

УДК 677.017:534.212

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТЕКСТИЛЬНОЙ ОБИВКИ АВТОМОБИЛЬНЫХ СИДЕНИЙ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ НОРМАЛЬНЫХ УСЛОВИЙ ТРУДА ВОДИТЕЛЯ

THERMAL PROPERTIES PREDICTION OF CAR SEATS TEXTILE UPHOLSTERY FOR SUPPORT NORMAL DRIVER CONDITIONS

А.П. Башков, Г.В. Башкова
A.P. Bashkov, G.V. Bashkova

Ивановский государственный политехнический университет
Ivanovo State Polytechnic University
E-mail: apb303@yandex.ru, milena55@yandex.ru

В статье рассматривается методика расчета теплопроводности объемных многослойных текстильных структур, используемых в автомобильных сиденьях. Для этого предлагается использовать эффективный коэффициент теплопроводности, учитывающий передачу теплоты в пористом теле, который определяется на основе макроквантового термического метода. Методика позволяет подбирать структуру и толщину текстильных слоев для обеспечения комфортных условий человека.

Ключевые слова: многослойная текстильная структура; автомобильное сиденье; теплопроводность пористого тела; эффективный коэффициент теплопроводности.

The method for calculating the thermal conductivity of spacer multilayer textile structures used in car seats is considered in the article. For this it proposed to use an effective coefficient of thermal conductivity which takes into account the transfer of heat in a porous body which is determined on the basis of macro-thermal method. The technique allows choosing the structure and thickness of each textile layer to provide a comfortable human environment.

Keywords: multilayer textile structure; car seat; the thermal conductivity of the porous body; the effective thermal conductivity.

Тепловой комфорт труда водителя при долгом пребывании в автомобильном сиденье оценивается распределением поля температур в узком пространстве между контактирующими поверхностями тела человека и сиденья с учетом теплопроводности многослойной структуры сиденья, тепловыделений человека и внешнего температурного поля. Особенно это становится актуальным применительно к нагревающей среде, что зачастую происходит при длительном пребывании человека в автомобиле в условиях инсоляции. Для проектирования текстильной составляющей многослойной структуры сиденья необходимо рассчитать ее теплопроводность с учетом пористости и свойств исходных волокнистых материалов.

Опорные поверхности автомобильного сиденья состоят из пружинного блока 1, слоя вспененного полиуретана 2, подстилочного слоя 3 и обивки 4 (рис. 1, а). В качестве подстилочного слоя предлагается использовать основовязаное пространственное трикотажное полотно, состоящее из двух слоев, связанных между собой соединительными элементами из индивидуальных нитей, представляющими собой протяжки между петлями основных полотен. Подобные структуры известны в иностранной литературе как «*spacer fabrics*» (рис. 1, б). Механические свойства таких структур обуславливаются способностью соединительных нитей работать подобно «распоркам», сопротивляться продольному сжатию и изгибу аналогично гибким стержням. Это обеспечивает устойчивость полотна по

отношению к деформациям, нормальным его поверхности и изгибу. Поэтому «распорчатые» трикотажные структуры применяются в качестве амортизирующего материала в сиденьях транспортных средств, в спортивной экипировке, в медицинских фиксирующих изделиях или ортопедических матрацах для частичной или полной замены вспененного полиуретана. Но, в отличие от него, распорчатая структура при нагрузках сжимается в меньшей степени, сохраняя пористость, а соответственно тепло- и воздухопроводность.

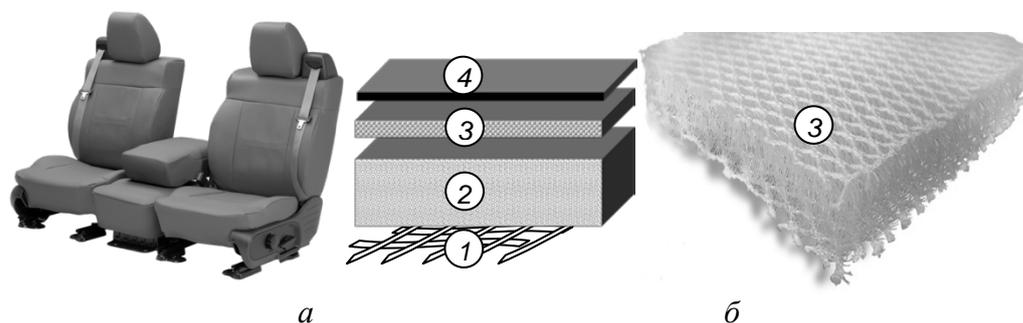


Рис. 1. Структура автомобильного сиденья: *а* – многослойный пакет сиденья, *б* – подстилочный слой из «распорчатого» трикотажа

