

УДК 687.1:51:001.891.573

**МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ
ТЕПЛОВОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ПАКЕТА
ИЗДЕЛИЯ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

И.В. МОЛЬКОВА, А.А. ВИНОГРАДОВ, Б.П. КУЛИКОВ, В.В. ВЕСЕЛОВ

**(Ивановский филиал НИИ УИС Минюста России,
Ивановская государственная текстильная академия)**

Изделия специального назначения в силу специфики и многофункциональности, как правило, многослойны. Многослойность обусловлена конкретным назначением каждого изделия, входящего в сформированный композиционный пакет одежды, и поэтому математическая модель типового расчета может быть определена в зависимости от условий назначения и выполняемого задания.

Исходным отправным моментом расчета математической модели теплового со-

противления пакета одежды является температура $T(t, x, y, z)$ в некоторой точке с координатами (x, y, z) в момент времени t . Функция непрерывная и дифференцируемая.

Тогда количество тепла, перемещающегося через элементарную площадку ΔS , расположенную внутри композиционного пакета, за промежуток времени Δt определится формулой

$$\Delta Q \cong -K(x, y, z) \frac{dT(t, x, y, z)}{dn} \Delta S \Delta t,$$

где $\frac{dT}{dn}$ – производная в точке (x, y, z) площадки по нормали в сторону перемещения тепла; $K(x, y, z)$ – положительный коэффициент внутренней теплопроводности композиционного пакета в точке (x, y, z) .

Если площадка лежит на границе композиционного пакета и окружающей среды

или на границе слоев, то справедлив закон в другой интерпретации.

Пусть (x, y, z) – граничная точка композиционного пакета; $T(t, x, y, z)$ – температура внутри композиционного пакета вблизи (x, y, z) ; $T_1(t, x, y, z)$ – температура вне композиционного пакета вблизи (x, y, z) (определяется предельным переходом изнутри и снаружи).

Тогда

$$\Delta Q \cong K_1(x, y, z) [T_1(t, x, y, z) - T(t, x, y, z)] \Delta S \Delta t.$$

Здесь ΔQ – количество тепла, входящего в композиционный пакет через площадку ΔS за время Δt ; $K_1(x, y, z)$ – коэффи-

циент внешней теплопроводности тела по отношению к среде.

Рассмотрим элементарную площадку поверхности тела человека ΔS и теплофизическое состояние слоев пакета одежды, покрывающих эту поверхность. Воздушные прослойки между слоями тканей и пакетами относятся к тканям и пакетам (лучше экспериментально проверить математическую модель); \bar{n} – нормаль к ΔS , проходящая от поверхности тела человека через слои ткани и пакеты изделия – к окружающей среде. Пронумеруем все ткани изделий в направлении \bar{n} . Первый элемент нательного белья – элемент, прилегающий к поверхности тела человека, второй слой

включает элемент сорочки или кителя и т.д. Пусть многослойная одежда содержит m слоев совокупного пакета, тогда последний m -й слой, контактирующий непосредственно с окружающей средой, будет m -слоем.

Так, если $T(t, x, y, z)$ – температура тела в точке (x, y, z) в момент t – непрерывная и дифференцируемая функция, то количество тепла, проходящее через малую площадку ΔS , лежащую внутри тела за время Δt , с точностью до малых величин высшего порядка по сравнению с произведением $\Delta S \Delta t$, определяется формулой

$$\Delta Q \equiv -K(x, y, z) \frac{dT(t, x, y, z)}{dn} \Delta S \Delta t,$$

где $\frac{dT}{dn}$ – производная в точке (x, y, z) площадки по нормали в сторону перемещения тепла, а положительный коэффициент $K(x, y, z)$ – коэффициент внутренней теплопроводности тела в точке (x, y, z) .

Если площадка находится на границе тела и окружающей среды, то справедлив

$$\Delta Q \equiv -K_1(x, y, z) [T_1(t, x, y, z) - T(t, x, y, z)] \Delta S \Delta t,$$

где ΔQ – количество тепла, входящего в тело через площадку ΔS за время Δt ; $k_1(x, y, z)$ – коэффициент внешней теплопроводности по отношению к среде.

Рассмотрим элементарную площадку поверхности тела человека ΔS и содержание слоев пакета одежды, покрывающих этот участок. Воздушные прослойки между слоями тоже считаем слоями пакета; i -й слой – слой, прилегающий непосредственно к телу человека.

Пусть всего слоев m штук, тогда последний m -й слой – внешний слой одежды. В i -м слое выделим две точки: $A_{i\text{нач}}$ и $A_{i\text{кон}}$ (начальную и конечную), где $A_{i\text{нач}}$ – точка входа \bar{n} в i -й слой; $A_{i\text{кон}}$ – точка выхода \bar{n} из i -го слоя. При этом точки $A_{i\text{нач}}$ и $A_{i\text{кон}}$ можно считать совпадающими, но относящимися к i -1-му и i -му слоям соответственно.

