

**ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ТЕПЛОЗАЩИТНЫХ СВОЙСТВ
МНОГОСЛОЙНОЙ ОДЕЖДЫ
В УСЛОВИЯХ ВОЗДЕЙСТВИЯ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУР**

**PREDICTION OF THERMAL PROPERTIES
OF THE MULTILAYER CLOTHING
UNDER CONDITIONS OF EXPOSURE TO LOW TEMPERATURES**

H.C. МОКЕЕВА, В.А. ЗАЕВ, Р.О. ЖИЛИСБАЕВА
N.S.MOKEYEVA, V.A.ZAEV, R.O. ZHILISBAYEVA

(Новосибирский технологический институт (филиал)
Московского государственного университета дизайна и технологии,
Новосибирский государственный университет экономики и управления "НИНХ",
Алматинский технологический университет, Республика Казахстан)
(Novosibirsk technological Institute (branch) of Moscow State University of Design and Technology,
Novosibirsk State University of Economics and Management "NINH",
Almaty Technological University, Republic of Kazakhstan)
E-mail: tdshi2006@yandex.ru; rau_45@mail.ru

В работе рассмотрена проблема прогнозирования теплозащитных свойств многослойной одежды в условиях воздействий низких температур. Предложена методика расчета теплового баланса в системе "человек–одежда–окружающая среда", позволяющая учитывать индивидуальные физические особенности человека, интенсивность выполняемых нагрузок, тепло-физические характеристики используемых материалов, а также внешние природно-климатические условия. Представлены результаты расчетов температуры для костюма горнолыжника, эксплуатируемого в фазах прохождения трассы и состояния покоя.

The paper considers the problem of predicting the properties of multi-layer heat-shielding clothes at low temperature effects. The method of calculating the heat balance in the system "man-clothing-environment" that allows you to take into account individual physical characteristics of a person, the intensity of the running load, heat-physical characteristics of the materials used, as well as the external climatic conditions. Presented temperature calculations for costume skier, operated in phases passage of a line and rest.

Ключевые слова: тепловой баланс, терморегуляция, многослойный пакет одежды, система "человек–одежда–окружающая среда", уравнение теплопроводности.

Keywords: heat balance, thermoregulation, layered clothing package, system "person-clothes-environment" equation, heat equation.

Появление современных высокотехнологичных тканей и утеплителей открывает широкие возможности для создания одежды как для широкого спектра применения, так и для узкоспециализированной, например, одежды для зимних видов спорта, когда человеку приходится выполнять

физические нагрузки различной интенсивности в широком диапазоне неблагоприятных внешних условий. Теплозащитные свойства одежды зависят от сочетания материалов в пакете, поэтому представляют интерес вопросы оценки эффективности таких комплектов.

В работах [1], [2] на основе методов имитационного и оптимизационного моделирования рассматриваются задачи формирования многослойных теплозащитных пакетов, однако в них не учитываются физические характеристики человека, интенсивность выполняемых нагрузок и воздействие внешних условий. Важность таких оценок обусловлена прежде всего тем, что при переохлаждении замедляется работа мышц и ухудшается координация движений [3].

В таких условиях актуальными становятся вопросы оценки теплозащитных характеристик одежды как элемента дополнительной искусственной системы термостабилизации в зависимости от физической активности человека и внешних природно-климатических условий и времени воздействия.

Для решения поставленной задачи тело человека условно представим в виде цилиндров различной геометрической формы (руки, ноги, туловище) с разными сочетаниями тепловых процессов, связанных между собой гидравлической системой [4]. В этом случае элементы одежды можно представить в виде многослойной цилиндрической оболочки с внутренним источником тепла, в каждом слое которой происходят теплообменные процессы. При этом принято, что внутренний слой представляет собой кожный покров человека, в котором процесс теплопродукции моделируется наличием в нем источника тепла, внешний слой участвует в процессе теплоотдачи с окружающей средой за счет радиационной и конвективной составляющих, а в промежуточных слоях происходит перенос тепла за счет теплопроводности материала.

Перенос теплоты в осевом направлении значительно меньше, чем в радиальном, поэтому ими можно пренебречь. Геометрические размеры и теплофизические характеристики в каждом слое одежды принимаются постоянными. Толщина слоя намного меньше радиуса цилиндра, поэтому для расчета температуры можно использовать уравнение теплопроводности для плоской стенки.

