определять границы проводимых экспериментов и создавать модельные тренажеры для отработки экстремальных ситуаций, связанных с переохлаждением и перегревом человека. Также дают возможность существенно сокращать объемы или полностью отказываться от дорогостоящих испытаний индивидуальных средств тепловой защиты, определять эксплуатационные характеристики элементов, проводить анализ неисправностей и оценку характеристик разных вариантов конструкций, уменьшая тем самым затраты при разработке изделий.

Проведенные ранее исследования [1–3] позволили установить основные закономерности теплообмена в расчетных элементах и слоях, с учетом конвективного переноса тепла теплоносителем в широком диапазоне температур для холодной и горячей сред. Вместе с тем полученные ранее результаты относились к осредненным значениям температур по слоям расчетных элементов и не позволяли получать трехмерную картину распределения температур.

Целью настоящей работы была разработка методики 3D-моделирования тепловых процессов в расчетном элементе с использованием современных программных средств и выполнение первичного цикла исследований.

* Статья получена 18 июня 2013 г.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 09-08-00321-а, а также фонда фундаментальных НИР НГТУ в 2009 году.

Исследование проводилось путем расчета многослойной цилиндрической стенки в программном пакете COMSOL Multiphysics. Целью исследования являлись: построить геометрию модели в соответствии с заданными размерами, задать физические свойства слоев и граничные условия, произвести расчеты теплофизических параметров и провести проверку достоверности полученных данных.

1. ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ СИСТЕМЫ ТЕРМОСТАБИЛИЗАЦИИ

Человеческий организм можно рассматривать как систему с внутренними источниками тепла, находящуюся в состоянии теплообмена с внешней средой. Отличительной особенностью организма человека является способность поддерживать постоянную температуру внутренних органов (тепловой гомеостаз) при изменении температуры среды в достаточно широком диапазоне внешних условий [5].

Как и любая гомеостатическая система, система термостабилизации (СТС) состоит из трех главных звеньев: афферентного (терморецепторы – датчики); центрального (подотделы центральной нервной системы (ЦНС), отвечающие за СТС); эфферентного (исполнительные механизмы). В основе термостабилизации организма человека заложена совокупная работа всех трех звеньев, направленная на поддержание относительно постоянной температуры наиболее важных органов человека при минимальных затратах ресурсов организма (рис 1).



Рис. 1. Звенья и механизмы работы системы термостабилизации

Терморегуляция человеческого организма осуществляется в основном тремя способами (механизмами): биохимическим, физическим и гемодинамическим.

Биохимическая терморегуляция происходит за счет изменения интенсивности окислительных процессов (усиление при охлаждении и уменьшение при перегреве), обуславливающих образование тепла внутри организма. *Физическая терморегуляция* основывается на изменении интенсивности теплообмена с внешней средой (включение и выключение механизма потоотделения, конвективный теплообмен, излучение с поверхности кожи, изменение характеристик дыхательной деятельности и т. д.). *Гемодинамическая терморегуляция* производится за счет изменения интенсивности кровообращения, заключается в регулировании количества тепла, переносимого кровью между «ядром» (внутренними органами) и «оболочкой» (подкожными капиллярами).

«Оболочка» выступает эффективным слоем теплоизоляции и состоит из двух слоев: сети подкожных капилляров системы термостабилизации и жировой прослойки. Сеть подкожных капилляров является активным слоем теплоизоляции и участвует в процессе оттока теплоносителя из «оболочки» в «ядро» в начальной стадии охлаждения с целью уменьшить теплоотдачу в окружающую среду. Жировая прослойка служит пассивным слоем теплоизоляции. Она

расположена между активным слоем «оболочки» и средним слоем «ядра» и является термическим сопротивлением, препятствующим проникновению холода в «ядро» и сохраняющим его температуру (рис. 2).