закон в другой форме. Пусть (x, y, z) – граничная точка тела из площадки, ΔS – граничный; $T(t, x, y, z)$ – температура внутри тела вблизи (x, y, z) ; $T_1(t, x, y, z)$ – температура вне тела вблизи (x, y, z) (определяется предельным переходом изнутри и снаружи).

Тогда

Предположим, что тепло проходит от ΔS в направлении \bar{n} , причем за время Δt выделяется количество тепла Q .

Пусть $T_{i\text{нач}}$ – температура комфорта прилегающей поверхности внутреннего слоя (температура в $A_{i\text{нач}}$); k_i – коэффициент внутренней теплопроводности i -го слоя; k_{i+1} – коэффициент внешней теплопроводности $i + 1$ -го слоя по отношению к i -му слою; $\bar{Q} = \frac{Q}{\Delta S \Delta t}$ – количество тепла,

приходящегося на единицу поверхности Δt за единицу времени;

$\bar{Q} = -k_1 \frac{dT}{dn}$; $\bar{Q} = \frac{k_1}{\delta_1} (T_{i\text{нач}} - T_{i\text{кон}})$, где δ_i – толщина i -го слоя (расстояние между точками $A_{i\text{нач}}$ и $A_{i\text{кон}}$).

Отсюда

$$T_{i\text{кон}} = T_{i\text{нач}} - \frac{\delta_1 \bar{Q}}{k_1}, \quad \bar{Q} = k_{i2} (T_{i\text{кон}} - T_{i+1\text{нач}}),$$

то есть

$$T_{2 \text{ нач}} = T_{i \text{ кон}} - \frac{\bar{Q}}{k_{12}}, \quad \bar{Q} = \frac{k_2}{\delta_2} (T_{2 \text{ нач}} - T_{2 \text{ кон}}),$$

$$T_{2 \text{ кон}} = T_{2 \text{ нач}} - \frac{\delta_2 \bar{Q}}{k_2} \text{ и т.д.}$$

По температуре в предыдущей отмеченной точке на нормали и \bar{Q} определим температуру в следующей точке композиционного пакета специальной одежды:

$$(T_{i \text{ кон}} = T_{i \text{ нач}} - \frac{\delta_i \bar{Q}}{k_i}; T_{i+1 \text{ нач}} = T_{i \text{ кон}} - \frac{\bar{Q}}{k_{i+1}}) \quad (1)$$

$$T_{m \text{ кон}} = T_{m \text{ нач}} - \frac{\delta_m \bar{Q}}{k_m}; T_{m+1, \text{ нач}} = T_{m \text{ кон}} - \frac{\bar{Q}}{k_{m+1}}.$$

Здесь $T_{m+1, \text{ нач}}$ – температура окружающего воздуха.

Рассматриваемый пакет позволяет при температуре окружающего воздуха $T_{m+1, \text{ нач}}$ и выделении тепла \bar{Q} с поверхности ΔS за время Δt сохранять температуру поверхности прилегающего слоя $T_{1 \text{ нач}}$.

Систему (1) можно обратить:

$$T_{m \text{ кон}} = T_{m+1 \text{ нач}} + \frac{\bar{Q}}{k_{m+1}},$$

$$(T_{j \text{ нач}} = T_{j \text{ кон}} + \frac{\delta_j \bar{Q}}{k_j}; T_{j-1 \text{ кон}} = T_{j \text{ нач}} + \frac{\bar{Q}}{k_{j-1j}})$$

$$(j = m, m-1, \dots, 2), T_{1 \text{ нач}} = T_{1 \text{ кон}} + \frac{\delta_1 \bar{Q}}{k_1},$$

– то есть по температуре окружающего воздуха найти остальные температуры.

Эти системы показывают, что изменения $T_{1 \text{ нач}}$ или $T_{m+1 \text{ нач}}$ на величину ΔT влечет такое же изменение для каждой последующей температуры, если \bar{Q} не меняется. (Физически это происходит следующим образом. Пусть температура воздуха повысилась на ΔT . Тогда уменьшается разность температур последней пары точек и количество тепла, передаваемого в последнем слое за единицу времени. Тепло накапливается у предпоследней точки и повышает температуру в ней и т.д., пока снова все выделяемое тепло \bar{Q} не будет передаваться наружу).

ВЫВОДЫ

1. Разработана математическая модель расчета теплового сопротивления пакета одежды, позволяющая определить оптимальный пакет не только в конечном варианте, но и отдельными элементами, функционально входящими в специальную одежду.

2. Теоретически обоснована математическая модель теплового расчета пакетов специальной одежды как суммарного, так и частного содержания.

Рекомендована кафедрой технологии швейных изделий ИГТА. Поступила 31.10.01.