Сложность расчета теплопроводности таких структур состоит в том, что текстильный материал имеет свойства лиофильного вещества, т.е. стенки капилляров и пор сорбируют газы, пары и жидкости. При этом возникают диффузионно-осмотические связи сорбируемого вещества с нитями текстильной структуры. Поэтому рассматривать теплопроводность такой структуры как обычную сумму теплопроводности двух сред (или двух слоев) не совсем корректно. Кроме того, сложная структура текстильного каркаса искажает равномерную передачу теплоты вдоль границы контакта с источником тепла.

Принято считать, что основной перенос теплоты в пористых материалах проходит «по скелету»: волокнам и нитям каркаса посредством теплопроводности (кондуктивный теплоперенос). Внутри пор, как в самих нитях, так и между ними перенос теплоты осуществляется по жидкой фазе, т.е. по заполняющему поры воздуху. Причем механизмом теплопередачи может быть как теплопроводность (молекулярный теплоперенос), так и конвекция за счет свободного (или вынужденного) движения нагретого газа в поровом пространстве материала. Эти процессы оказываются взаимосвязанными, поскольку между «скелетом» и жидкостью происходит сложный, как конвективный, так и лучистый теплообмен.

Учитывая сказанное, для определения величины теплового потока, проходящего через пористое вещество, используется некоторая условная величина – эффективный коэффициент теплопроводности, $\lambda_{\text{эф}}$, которая имеет смысл коэффициента теплопроводности некоторого однородного тела, через которое при одинаковой форме, размерах и температуре на границах проходит то же количество теплоты, что и через данное пористое тело.

При упрощении модели пористого тела величину $\lambda_{\text{эф}}$ можно определить аналитически с учетом структуры и материала каркаса. Пространственный «распорчатый» трикотаж относительно пористых свойств можно рассматривать в виде трехслойной структуры. Поэтому имеет смысл определять $\lambda_{\text{эф}}$ для каждого слоя.

Рассматривая традиционные термодинамические функции в связи со временем передачи импульса энергии (дискрета времени) Δt , т.е., используя принципы «расширенной (нелокальной) версии термодинамики» [1], можно за счет макроквантования перейти от дифференциальной формы уравнений термодинамики к предельно-разностной и получить аналитическое выражение для определения эффективной теплопроводности пористого (неплошного) тела [2]:

$$\lambda_{\text{эф}} = \frac{2kTr^2}{\hbar} \left(\rho c_p K_r + \frac{2kT}{F_{\text{эф}} r K_V K_T \Delta T} \right), \quad (1)$$

где T – термодинамическая температура, К; k – постоянная Больцмана $1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К, представляющая макроквант энтропии; $kT = \Delta Q$ – макроквант (приращение) тепловой энергии; \hbar – постоянная Планка $6,62 \cdot 10^{-34}$ Дж·с; r – характерный размер (радиус) макроячейки материала; ρ – плотность материала, кг/м³; c_p – удельная теплоемкость, Дж/(кг·К); K_r – коэффициент релаксации, выражающий степень динамического воздействия макроячейки на теплопередачу, $K_r = \frac{w_r}{3c_p}$; w_r – скорость распространения теплоты в веществе, м/с; $w_r = \sqrt{a\tau_r}$; a – коэффициент температуропроводности, м²/с; τ_r – продолжительность релаксации, с; $F_{\text{эф}}$ – внутренняя эффективная (смачиваемая) поверхность материала, м³; K_V – формфакторный коэффициент, корректирующий объем макроячейки; K_T – температурный корректирующий коэффициент $K_T = T_{\text{экс}}/T_0$, где $T_{\text{экс}}$ – температура материала в условиях эксперимента; $T_0 = 273^\circ$ К – эталонная температура.