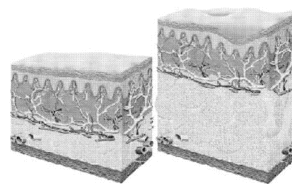


Рис. 2. Строение теплоизоляционной «оболочки»

При разработке моделей теплового комфорта человека наиболее сложной задачей является описание процессов конвективного переноса тепла теплоносителем между «ядром» и «оболочкой», а также учет геометрических размеров и переменности теплофизических параметров расчетных элементов и слоев. Анализ отечественной и зарубежной литературы показал, что часто в моделях системы терморегуляции это либо не учитывается, либо отражается упрощенно.

2. ОПИСАНИЕ МЕТОДИКИ РАСЧЕТА

Разработанная ранее модель расчета системы термостабилизации человека [1–3] позволила установить закономерности процесса теплообмена в системе «человек – окружающая среда» с учетом внутренних источников тепла, конвективного переноса тепла теплоносителем, теплофизических свойств и размеров расчетных элементов, а также с учетом влияния внешних физических факторов. На сегодняшний день наиболее сложной задачей является учет механизма конвективного переноса тепла с током крови. Для решения этой проблемы разработана принципиальная теплогидравлическая схема совместной работы кровеносной системы и системы терморегуляции человека (рис. 3). Разработанная методика расчета разделена на две части. В первой проводится расчет гидравлических характеристик кровеносной системы человека с целью установить массовые расходы теплоносителя на расчетные элементы в различных условиях внешней среды и с учетом морфологических особенностей организма. Во второй части проводится моделирование процессов теплообмена с учетом внутренних источников и конвективного переноса тепла в широком диапазоне параметров расчетных элементов и окружающей среды. Основная сложность моделирования связана с тем, что решаемая задача

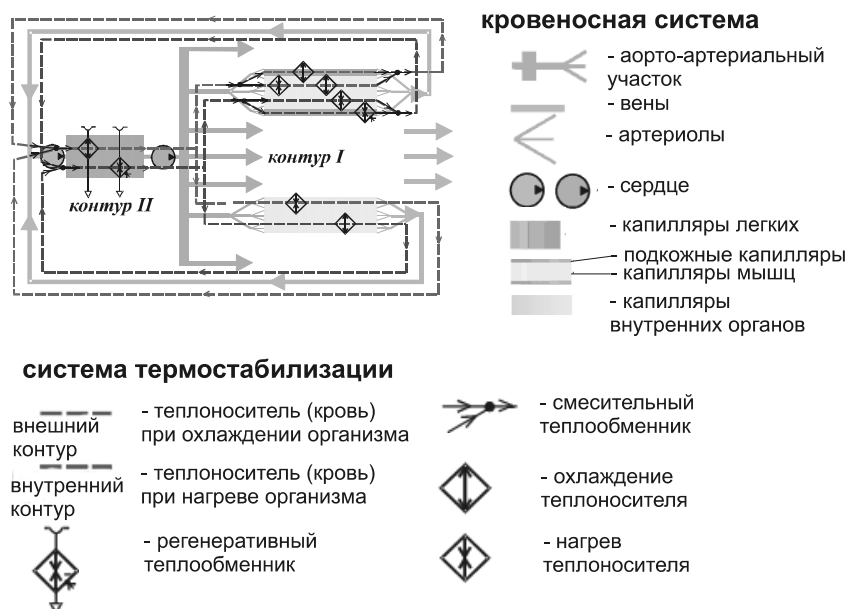


Рис. 3. Схема совместной работы кровеносной системы и системы термостабилизации человека

находится на стыке двух направлений: нестационарной теплопроводности с наличием внутренних источников тепла и конвективной теории теплообмена для объекта сложной формы и структуры. Для решения данной задачи предлагается комплексное теоретическое моделирование процессов конвективного переноса тепла теплоносителем между расчетными элементами и нестационарной теплопроводности между элементами и слоями при наличии внутренних источников тепла.

