

**Секция «Инженерные инновации в текстильной
и легкой промышленности»,
научный руководитель – Черунова И.В., д-р техн. наук, профессор**

**АСПЕКТЫ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ
ТЕПЛОВОГО ОБМЕНА
С ТЕЛОМ ЧЕЛОВЕКА**

Галузо Ю.А., Черунова И.В., Куренова И.В.

*Южно-Российский государственный университет
экономики и сервиса, Шахты, e-mail: el_s@list.ru;
Южно-Российский государственный технический
университет, Новочеркасск*

Для развития технологий проектирования защитной одежды необходима разработка формальных методов расчета ее эффективных параметров, обеспечивающих температурные режимы тела человека в допустимом термофизиологическом режиме.

Проблема математического моделирования процессов теплообмена в организме человека была рассмотрена в ряде работ, посвященных нормированию, прогнозированию и регулированию теплового состояния человека. Часть из них базируется на принципах, заложенных авторами Столвик, Харди [1]. В основе данных моделей лежит принцип идеализации человеческого тела. Данные работы основаны на представлении человеческого тела как совокупности геометрических элементов, большинство из которых являются цилиндрами. Организм человека рассматривается как система взаимодействующих составляющих одного целого. Такими составляющими являются слои выделенных цилиндров: ядро, мышцы, жир, кожа. Эти слои образуют элементы системы, то есть части тела человека, названные сегментами. В большинстве работ таких сегментов выделяют: голова, туловище, рука, ладонь, нога, стопа. Математическая модель Столвика [1] рассматривает тепловое состояние человека как изолированного объекта, без одежды. Этот подход позволяет математически представить процесс теплообмена человека вне действия на него внешних факторов, в том числе тепловых раздражителей. С точки зрения геометрического представления аналогичным образом рассматривается тело человека в других работах, где элементы тела представляют собой цилиндры различной величины, а голова – сферу.

В работе [2] математическая модель терморегуляции человека рассматривает его аналогично выше рассмотренной модели, то есть изолированной системой, а среди составляющих системы выделены мозг, кожа головы, внутренние органы, мышцы туловища, кожа туловища, мышцы конечностей, кожа конечностей, кровь. В основе терморегулирующей функции лежат способность человеческого организма к потере излишнего тепла и регулирующее свойство кровотока. Однако модель учитывает нормативную величину потери тепла, когда не происходит усиленного потоотделения, а теплоотдача испарением составляет постоянно величину и равна 20% от общей теплоотдачи [3].

В работе [4] математическая модель описывает «тепловое состояние человека в одежде с обогревом, но не учитывает испарительных теплопотерь с поверхности кожи и при дыхании, которые могут достигать 27% общих теплопотерь организма. Обогрев осуществляется конвективным теплом, которое не оказывает прямого контактного действия на поверхность тела человека и не является предметом

ограничения эргономических показателей конструкции одежды. Многочисленные человеческие биотепловые модели были развиты в прошлые несколько десятилетий с целью расчета человеческого теплового поля и оценки потерь тепла тела в устойчивой и однородной тепловой окружающей среде при различных уровнях активности, чтобы связать человеческий терм регуляционный аппарат. Развитие началось с аналитических биотепловых моделей Pennes, Weinbaum, Jiji [5,6], содержащими два узла «ядро» и «кожа», с работой Gagge [7] развитие перешло к моделям единственного сегмента и мультисегмента (мультиузла) человеческого тела и решение терморегуляции, которые были первоначально развили Stolwijk (Столвик) и Wissler. Последующие биотепловые модели были расширениями и улучшениями мультисегментной модели, так как экспериментальные данные о человеческой физиологии и человеческой сердечно-сосудистой системы стали более доступными. Мультисегментальные биотепловые модели основаны на теориях физиологии, термодинамики и транспортных процессов для моделирования тепловых распределений всего человеческого тела или его части.