Не ограничивая общности, в дальнейшем ограничимся рассмотрением трех-

слойной оболочки, включающей кожный покров (внутренний слой), слой термобелья и ветрозащитный костюм. В соответствии с принятыми допущениями система нестационарных дифференциальных уравнений теплопроводности для соответствующих слоев одежды будет иметь вид

$$c_1 \rho_1 \frac{\partial T_1}{\partial t} = \lambda_1 \frac{\partial^2 T_1}{\partial r^2} + q_{\text{вн}}, r_0 \leq r \leq r_1, \quad (1)$$

$$c_2 \rho_2 \frac{\partial T_2}{\partial t} = \lambda_2 \frac{\partial^2 T_2}{\partial r^2}, r_1 \leq r \leq r_2, \quad (2)$$

$$c_3 \rho_3 \frac{\partial T_3}{\partial t} = \lambda_3 \frac{\partial^2 T_3}{\partial r^2}, r_2 \leq r \leq r_3, \quad (3)$$

где r – текущий радиус; c_i – удельная теплоемкость i -го слоя; ρ_i – плотность материала i -го слоя; λ_i – коэффициент теплопроводности материала i -го слоя; T_i – температура i -го слоя; t – текущее время; $q_{\text{вн}}$ – теплопродукция мышц и внутренних органов; r_0 – внутренний радиус первого слоя; r_1 – внешний радиус первого слоя; r_2 – внешний радиус термобелья; r_3 – внешний радиус теплозащитного костюма.

С учетом того, что на любой момент времени между слоями должно выполняться условие равенства температур и тепловых потоков, граничные и начальные условия для данной системы могут быть записаны следующим образом:

$$r = r_0, \quad -\lambda_1 \frac{\partial T_1}{\partial r} = q_{\text{вн}}, T_1 = T_0, \quad (4)$$

$$r = r_1, \quad -\lambda_1 \frac{\partial T_1}{\partial r} = -\lambda_2 \frac{\partial T_2}{\partial r}, T_1 = T_2, \quad (5)$$

$$r = r_2, \quad -\lambda_2 \frac{\partial T_2}{\partial r} = -\lambda_3 \frac{\partial T_3}{\partial r}, T_2 = T_3, \quad (6)$$

$$r = r_3, \quad -\lambda_3 \frac{\partial T_3}{\partial r} = \varepsilon_0 c_0 (T_3^4 - T_{\text{ок}}^4) + \alpha (T_p - T_{\text{ок}}), \quad (7)$$

$$t = 0, \quad T_0 = T_1 = T_2 = T_3 = 37^\circ\text{C}, \quad (8)$$

где $T_{\text{ок}}$ – температура окружающей среды; ε_0 – постоянная Стефана-Больцмана; α – коэффициент теплоотдачи поверхности; c_0 – излучательная способность материала.

Система соотношений (1)...(8) позволяет рассчитать температуру в слоях одежды на различные моменты времени в зависимости от заданных начальных и граничных условий.

Численные расчеты по оценке эксплуатационных характеристик проводили для двухслойного комплекта горно-лыжной

одежды спортсмена-паралимпийца с частичным параличом нижних конечностей, у которого моделировалось снижение кровообращения ног на 2,0%. Для комплекта термобелья выбрано трикотажное полотно компании Pontetorto с тепловым сопротивлением 1,66 кло, имеющее в своем составе овечью шерсть, предотвращающую потери тепла, и полиэстер, эффективно выводящий влагу. Для анатомического комбинезона использовали эластичное воздухо-

проницаемое полотно того же производителя, которое имеет внутри микропористую гидрофобную мембрану, а также мягкую флисовую внутреннюю поверхность, с общим показателем теплового сопротивления 1,76 кло.

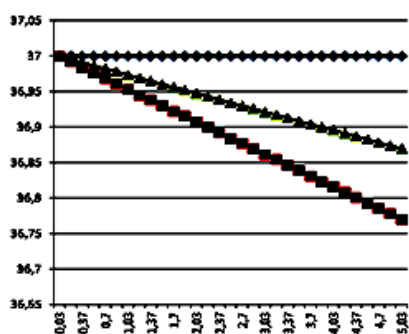
В табл. 1 приведены значения характеристик физического состояния спортсмена, природно-климатические условия, режимы и длительности нагрузок.