Расчетные элементы делятся на две характерные группы: внешние элементы, имеющие теплообмен с окружающей; и внутренние элементы, не имеющие теплообмена с окружающей средой. Внешние элементы состоят из двух параллельно соединенных слоев: подкожного слоя капилляров с переменными гидравлическими параметрами, зависящими от температуры окружающей среды; капилляров мышц, в которых происходит теплообмен между теплоносителем и тканями. Внутренние элементы состоят из одного слоя – капилляров тканей. Подкожный слой капилляров и жировая прослойка называются «оболочкой», а мышцы и внутренние ткани – «ядром». Все элементы первого контура подсоединены к насосу (сердцу) с помощью системы последовательно соединенных трубопроводов, имеющих три участка: аорту, артерии и артериолы. Каждый участок обладает характерным сочетанием гидравлических параметров (рис. 4).

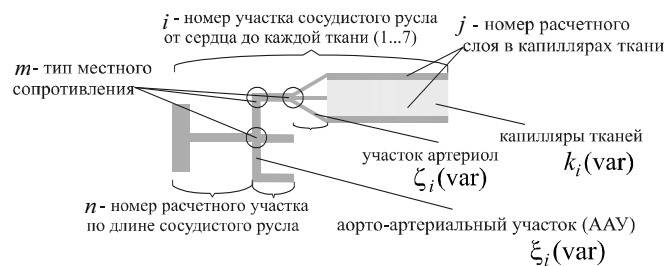


Рис. 4. Схема расчетных участков сосудистого русла

Методика расчета гидравлических характеристик в контуре теплоносителя состоит из трех этапов: расчет сопротивления участков контура, расчет перепадов давлений в контуре и расчет распределения теплоносителя между расчетными элементами и слоями [6, 7].

На втором этапе проводится моделирование процессов тепломассообмена с учетом внутренних источников и конвективного переноса тепла в широком диапазоне параметров расчетных элементов и окружающей среды.

В качестве расчетного элемента выбирается участок длиной dl (рис. 5), представляющий собой пятислойную цилиндрическую стенку, в каждом слое которой наблюдается разное сочетание теплообменных процессов.

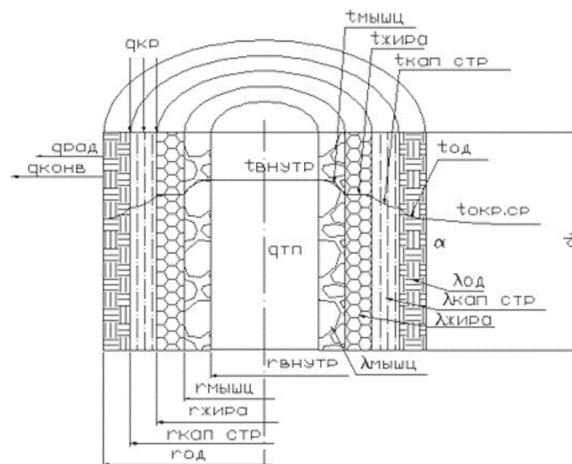


Рис. 5. Расчетный элемент системы термостабилизации

Внутренний слой (ядро) радиусом $r_{\text{внутр}}$ не имеет теплообмена с окружающей средой. В простейшем случае – кость – служит тепловой емкостью. В более сложном – внутренние органы – имеют внутренние источники тепла $q_{\text{мет}}$ и конвективный перенос тепла теплоносителем по длине слоя $q_{\text{кр}}^{\text{внутр}}$.

В *среднем слое* (мышечная ткань) толщиной $\delta_{\text{ткани}} = r_{\text{ткани}} - r_{\text{внутр}}$ по длине слоя происходит конвективный перенос тепла теплоносителем. Причем выделяется два вида переноса тепла: первый $q_{\text{кр1}}^{\text{ткани}}$ – с прямым током теплоносителя (по артериям и артериолам), второй $q_{\text{кр2}}^{\text{ткани}}$ – с обратным (по венам и венулам). Присутствуют объемные внутренние источники тепла $q_{\text{тп}}$. Теплоотдача с окружающей средой зависит от состояния и параметров слоя теплоизоляции $\delta_{\text{СТР}}$.

