



УДК 687.01

**ТЕХНОЛОГИЯ РАЗРАБОТКИ  
ТЕПЛОВОЙ ЗАЩИТЫ ОДЕЖДЫ ДЛЯ  
ЭКСПЛУАТАЦИИ В УСЛОВИЯХ  
СТАЦИОНАРНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ***М. С. Герасименко*

Донской государственный технический  
университет, Ростов-на-Дону, Российская  
Федерация

[mary661@yandex.ru](mailto:mary661@yandex.ru)

Рассмотрена проблема тепловой защиты человека в условиях стационарного охлаждения, параметры которой гарантируют стабильное тепловое сопротивление пакета в зонах локального дискомфорта, вызванного особенностями двигательного режима и условиями производственной среды.

**Ключевые слова:** технология, тепловая защита, стационарное охлаждение, защитная одежда.

**Введение.** Изучение вопроса тепловой защиты человека в условиях стационарного охлаждения показало необходимость создания одежды, параметры которой гарантировали бы стабильное тепловое сопротивление пакета в зонах локального дискомфорта, вызванного особенностями двигательного режима и условиями производственной среды [1].

**Постановка задачи.** Проектирование теплозащитной одежды включает в себя последовательность предварительных расчетов, позволяющих получить данные о степени утепления на отдельных участках изделия. Применение предварительных расчетов возможно при типовых условиях жизнедеятельности человека [2]. В случае, когда фактор времени непрерывного статического пребывания человека на холоде превышает средние допустимые значения, формируется ситуация локального охлаждения организма и накопления холодовой усталости. Соответственно возникает необходимость разработки частной методики расчета коэффициентов утепления наиболее охлаждаемых участков тела человека.

**Теоретическая часть.** Проведенные исследования показали, что наиболее подверженными охлаждению в условиях продолжительной работы в положении сидя являются коленные суставы [3]. Прогнозирование величины эффективности утепления коленных суставов осуществлено при помощи математической модели теплообмена системы «локальная зона человека — теплозащитная одежда — окружающая среда». Особенностью разработанной модели является возможность прогнозирования теплотерь с поверхности коленного сустава в положении стоя и сидя при помощи моделирования процесса теплопередачи с поверхности сложных стенок (рис. 1) [4].

UDC 687.01

**THE DEVELOPMENT TECHNOLOGY OF  
THERMAL PROTECTION CLOTHING  
FOR THE USE IN STATIONARY COOLING  
CONDITIONS***M. S. Gerasimenko*

Don State Technical University, Rostov-on-Don,  
Russian Federation

[mary661@yandex.ru](mailto:mary661@yandex.ru)

This article is devoted to the thermal protection of a person in stationary cooling conditions, which guarantee a stable thermal resistance of the package in the areas of discomfort caused by the characteristics of motor conditions and the conditions of the production environment.

**Keywords:** technology, thermal protection, stationary cooling, protective clothing.

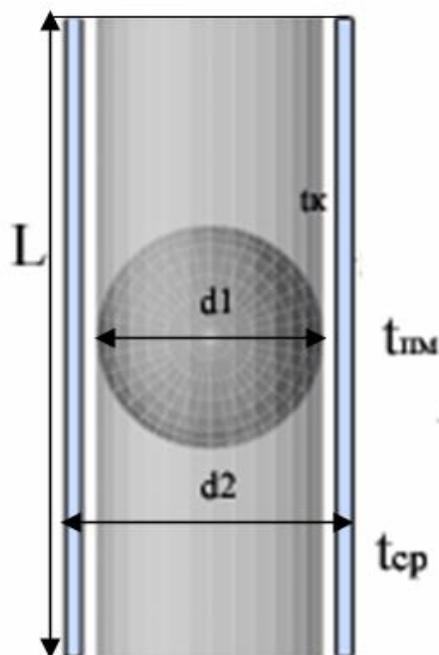


Рис. 1. Модель коленного сустава

При сгибании ноги в области коленного сустава возникает сегмент сферической поверхности, который отдаёт тепло по квадратичному закону. Соответственно, при приведении к единице длины, исходя из условия равенства радиусов цилиндра и сферы, с поверхности сферы тепловой поток выше, чем с поверхности цилиндра. Тепловой поток с поверхности цилиндра  $Q_{ц}$ , Вт:

$$Q_{ц} = -2\lambda\pi rL dt/dr, \quad (1)$$

тепловой поток с поверхности шаровой стенки  $Q_{сф}$ , Вт, согласно закону Фурье равен:

$$Q_{сф} = -4\lambda\pi r^2 dt/dr, \quad (2)$$

где  $\lambda$  — теплопроводность материала, Вт/(м · °С);

$r$  — радиус кольцевого слоя, м;

$L$  — длина, м;

$t$  — температура, °С.