Т а б л и ц а 1

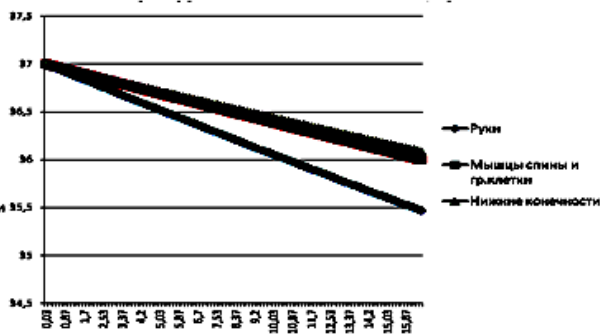
Наименование показателей	Значение
Пол, возраст, рост, вес	Муж., 30 лет, 175 см, 70 кг
Теплопродукция и время в состоянии покоя	0 Вт, 15 мин
Теплопродукция при прохождении трассы	500 Вт, 5 мин
Величина метаболизма	81,7 Вт
Средняя температура окружающей среды	-5°C
Средняя скорость ветра, средняя скорость спуска	2 м/с, 10 м/с

Для решения поставленной задачи использовали программный модуль системы термостабилизации человека [4], [5], который позволяет моделировать величину кровотока, объем теплопродукции, прово-

дить расчеты температурного и теплового баланса в зависимости от физических характеристик человека, интенсивности выполняемой нагрузки и внешних условий.



а)



б)

Рис. 1

На рис. 1 представлены графики температуры на поверхности частей тела а) – при прохождении горнолыжной трассы ($q_{вн} = 500$ Вт; $t = 5$ мин) и б) – в состоянии покоя ($q_{вн} = 0$ Вт, $t = 15$ мин) на различные моменты времени.

Анализ результатов показывает, что как во время прохождения трассы, так и в состоянии покоя наибольшие теплотери происходят в области спины и груди и находятся в диапазоне не ниже 34°C, что говорит об отсутствии переохлаждения спортсмена и указывает на достаточную

эффективность защитного комплекта одежды в заданных условиях.

В Ы В О Д Ы

Предлагаемая модель теплового баланса в системе "человек–одежда–окружающая среда" позволяет:

- рассчитать теплотери и определить температуру в слоях материала в зависимости от физических характеристик человека, интенсивности выполняемой нагрузки, защитного комплекта материала одеж-

ды, внешних природно-климатических условий;

- оценивать эффективность теплозащитных свойств используемых материалов и конструкции в целом в условиях воздействия низких температур.

ЛИТЕРАТУРА

1. Родичев М.В., Панов В.Д., Абрамов А.В. Имитационная модель теплообмена в пакете инновационной одежды для защиты от субнормальных температур // Швейная промышленность. – 2015, № 1, 2.
2. Жилисбаева Р.О., Мокеева Н.С., Заев В.А. Модель оптимизации теплозащитных свойств спецодежды в условиях воздействия высоких температур // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2015, №3. С.101...104.
3. Ажаев А.Н. Физиолого-гигиенические аспекты действия высоких и низких температур. – М.: Наука, 1979.
4. Чичиндаев А.В., Фомичева И.В., Толстошева В.В. Численное моделирование кровеносной системы человека // Авиакосмическое приборостроение. – 2006, №11. С.35...46.
5. Хромова Н.В., Чичиндаев А.В. Компьютерное моделирование работы системы термостабилизации человека в условиях низких температур //

Авиакосмическое приборостроение. – 2009, №3. С.44...55.

REFERENCES

1. Rodichev M.V., Panov V.D., Abramov A.V. Imitacionnaja model' teploobmena v pakete innovacionnoj odezhdy dlja zashhity ot subnormal'nyh temperatur // Shvejnaja promyshlennost'. – 2015, № 1, 2.
2. Zhilisbaeva R.O., Mokeeva N.S., Zaev V.A. Model' optimizacii teplozashhitnyh svojstv specodezhdy v uslovijah vozdeystvija vysokih temperatur // Izv. vuzov. Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti. – 2015, №3. S.101...104.
3. Azhaev A.N. Fiziologo-gigienicheskie aspekty dejstvija vysokih i nizkih temperatur. – M.: Nauka, 1979.
4. Chichindaev A.V., Fomicheva I.V., Tolstosheeva V.V. Chislennoe modelirovanie krovenosnoj sistemy cheloveka // Aviakosmicheskoe priborostroenie. – 2006, №11. S.35...46.
5. Hromova N.V., Chichindaev A.V. Komp'juternoe modelirovanie raboty sistemy termostabilizacii cheloveka v uslovijah nizkih temperatur // Aviakosmicheskoe priborostroenie. – 2009, №3. S.44...55.

Рекомендована кафедрой технологии, конструирования изделий и товаров АТУ. Поступила 18.06.16.