Внешний слой (оболочка) малой толщины $\delta_{\text{СТР}} = r_{\text{кап_СТР}} - r_{\text{ткани}}$ (слой активной теплоизоляции – подкожные капилляры СТС) участвует в процессе теплоотдачи с окружающей средой за счет радиационной $q_{\text{рад}}$ и конвективной $q_{\text{конв}}$ составляющих. По длине слоя происходит конвективный перенос тепла теплоносителем (кровью) $q_{\text{кр}}^{\text{СТР}}$. Внутренние тепловыделения отсутствуют. Пассивный слой теплоизоляции (подкожный жир) $\delta_{\text{жир}} = r_{\text{кап_СТР}} - r_{\text{жир}}$. Внутренние тепловыделения и конвективный перенос тепла отсутствуют.

Слой одежды малой толщины $\delta_{\text{од}} = r_{\text{од}} - r_{\text{кап_СТР}}$ участвует в процессе теплоотдачи с окружающей средой за счет испарительной $q_{\text{исп}}$ и конвективной $q_{\text{конв}}$ составляющих. Внутренние тепловыделения отсутствуют. В настоящей работе не рассматривается.

В общем виде уравнение теплопроводности с наличием внутренних источников тепла в цилиндрических координатах имеет вид [4]

$$c_j \rho_j \frac{\partial T_j}{\partial \tau} = \lambda_j \left(\frac{\partial^2 T_j}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T_j}{\partial r} \right) + \lambda_j \frac{\partial^2 T_j}{\partial z^2} + q_v.$$

Изменение теплового потока по длине слоя за счет процесса теплопроводности принимается равным нулю:

$$\lambda_j \frac{\partial^2 T_j}{\partial z^2} = 0.$$

Внутренние источники тепла делятся на два вида. Первый $q_{\text{внутр}}$ – теплопродукция мышц $q_{\text{тп}}$ и внутренних органов $q_{\text{мет}}$, второй – конвективный перенос тепла теплоносителем по длине слоя $q_{\text{кр}}$. При этом делается допущение о том, что ввиду малых размеров капилляров теплообмен между теплоносителем и тканями протекает с КПД = 1 до полного теплового равновесия.

$$q_v = q_{\text{внутр}} + q_{\text{кр}}.$$

Исходя из принятых допущений в рамках рассматриваемой модели, система нестационарных одномерных дифференциальных уравнений теплопроводности для исследуемой задачи имеет следующий вид.

Внутренний слой (внутренности)

$$0 < \tau < \tau_{\text{max}}, \quad 0 < r < r_{\text{внутр}}, \quad 0 < z < l_i;$$

$$c_3 \rho_3 \frac{\partial T_3}{\partial \tau} = \lambda_3 \left(\frac{\partial^2 T_3}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T_3}{\partial r} \right) + q_{\text{мет}} + q_{\text{кр}}^{\text{внутр}}. \quad (1)$$

Средний слой (мышцы)

$0 < \tau < \tau_{\max}, r_{\text{внутр}} < r < r_{\text{ткани}}, 0 < z < l_i$:

$$c_2 \rho_2 \frac{\partial T_2}{\partial \tau} = \lambda_2 \left(\frac{\partial^2 T_2}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T_2}{\partial r} \right) + q_{\text{тп}} + q_{\text{кр}}^{\text{мышцы}}. \quad (2)$$

Внешний слой (слой теплоизоляции)

Толщина слоя теплоизоляции $\delta_{\text{СТР}} \ll r_{\text{кап_СТР}}$, поэтому для расчета теплопроводности в слое можно использовать уравнение теплопроводности для плоской стенки.

$0 < \tau < \tau_{\max}, r_{\text{ткани}} < r < r_{\text{кап_СТР}}, 0 < z < l_i$:

$$c_1 \rho_1 \frac{\partial T_1}{\partial \tau} = \lambda_1 \frac{\partial^2 T_1}{\partial r^2} + q_{\text{кр}}^{\text{СТР}}. \quad (3)$$

Слой одежды

Толщина слоя одежды $\delta_{\text{од}} \ll r_{\text{од}}$, поэтому для расчета теплопроводности в слое можно использовать уравнение теплопроводности для плоской стенки.