Для оценки изменения удельного теплового потока с поверхности коленного сустава введен теплофизический коэффициент  $K_{Тф}$ , который характеризует отношение величин тепловых потоков с участка модели ноги в согнутом ( $Q_{сog}$ ) и распрямлённом ( $Q_{np}$ ) состояниях:

$$K_{Тф} = \frac{Q_{сog}}{Q_{np}}, \quad (3)$$

Величины теплотерь с поверхности коленного сустава в положении стоя и сидя получены из уравнений:



$$Q_{\text{соз}} = \frac{\pi(t_k - t_{\text{ср}}) \cdot S_{\text{сез}}}{\left(\frac{1}{2\lambda} \left(\frac{1}{d_1} - \frac{1}{d_2}\right) + \frac{1}{\alpha d_2^2}\right) \cdot S_{\text{сф}}} + \frac{(t_k - t_{\text{ср}}) \cdot S_u}{\frac{1}{2\lambda} \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{\alpha d_2}},$$

$$Q_{\text{нр}} = \frac{(t_k - t_{\text{ср}}) \cdot S_u}{\frac{1}{2\lambda} \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{\alpha d_2}},$$
(4)

где  $\alpha$  — коэффициент теплоотдачи, Вт/(м<sup>2</sup>·°C);

$S_{\text{сф}}$  — площадь сферы, м<sup>2</sup>;

$S_{\text{сез}}$  — площадь сегмента сферической поверхности, м<sup>2</sup>;

$S_u$  — площадь поверхности цилиндра, м<sup>2</sup>;

$\lambda$  — теплопроводность пакета, Вт/(м·°C);

$d_1$  — диаметр модели, м;

$d_2$  — диаметр модели с пакетом, м;

$t_k$  — температура кожи, °C;

$t_{\text{нм}}$  — температура на внешней стороне пакета, °C;

$t_{\text{ср}}$  — температура окружающей среды, °C.

Математическая модель реализована при помощи программного пакета для внутреннего представления алгоритмов «Maple 7.0».

В результате решения уравнения получено значение теплофизического коэффициента,  $K_{\text{Тф}}=1.305$ , определяющего величину коэффициента эффективного утепления коленного сустава.

Дополнительная тепловая защита может обеспечиваться стабильным конструктивным элементом, создающим прослойку инертного воздуха между ним и передней половинкой брюк в области колена [5].

Расчёт толщины прослойки инертного воздуха между передней половинкой брюк и конструктивным элементом произведён на основании величины теплофизического коэффициента —  $K_{\text{Тф}}$ , полученного на математической модели.

$$R_{\text{сф}} = R_{\text{нр}} \cdot K_{\text{Тф}},$$
(5)

где  $R_{\text{нр}}$  — исходное тепловое сопротивление пакета, (м<sup>2</sup>·C)/Вт;

$R_{\text{сф}}$  — тепловое сопротивление пакета с учетом теплового сопротивления воздушной прослойки, (м<sup>2</sup>·C)/Вт.

Соответственно:

$$R_{\text{сф}} = \frac{\delta_{\text{нак}}}{\lambda_{\text{нак}}} + \frac{\delta_{\text{возд}}}{\lambda_{\text{возд}}},$$
(6)

$$R_{\text{сф}} = R_{\text{нр}} + \frac{\delta_{\text{возд}}}{\lambda_{\text{возд}}},$$
(7)

$$R_{\text{нр}} \cdot K_{\text{Тф}} = R_{\text{нр}} + \frac{\delta_{\text{возд}}}{\lambda_{\text{возд}}},$$
(8)



$$R_{np} (K_{TФ} - 1) = \frac{\delta_{возд}}{\lambda_{возд}}, \quad (9)$$

где  $\lambda_{пак}$  — исходная теплопроводность пакета, Вт/(м · °С);

$\lambda_{возд}$  — теплопроводность воздуха, Вт/(м · °С);

$\delta_{пак}$  — исходная толщина пакета, м;

$\delta_{возд}$  — толщина воздушной прослойки, м.