Объем поры при этом будет

$$V_i = F_{\text{эф}} r K_V K_T. \quad (2)$$

Тогда, определив для элементарной ячейки образца среднее число видимых пор n по увеличенному сканированному изображению и общий объем пор, исходя из массы образца m , объемной плотности материала ρ_o и волокна ρ_f , можно рассчитать $F_{\text{эф}}$

$$F_{\text{эф}} = \frac{m \left(\frac{1}{\rho_o} - \frac{1}{\rho_f} \right)}{nr K_V K_T}. \quad (3)$$

Значения K_r , K_V и K_T , полученные экспериментально для различных материалов, приведены в работе [2]. При положительных температурах характерных для салона автомобиля (20...30°C) значения $K_r = (5,4...6,0) \times 10^{13}$; $K_V = 0,95...1,0$; $K_T = 1,0...1,1$. При этом расчетные значения $\lambda_{\text{эф}}$ для анализируемых образцов трикотажа объемной плотностью 50...60 кг/м³ находились в пределах от 0,046 до 0,06 Дж/м·с·К.

Зная эффективную теплопроводность текстильной структуры, можно выбрать ее толщину или количество слоев для обеспечения необходимого теплового баланса между человеком, сиденьем, окружающей средой, что, в свою очередь, позволит решать задачи оптимизации материалоемкости объемных трикотажных структур с учетом их теплотехнических свойств [3], [4].

Схема теплового процесса в системе «человек - материал - окружающая среда» представлена на рис. 2. Согласно закону Фурье можно записать:

$$\lambda_{\text{эф}} = \frac{Q\delta}{(T_1 - T_2)F\tau} = \frac{q\delta}{(T_1 - T_2)}; \quad (4)$$

$$q = \frac{\lambda_{\text{эф}}}{\delta} (T_1 - T_2), \quad (5)$$

где Q – количество теплоты, проходящей через границу слоя: $Q = qF\tau$; q – интенсивность теплового потока, т.е. количества тепла, проходящего через единицу поверхности стенки в единицу времени; τ – фактор времени; δ – толщина материала; $\frac{\lambda_{\text{эф}}}{\delta}$ – тепловая проводимость слоя; F – площадь поверхности; T_1 и T_2 – температуры до и после прохождения тепла через материал.

Для многослойного материала можно записать

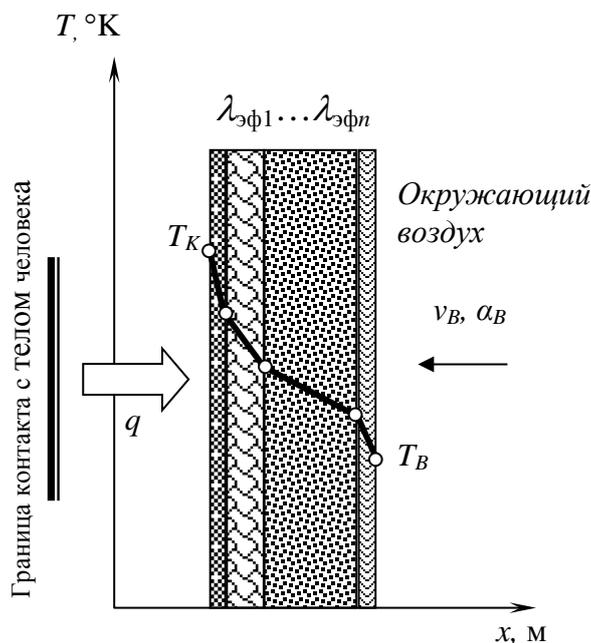


Рис. 2. Схема передачи тепла через многослойный пакет

$$T_1 - T_{(n+1)} = q \left(\frac{\delta_1}{\lambda_{эф1}} + \frac{\delta_2}{\lambda_{эф2}} + \dots + \frac{\delta_n}{\lambda_{эфn}} \right) = q \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_{эфi}}. \quad (6)$$

При переносе теплоты через многослойный материал вводится эквивалентный коэффициент для всего пакета $\lambda_{эКВ}$, который будет уже зависеть от толщины материала

$$\lambda_{эКВ} = \frac{\sum_{i=1}^n \delta_i}{\sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_{эфi}}}. \quad (7)$$