$0 < \tau < \tau_{\max}, r_{\text{кап_СТР}} < r < r_{\text{од}}, 0 < z < l_i$:

$$c_{\text{од}} \rho_{\text{од}} \frac{\partial T_{\text{од}}}{\partial \tau} = \lambda_{\text{од}} \frac{\partial^2 T_{\text{од}}}{\partial r^2} + q_{\text{исп}}. \quad (4)$$

Граничные условия для системы (1)–(4) записываются в виде:

$$1) r = 0, 0 < z < l: -\lambda_3 \frac{\partial T_3}{\partial r} = \eta_{\text{мет}} q_{\text{мет}},$$

$$q_{\text{мет}} (1 - \eta_{\text{мет}}) = q_{\text{кр}}^{\text{внутр}};$$

$$2) r = r_{\text{внутр}}, 0 < z < l: -\lambda_2 \frac{\partial T_2}{\partial r} = -\lambda_3 \frac{\partial T_3}{\partial r},$$

$$T_2 = T_3 = T_{\text{внутр}};$$

$$3) r = r_{\text{ткани}}, 0 < z < l: -\lambda_1 \frac{\partial T_1}{\partial r} = -\lambda_2 \frac{\partial T_2}{\partial r},$$

$$T_1 = T_2 = T_{\text{ткани}}; \quad (5)$$

$$4) r = r_{\text{кап_СТР}}, 0 < z < l: T_1 = T_{\text{кап_СТР}} = T_{\text{од}},$$

$$-\lambda_1 \frac{\partial T_1}{\partial r} = -\lambda_{\text{од}} \frac{\partial T_{\text{од}}}{\partial r} + q_{\text{кр}}^{\text{СТР}};$$

$$5) r = r_{\text{од}}, 0 < z < l: T_0 = T_{\text{од}},$$

$$-\lambda_0 \frac{\partial T_0}{\partial r} = \varepsilon_n \cdot \varepsilon_0 \left[\left(\frac{T_{\text{од}}}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{\text{окр.ср}}}{100} \right)^4 \right] + \alpha (T_{\text{од}} - T_{\text{окр.ср}}).$$

Начальные условия для системы (1)–(4)

при $\tau = 0$:

$$T_1 = T_2 = T_3 = T_0 = 36,7. \quad (6)$$

Для поставленной задачи получение аналитического решения системы уравнений (1)–(4) затруднительно, так как для точного решения требуются данные о теплофизических свойствах тканей в зависимости от морфологических особенностей организма, которые отсутствуют в литературе. Существует много различных приближенных методов расчета задач о теплопро-

водности, которые приводят к удовлетворительным для инженерной практики результатам. В настоящей работе применяется приближенный метод элементарных балансов [4]. В итоге система уравнений для расчетного элемента принимает следующий вид:

$$\begin{cases} c_{i\text{ од}} \rho_{i\text{ од}} \frac{\Delta T_{i\text{ од}}}{\Delta \tau} = \pm q_{\text{конв } i\text{ од}} \pm q_{\text{исп } i\text{ од}}, \\ c_{i3} \rho_{i3} \frac{\Delta T_{i3}}{\Delta \tau} = \pm q_{\text{мет } i3} \pm q_{\text{кр } i3}^{\text{внутр}}, \\ c_{i2} \rho_{i2} \frac{\Delta T_{i2}}{\Delta \tau} = \pm q_{\text{мн } i2} \pm q_{\text{кр } i2}^{\text{мышцы}}, \\ c_{i1} \rho_{i1} \frac{\Delta T_{i1}}{\Delta \tau} = \pm q_{\text{рад } i1} \pm q_{\text{конв } i1} \pm q_{\text{кр } i1}^{\text{стр}}. \end{cases} \quad (7)$$

Расчетный элемент разбивается на ряд элементарных геометрических объемов, в пределах которых закон изменения температуры может быть принят линейным. Расчетными точками являются места пересечения плоскостей разбивки. Для выбранного участка принимается следующее допущение: в каждый текущий момент времени процесс теплообмена с окружающей средой является стационарным. Процесс распространения теплоты определяется значениями эффективного коэффициента теплопроводности, удельной теплоемкости и плотности. Плотность и удельная теплоемкость в пределах элемента изменяется незначительно и считается постоянной. Эффективный коэффициент теплопроводности принимается линейной функцией температуры.