Толщина воздушной прослойки:

$$\delta_{возд} = R_{np} (K_{TФ} - 1) \cdot \lambda_{возд}, \quad (10)$$

На основании полученной закономерности рассчитаны параметры конструкции теплозащитных броек повышенной комфортности.

Расчёт суммарного раствора выточек настрочного конструктивного элемента основан на вычислении длины дуг сферической и эллиптической поверхностей, позволяющих формировать поверхности кривизны, обеспечивающие необходимую толщину пакета для передней половинки броек и конструктивного элемента. Хорошим математическим приближением для расчёта является представление участка передней половинки броек в области сустава в виде полусферы, а конструктивного элемента — в виде эллиптической дуги, образованной за счёт увеличения радиуса полусферы на толщину воздушной прослойки.

Элемент дуги окружности можно представить в полярных координатах как:

$$dl_1 = r \sqrt{\sin^2 t + \cos^2 t} dt, \quad (11)$$

где  $t$  — полярный угол, изменяющийся от 0 до  $\pi/2$ , рад;

$dl_1$  — элемент длины дуги окружности, м;

$r$  — радиус окружности, м.

Элемент дуги эллипса соответственно можно представить как:

$$dl_2 = \sqrt{r^2 \sin^2 t + (r + a) \cos^2 t} dt, \quad (12)$$

где  $t$  — полярный угол, изменяющийся от 0 до  $\pi/2$ , рад;

$dl_2$  — элемент длины дуги окружности, м;

$r+a$  — малая полуось эллипса, м;

$a$  — толщина воздушной прослойки, м.

Соответственно длину дуги эллипса (длину конструктивного элемента с учётом суммарного раствора выточек) можно представить в виде

$$l_2 = \int_{t_1}^{t_2} \sqrt{r^2 \sin^2 t + (r + a) \cos^2 t} dt. \quad (13)$$

Длина дуги окружности (длина конструктивного участка передней половинки броек) может быть рассчитана аналогично:

$$l_1 = \int_{t_1}^{t_2} r \sqrt{\sin^2 t + \cos^2 t} dt. \quad (14)$$

Интеграл длины дуги окружности может быть рассчитан аналитически и равен:



$$\int_{t_2}^{t_1} rt = rt_1 - rt_2. \quad (15)$$

Интеграл для дуги эллипса в квадратурах не берётся, поэтому для его численного решения использован пакет программного обеспечения quik basik (ver. 7.0). Реализация предложенной модели при помощи пакета программного обеспечения quik basik (ver. 7.0) позволяет производить расчёт суммарного раствора вытачек конструктивного узла для различных параметров производственной среды.

**Заключение.** Таким образом, на основании данных, полученных в результате моделирования системы «локальная зона человека — теплозащитная одежда — окружающая среда», разработана методика, позволяющая на этапе проектирования рассчитывать параметры конструкции теплозащитных брюк для эксплуатации в условиях стационарного охлаждения.

### Библиографический список

1. Бринк, И. Ю. Постановка задачи проектирования теплозащитной одежды для астрономов / И. Ю. Бринк, М. С. Герасименко // Сборник трудов конференции ПРОТЭК'2002. — Москва : Янкс-К. — 2002. — С. 74–80.
2. Делль, Р. А. Гигиена одежды / Р. А. Делль, Р. Ф. Афанасьева, З. С. Чубарова. — Москва : Легпромбытиздат, 1991. — 160 с.
3. Способ разработки конструкции теплозащитных брюк повышенной комфортности : патент 2295896 Рос. Федерация : Д 27/07/ Герасименко М. С., Черунова И. В., Бринк И. Ю., Терехов А. Л., Куприкова И. В; заявитель и патентообладатель ООО «БВН Инженеринг» г. Новочеркасск-№ 2005104508; подача заяв.:18.02.05; опубл.: 27.03.07.
4. Михеев, М. А. Основы теплопередачи / М. А. Михеев, И. М. Михеева. — Москва : Энергия, 1977. — 344 с.
5. Эксплуатационные свойства материалов для одежды и методы оценки их качества : справочник / К. Г. Гущина [и др.]. — Москва : Лёгкая и пищевая промышленность, 1984. — 312 с.