При установившемся режиме теплообмена температуру кожи человека T_K на границе контакта с сиденьем на основании выражения (1) можно определить по следующей формуле

$$T_K = T_B + q \left(\lambda_{эКВ} + \frac{1}{\alpha_B} \right), \quad (8)$$

где T_B – температура воздуха, в теплый период года в салоне автомобиля в точках $B_1 \dots B_n$ (см. рис. 3); q – тепловой поток от кожи человека при легкой работе в положении сидя этот показатель равен 50 Вт/м^2 ; α_B – коэффициент, зависящий от скорости движения воздуха, для $v_B = 0,2-5,0 \text{ м/с}$, определяется по формуле

$$\alpha_B = 11,2 \sqrt{v_B}. \quad (9)$$

Учитывая условия комфортности, при которых $T_K = 32^{\circ}\text{C}$, можно определить оптимальную толщину слоев пакета с точки зрения теплопроводности, решив систему уравнений (7) (8) относительно δ_i . Однако, толщина многослойного пакета сиденья определяется, в первую очередь, требованиями вибропоглощения и механической

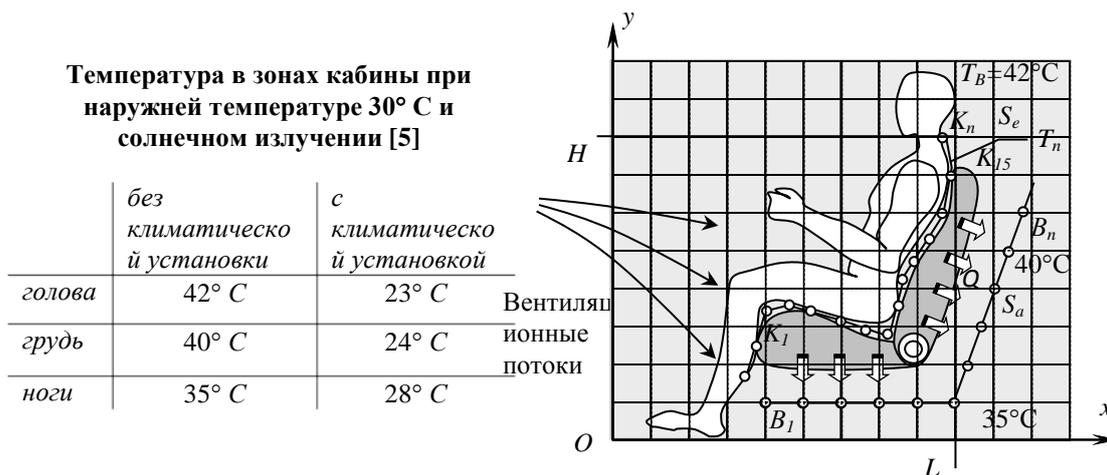


Рис. 3. Схема для расчета распределения температуры в пространстве между телом человека и автомобильным сиденьем

прочности. Тогда, критерием оптимизации становятся пористые свойства и зависящие от них коэффициенты $\lambda_{\text{эф}}$ и $\lambda_{\text{экр}}$. Таким образом, выбирая сырье и проектируя структуру трикотажных полотен подстилочного и обивочного слоев, можно обеспечивать условия комфортности человека в салонах транспортных средств.

Выводы:

1. На основании макроквантового термодинамического метода предложена методика расчета теплотехнических свойств трикотажных полотен.
2. Предложенный метод позволяет проектировать структуру трикотажных полотен подстилочного и обивочного слоев автомобильных сидений, обеспечивающих условия комфортности человека.

ЛИТЕРАТУРА

1. Майков, В.П. О расширенной версии классической термодинамики. Теплоэнергетика, 1998. – № 9. – С. 14-19.
2. Светлов, Д.О. Эффективная теплопроводность материалов капиллярно-пористой и волокнистой структуры на основе макроквантового термодинамического метода / Д.О. Светлов, В.В. Исаев, Ю.В. Светлов // Сб. «Технологии XXI века в легкой промышленности». – М.: Московский государственный университет технологий и управления имени К.Г. Разумовского, 2012. – 19 с.
3. Broiko, A.P. Analysis of knitted structures and study of heat transfer processes in knitted structures/ A.P. Broiko, O.N. Kharlamova, A.Yu. Baranov //Изв. вузов. Технол. текст. пром-сти. – 2000. – № 4. – С. 82-84 (на англ. яз.).
4. Гусаров, А.М. Влияние основных эксплуатационных факторов на теплозащитные свойства боевой одежды пожарных /А.М. Гусаров, А.А. Кузнецов//Изв. вузов. Технол. легкой пром-сти. – 2015. – № 2. – С. 42-44.
5. Климатическая установка на автомобиле [электронный ресурс]. http://autoholding.net/270_klimaticheskaya_ustanovka_na_avtomobile.html.