Таким образом, математическое описание расчетного элемента модели СТС человека представляет собой систему обыкновенных дифференциальных уравнений (7), с граничными (5) и начальными (6) условиями.

Система термостабилизации человека состоит из восьми расчетных элементов разной геометрической формы и с различным количеством расчетных слоев. Расчетные элементы условно делятся на три вида: четырехслойный цилиндр (верхняя и нижняя части туловища), трехслойный цилиндр (руки и ноги) и четырехслойная шаровая стенка (голова) [7].

Разработанная 3D-модель является визуализацией одного из расчетных элементов (рис. 1) численной модели расчета системы терморегуляции человека [1, 2], что позволяет сравнить результаты вычисления с результатами численного моделирования и экспериментальными данными.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе исследованы поля температур поверхности теплопередачи и термические напряжения для различных вариантов конструкций теплообменника. При этом основное внимание обращено на поиск таких оптимальных распределений температур вдоль теплопередающей поверхности (пластины), при которых наблюдается снижение температурных напряжений в теплообменнике. В результате исследований выполнен анализ влияния переменного соотношения термических сопротивлений RR на уменьшение перепадов температур вдоль теплопередающей поверхности. С помощью оптимизации параметров оребрения получены варианты конструкции теплообменника с благоприятным перераспределением температур теплообменной поверхности, снижающим температурные напряжения в теплообменнике и позволяющим продлить ресурс теплообменников, работающих в теплонпряженных условиях.

В работе приведены разработанные на основании многолетних исследований критерии и алгоритмы для проведения комплексной оптимизации конструкции компактного пластинчато-ребристого теплообменника. Усовершенствованный пакет программ позволяет проводить определение конструктивных параметров теплообменника в широком диапазоне режимных и геометрических параметров. Работа представляет интерес для специалистов, занимающихся проектированием компактных пластинчато-ребристых теплообменников, работающих в нестационарных высокотемпературных условиях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Чичиндаев А.В. Моделирование тепловых процессов системы «человек – окружающая среда» в условиях низких температур / А.В. Чичиндаев, И.В. Хромова // Научный вестник НГТУ. – 2009. – № 4. – С. 197–201.
- [2] Хромова И.В. Исследование тепловых процессов в системе «человек – окружающая среда» в условиях низких температур: автореф. дис. ... канд. техн. наук. / И.В. Хромова. – Новосибирск, 2009.
- [3] Чичиндаев А.В. Моделирование тепловых процессов системы «человек – окружающая среда» в условиях высоких температур / А.В. Чичиндаев, Н.Н. Евтушенко // Энергетика и теплотехника. – 2011. – Вып. 16. – С. 193 – 199.
- [4] Исаченко В.П. Теплопередача / В.П. Исаченко, В.А. Осипова, А.С. Сукомел. – М.: Энергоиздат, 1981.
- [5] Клиневич Г.Н. Поражение холодом / Г.Н. Клиневич. – Л.: Медицина, 1973.
- [6] Чичиндаев А.В. Исследование воздействия эффекта вращения крови на гемодинамические параметры кровеносной системы человека / А.В. Чичиндаев, И.В. Фомичева // Авиакосмическое приборостроение. – 2006. – № 7 – С. 38–42.
- [7] Чичиндаев А.В. Численное моделирование кровеносной системы человека / А.В. Чичиндаев, И.В. Фомичева, В.В. Толстошеева // Авиакосмическое приборостроение. – 2006. – № 11 – С. 35–46.