Существенное развитие математических моделей для проектирование одежды в виде систем «Человек-одежда-среда» было сделано в работах Бринка И.Ю. [4], Черуновой И.В. [8], где введен учет теплотворных органов, влияющих на состояние системы в условиях перегрева, и решение задач теплопередачи послойно с учетом внешних теплоизолирующих слоев в условиях холодной среды.

Однако изученные модели систем «Человек-Среда», «Человек-одежда-среда», до настоящего времени не учитывали динамические изменения исходных параметров изолирующих человека слоев для оценки равномерности теплозащиты по поверхности человека. Именно такая проблема наблюдается в системах с одеждой, которая деформируется в процессе эксплуатации, теряя на отдельных участках неустойчивой защиты исходную толщину пакета материалов, меняя при этом и теплопроводность и плотность пакета под воздействием жидких агрессивных веществ в незащищенных участках. Это обосновывает актуальность развития направления задач математического моделирования систем с телом человека в деформируемых оболочках.

Одним из направлений деформации изолирующих защитных оболочек для человека являются деформации геометрических характеристик пакета материалов под воздействием сырой нефти, попадающей в качестве загрязнения на поверхность одежды. Учет такого параметра воздействия на сегодняшний день в существующих математических моделях рассмотренного направления не выявлен.

При этом экспериментально установлена зависимость изменения толщины теплоизолирующей многослойной оболочки на человеке под воздействием нефти (рисунок).

Полученная зависимость представляет собой раздел исходной информации для развития математического моделирования систем с переменными характеристиками объемных многослойных оболочек человека.

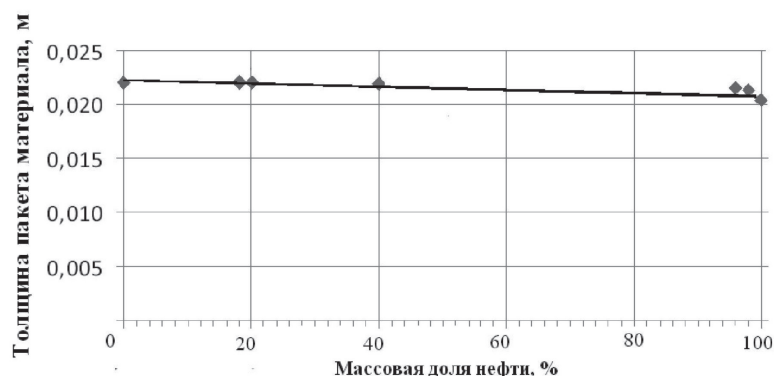


Рисунок. Зависимость толщины утепляющего пакета материалов от массы впитанной нефти

Список литературы

1. Stolwijk J.A.J., Hardi J.D. *Matematikal model of physiological temperature regulation in man*. Washington, 1971.
2. Ермакова И.И. Исследование динамических процессов в системе терморегуляции человека методом цифрового моделирования. Дисс. на соиск. уч. ст. к.т.н. – Киев. – 1974. – 162с.
3. Бартон А.С., Эдхолм О.Ж. Человек в условиях холода. – М.: Иностранная литература, 1957. – 346 с.
4. Бринк, И.Ю. Методологические основы проектирования одежды с перо-пуховым наполнителем [Текст]: диссертация ... доктора технических наук: 05.19.04 / Бринк Иван Юрьевич. – Новочеркасск, 1995. – 305 с.: ил. – Библиогр.: с. 289-305.
5. Sharma P.R. Numerical Study of Heat Propagation in Living Tissue Subjected to Instantaneous Heating / P.R. Sharma, Sazid Ali, V.K. Katiyar // *Indian Journal of Biomechanics: Special Issue (NCBM 7-8 March 2009)*. – 205-209.
6. Jonathan W. Valvano. Analysis of the Weinbaum-Jiji Model of Blood Flow in the Canine Kidney Cortex for Self-Heated Thermistors / Jonathan W. Valvano, Sungwoo Nho, Gary T. Anderson // Valvano, Nho and Anderson, May 7, 1999.
7. Satoru Takada. Thermal model of human body temperature regulation considering individual difference / Satoru Takada, Hiroaki Kobayashi, Takayuki Matsushita // *Proceedings: Building Simulation*. – 2007. – P. 725-731.
8. Черунова И.В. Математическое моделирование в рамках гибкого проектирования теплозащитной одежды / И.В. Черунова // *Швейная промышленность*. – 2006. – № 5. – С. 37-38.