REFERENCES

- [1] Chichindaev A.V. Modelirovanie teplovykh processov sistemy «chelovek – okruzhajushhaja sreda» v usloviyah nizkih temperatur / A.V. Chichindaev, I.V. Hromova // Nauchnyj vestnik NGTU. – 2009. – № 4. – S. 197–201.
- [2] Hromova I.V. Issledovanie teplovykh processov v sisteme «chelovek–okruzhajushhaja sreda» v usloviyah nizkih temperatur: avtoref. dis. ... kand. – Novosibirsk, 2009.
- [3] Chichindaev A.V., Evtushenko N.N. Modelirovanie teplovykh processov sistemy «chelovek–okruzhajushhaja sreda» v usloviyah vysokih temperatur // Jenergetika i teplotehnika. – 2011. – Vyp. 16. – S. 193–199.
- [4] Isachenko V.P., Osipova V.A., Sukomel A.S. Teploperedacha. – M.: Jenergoizdat, 1981.
- [5] Klinevich G.N. Porazhenie holodom. – L.: Medicina, 1973.
- [6] Chichindaev A.V., Fomicheva I.V. Issledovanie vozdeystvija jeffekta vrashhenija krovi na gemodinamicheskie parametry krovenosnoj sistemy cheloveka // Aviakosmicheskoe priborostroenie. – 2006. – № 7 – S. 38–42.
- [7] Chichindaev A.V., Fomicheva I.V., Tolstosheeva V.V. Chislennoe modelirovanie krovenosnoj sistemy cheloveka // Aviakosmicheskoe priborostroenie. – 2006. – № 11.

Чичиндаев Александр Васильевич, доктор технических наук, заведующий кафедрой технической теплофизики. Основное направление научных исследований – теплофизика, теоретическая теплотехника. Имеет 3 учебника и одно учебное пособие с грифом УМО вузов Российской Федерации в области авиации, ракетостроения и космоса. 1 монография, более 77 печатных работ, в том числе 23 статьи в ведущих научных журналах, входящих в перечень, рекомендованный ВАК РФ. E-mail: ttf_nstu@rambler.ru

Хромова Ирина Владимировна, кандидат технических наук, доцент кафедры технической теплофизики. Основное направление научных исследований – теплофизика, теоретическая теплотехника. Имеет более 18 печатных работ, в том числе 7 статей (в соавторстве) в ведущих научных журналах, входящих в перечень, рекомендованный ВАК РФ. E-mail: ttf_nstu@rambler.ru

Евтушенко Наталья Николаевна, ассистент кафедры технической теплофизики. Основное направление научных исследований – теплофизика, теоретическая теплотехника. Имеет более 10 печатных работ. E-mail: evtushenko-nn@mail.ru

A.V. Chichindaev, N.O. Yevtushenko, I.V. Khromova

3D-modeling of thermal processes in the system «human organism – environment»

Research of the thermic resistance effectiveness of thermal insulation in the system «human organism – environment». A.V. Chichindaev, N.O. Yevtushenko, I.V. Khromova. The paper deals with the problems of thermal processes modeling, which occur in the elements of the system "human organism-environment". The simulation method of heat transfer processes in the human thermoregulatory system (HTS) is presented. Mechanisms of HTS aimed to support thermal comfort described. the influence of environmental parameters, power of internal heat sources, thermal properties and thickness of the thermal insulation layers on the efficiency of their thermal resistance investigated. The distinctive features of the proposed method of calculation of heat transfer processes in the system " human organism - environment" is the consideration of the convective heat transfer between the "core" and "shell". According to the results of development carried out modeling studies of thermal resistance layers of active and passive insulation. The results may be useful in the development of the systems individual protection and rehabilitation from thermal overheating and overcooling.

Key words: processes of heat and mass transfer, nonstationary heat conduction, convective heat transfer, thermal stabilization system, thermal protection, investigation of thermal processes, system «human organism – environment», the low and high temperature.