**ИННОВАЦИОННЫЙ ПОДХОД
К ПРОЕКТИРОВАНИЮ ТЕПЛОЗАЩИТНОГО
ПАКЕТА ДЛЯ АНТИЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОЙ
ОДЕЖДЫ¹**

Кононова О.В., Меркулова А.В., Черунова И.В.

ФГБОУ ВПО «Южно-Российский государственный университет экономики и сервиса»,
Шахты, e-mail: el_s@list.ru

Одним из инновационных направлений развития современной промышленности является активное взаимодействие отраслевого бизнеса, фундаментальных и прикладных направлений науки. Обусловленные потребностями общества и научно обоснованные изменения методик, технологий, а также характеристик материалов и объектов в целом, позволяют кардинально изменять наши возможности, быт и представления о тенденциях дальнейшего развития техники и технологий. Использование научного подхода к задаче модификации материалов, применяемых в легкой промышленности при производстве таких потребительских товаров как одежда, обувь, галантерея и т.д., позволяет получать огромное количество современных, отличающихся многообразием физических, технологических и эксплуатационных свойств материалов. Именно это многообразие обеспечивает возможность создавать конструкции

изделий, максимально соответствующие запросам потребителей.

Необходимо отметить, что исследования, направленные на создание материалов с новыми свойствами, одновременно с улучшением потребительских характеристик материалов позволяют решать экономические задачи уменьшения себестоимости конечного продукта.

Сегодня швейная промышленность, являясь отраслью легкой промышленности, успешно решает актуальную задачу – защиту человека от негативных факторов окружающей среды обусловленной как климатическими, так и техногенными условиями.

Так защиту человека от низких температур и ветра обеспечивает теплозащитный пакет, который традиционно представляет собой совокупность нескольких слоев материалов в многослойной одежде. В зимней специальной одежде, как правило, используются конструкции пакетов, представленные на рисунке, где присутствуют материал верха, ветрозащитная ткань, утеплитель и подкладочная ткань. Специфика и особенности климатических условий обширных северных районов нашей страны не позволяют использовать единую унифицированную теплозащитную одежду по всей ее территории. Еще более сложной конструкторской задачей является проектирование теплозащитного пакета, учитывающего производственные условия и характер работ, выполняемых человеком, использующим этот вид одежды.

В направлении модернизации теплозащитного пакета одежды с целью уменьшения его влагоёмкости и последующей рекомендацией к эксплуатации в климатических зонах с низкой температурой окружающей среды, но повышенной влажностью воздуха, в состав стандартной перопуховой утепляющей смеси, характеризующейся высокой степенью гигроскопичности был введен синтетический утеплитель – холлофайбер [1], гигроскопичность которого незначительна.

Проведенные исследования и последующие оценки упругих и теплозащитных свойств модернизируемого пакета одежды позволили определить долевой состав комплексной смеси несвязного утеплителя на основе перопуховой составляющей, обеспечивающей сохранение теплозащитных характеристик и одновременное снижение влагоёмкости и материалоемкости пакета в целом. Комплексная утепляющая смесь, рекомендуемая к применению для эксплуатации при низких температурах и повышенной влажности, имеет следующий долевой состав: пух – 80 %, перо – 10 %, холлофайбер – 10 % [2].

¹ Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки России в рамках ФЦП по гранту № 14.В37.21.0086.